

**GUSTAVO DE OLIVEIRA RISSARDI**

**ESTUDOS PRELIMINARES PARA  
DETERMINAÇÃO DE  
CONCENTRAÇÃO EM SISTEMAS DE  
MISTURA DE HERBICIDAS VIA  
SENSOR CAPACITIVO**

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

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em  
Eletrônica

ORIENTADOR: Prof. Edson Gesualdo

São Carlos  
2009

## **Dedicatória**

A Minha Família, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro, é feito a partir da constante dedicação no presente!

## Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por terem me proporcionado saúde para a execução deste trabalho, e me ajudar a concluí-lo.

À minha família, Acácio e Maria, meus pais; Daniela e Alexandre, que sempre me incentivaram, com apoio e confiança durante todo o curso.

Ao professor Edson Gesualdo pela orientação e dedicação neste projeto.

Ao professor Geraldo Roberto Martins da Costa, pelo apoio e dedicação ao longo de todo o curso de Engenharia Elétrica.

Aos professores Marcelo Andrade da Costa Vieira e Maximilian Luppe, que foram fundamentais com sua ajuda durante a utilização do microcontrolador PIC.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, especialmente ao Rosenberg Julio da Silva, ao Petrussio Gonçalves da Silva e ao José Luis Dorici.

Ao grande amigo Jean, pela amizade e apoio durante todo o curso.

Aos companheiros de república que me acolheram durante toda a realização do trabalho, Luís Clair, Fernando, Paulo, João, Daniel.

## Sumário

Dedicatória .....	ii
Agradecimentos .....	iii
Sumário.....	iv
Lista de Figuras .....	vi
Lista de Tabelas.....	viii
Resumo .....	ix
Abstract.....	x
1 Introdução.....	1
2 Revisão bibliográfica.....	3
2.1 Introdução.....	3
2.2 Definição do problema .....	4
2.3 Requerimentos do projeto.....	6
2.4 Medidas de concentração .....	6
2.4.1 Sensor Capacitivo .....	7
3 Procedimentos Experimentais .....	9
3.1 Sensor Capacitivo .....	9
3.1.1 Utilização de 8 placas externas em tubo de acrílico.....	9
3.1.2 Utilização de 2 placas externas em tubo de acrílico.....	13
3.1.3 Utilização de novo tubo cilíndrico com 2 placas internas.....	14
3.2 <i>Software</i> FEMM .....	15
3.2.1 Simulações no <i>software</i> FEMM .....	16
3.3 Circuitos para determinação de concentração via sensor capacitivo.....	22
3.3.1 Ponte de Schering .....	22
3.3.2 Circuito para medição com LM555.....	24
3.4 Microcontrolador PIC.....	26
3.4.1 Porta B .....	29
3.4.2 Timer 1 .....	30
3.4.3 Programação do PIC.....	31
3.5 <i>Display</i> LCD.....	33
3.6 Montagem do circuito para medição de concentração de herbicidas .....	37
4 Resultados.....	39

5 Conclusão .....	45
Referências Bibliográficas.....	46
Anexo 1 .....	47

## Lista de Figuras

Figura 1: Esquemático hidráulico do sistema de aplicação de herbicida. ....	4
Figura 2: Tipos de configurações do sistema de injeção. ....	5
Figura 3: Oito placas externas em um tubo de acrílico. ....	9
Figura 4: Disposição das placas. ....	10
Figura 5: Foto da disposição das placas. ....	10
Figura 6: Tubo cilíndrico com 2 placas internas. ....	14
Figura 7: Esquemático com as placas externas no tubo 1. ....	16
Figura 8: Campo com as placas externas no tubo 1 e dielétrico ar. ....	17
Figura 9: Campo com as placas externas no tubo 1 e dielétrico água. ....	17
Figura 10: Esquemático com as placas externas no tubo 2. ....	18
Figura 11: Campo com as placas externas no tubo 2 e dielétrico ar. ....	19
Figura 12: Campo com as placas externas no tubo 2 e dielétrico água. ....	19
Figura 13: Esquemático com as placas internas no tubo 2. ....	20
Figura 14: Campo com as placas internas no tubo 2 e dielétrico ar. ....	21
Figura 15: Campo com as placas internas no tubo 2 e dielétrico água. ....	21
Figura 16: Ponte de Schering. ....	23
Figura 17: Circuito – Ponte de Schering. ....	24
Figura 18: Oscilador astável. ....	25
Figura 19: Circuito – Oscilador astável. ....	25
Figura 20: PIC16F877A. ....	26
Figura 21: Disposição dos pinos do PIC16F877A. ....	27
Figura 22: Estrutura interna do PIC16F877A. ....	28
Figura 23: Estrutura interna do Timer 1. ....	30
Figura 24: <i>Software</i> MikroC. ....	31
Figura 25: Barras de ferramentas no MikroC. ....	32
Figura 26: <i>Display</i> LCD. ....	33
Figura 27: Conexão entre o microcontrolador e o <i>display</i> LCD. ....	35
Figura 28: Circuito para medição de concentração de herbicidas. ....	37
Figura 29: Foto do circuito para medição de concentração de herbicidas. ....	38
Figura 30: Simulação no Proteus ISIS com onda de 113,7kHz. ....	39
Figura 31: Configuração do gerador de onda quadrada. ....	40
Figura 32: Simulação no Proteus ISIS com onda de 113kHz. ....	40

Figura 33: Frequência x número de gotas. ....	41
Figura 34: Frequência x Capacitância - LM555.....	42
Figura 35: Frequência x Capacitância - LM555 com escala ajustada. ....	43
Figura 36: Experimento com adição de hidróxido de magnésio. ....	44

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Constantes dielétricas de alguns materiais. ....	8
Tabela 2: Valores de capacitâncias 1.....	11
Tabela 3: Valores de capacitâncias 2.....	11
Tabela 4: Valores de capacitâncias 3.....	11
Tabela 5: Valores de capacitâncias 4.....	12
Tabela 6: Valores de capacitâncias 5.....	13
Tabela 7: Valores de capacitâncias 6.....	13
Tabela 8: Valores de capacitâncias 7.....	14
Tabela 9: Valores de capacitâncias 8.....	15
Tabela 10: Composição dos pinos da Porta B. ....	29
Tabela 11: Módulos LCD disponíveis.....	33
Tabela 12: Pinagem do Módulo LCD. ....	34
Tabela 13: Controle do Módulo LCD nos pinos R/W e RS. ....	35
Tabela 14: Instruções mais utilizadas do Módulo LCD. ....	36



## **Resumo**

Um sistema em tempo real para medição de concentração de misturas de herbicidas é controlado por sensores situados diretamente sobre a tubulação que distribui a solução para os bicos pulverizadores. Com base no sinal do sensor (capacitivo), a medida precisa ser processada para obtenção de dados que mostrem a situação do produto. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um sistema adequado para a medição em tempo real para obtenção desses dados, que serão utilizados no Projeto de Automação de Aplicação de Herbicidas em parceria com a “EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO”, que consiste no desenvolvimento de um sistema de aplicação de herbicidas a taxas variáveis usando tecnologia de injeção direta para misturar herbicida concentrado e diluente. O desenvolvimento deste estudo visa contribuir no crescimento tecnológico da área de agricultura de precisão. Com este trabalho pôde-se aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Elétrica sobre instrumentação, eletrônica analógica e digital, através de: projeto, simulação, montagem e testes do circuito, com o intuito de obter os dados, experimentalmente, referentes às medidas de concentração de herbicidas.

## **Abstract**

A real-time system for concentration measurement of herbicides is controlled by sensors directly in the pipeline that distribute the mixture to the sprayer nozzle. Based on the sensor signal, the measurement need to be processed to obtain real situation data. The objective of this research is to develop a real-time system of measurement to obtain this data, which will be used in Herbicide Application Automation Project in association with “EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO”, that consists in developing a Direct Nozzle Injection for Real-Time Site-Specific Pesticide Application. The development of this research seeks to contribute in some way in the technological growth of the area of agriculture of precision. With this work it could be applied the acquired knowledge during the course of Electric Engineering on instrumentation, analogical and digital electronics, through: project, simulation, montage and tests of the circuit, with the intention of obtaining the experimental data regarding the measures of concentration of herbicides.

# 1 Introdução

O uso de herbicidas é uma das ações mais necessárias na agricultura, sendo frequentemente utilizado para reduzir, ou mesmo evitar, as consequências de doenças em plantas. Nos últimos anos, pôde-se visualizar o uso de testes de qualidade em um número crescente de culturas, incluindo a divulgação do número e frequência das aplicações de herbicidas (Vondříčka, 2007).

A aplicação correta de defensivos agrícolas em áreas infestadas por plantas daninhas desempenha um papel importante na produção agrícola. A alta no preço dos defensivos agrícolas e sua aplicação em demasia podem aumentar significativamente os custos de produção. Além do mais, o seu uso excessivo (taxa de aplicação alta) contribui para o aumento da contaminação ambiental e a baixa qualidade dos alimentos. Em contrapartida, uma redução no volume de aplicação de defensivos (taxa de aplicação baixa) gera perdas na produtividade e na qualidade das colheitas devido às plantas daninhas (Shiratsuchi et al., 2003).

Ambientalistas, ecologistas e biólogos vêm se preocupando com o uso indiscriminado e inadequado de agrotóxicos, pois são produtos químicos que causam problemas à flora, à fauna e ao próprio homem.

A concentração química do herbicida pode ser variada baseando-se em dados obtidos pelos sensores posicionados na tubulação de aplicação, considerando que quase todos os herbicidas são produzidos como uma solução concentrada para ser dissolvida em certa quantidade de água e aplicada na plantação.

Com isso, este trabalho visou obter dados práticos que explicitem a concentração de misturas de herbicidas através do processamento de sinais obtidos de sensores (de capacitância) situados diretamente sobre a tubulação do produto.



## 2 Revisão bibliográfica

### 2.1 Introdução

O método tradicional de aplicação de defensivos agrícolas com taxa de aplicação constante sem variação na concentração (tanque contendo a mistura água e herbicida) é uma solução adequada e eficiente para controle de plantas daninhas caso sua distribuição espacial ao longo do campo agrícola seja uniforme. Porém, as plantas daninhas não se distribuem de maneira uniforme nas áreas agrícolas, elas ocorrem de forma contagiosa e em diferentes graus de contagiosidade, com grande variabilidade espacial. Assim, o uso de herbicidas não é otimizado com este processo. E, além disso, o operador está exposto diretamente ao produto químico durante seu preparo e após a aplicação devido à sobra da mistura.

A aplicação da mistura com taxas variáveis é uma forma eficiente de uso dos defensivos, considerando a variabilidade espacial e temporal das plantas daninhas, proporcionando economia do produto, aumentando a eficácia da aplicação e reduzindo o impacto ambiental. Por outro lado, este tipo de aplicação não permite mudar a concentração da mistura em tempo real. Além do mais, a exposição do operador ao produto químico continua sendo um inconveniente. Para solucionar estes problemas, a aplicação dos defensivos em taxas variáveis passou a utilizar sistemas de injeção direta, conhecido pela sigla DIS (*Direct Injection System*) (KOO et al., 1998; QIU et al., 1998).

Um sistema de injeção direta consiste em manter o defensivo agrícola e o diluente (água) em recipientes distintos. De acordo com a localização da planta, através de mapas de infestações (conhecido na literatura como método de aplicação do tipo *off-line*) ou por sensores (método de aplicação do tipo *on-line*, *real-time* ou *on-the-go*), o herbicida é então injetado e misturado ao diluente numa determinada concentração imediatamente antes de entrar para os bicos de pulverização (KOCHER, 1998; TIAN, 2002).

O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de instrumentação para medida de homogeneidade nessa tubulação onde a mistura segue para os bicos de pulverização para ser utilizado, no referido projeto, para controle da concentração da mistura.

## 2.2 Definição do problema

O sistema de aplicação de herbicidas com taxas variáveis proposto no Projeto de Automação de Aplicação de Herbicidas emprega um sistema de injeção do tipo DIS. A Figura 1 apresenta o esquemático hidráulico do sistema de aplicação de herbicidas com taxas variáveis.

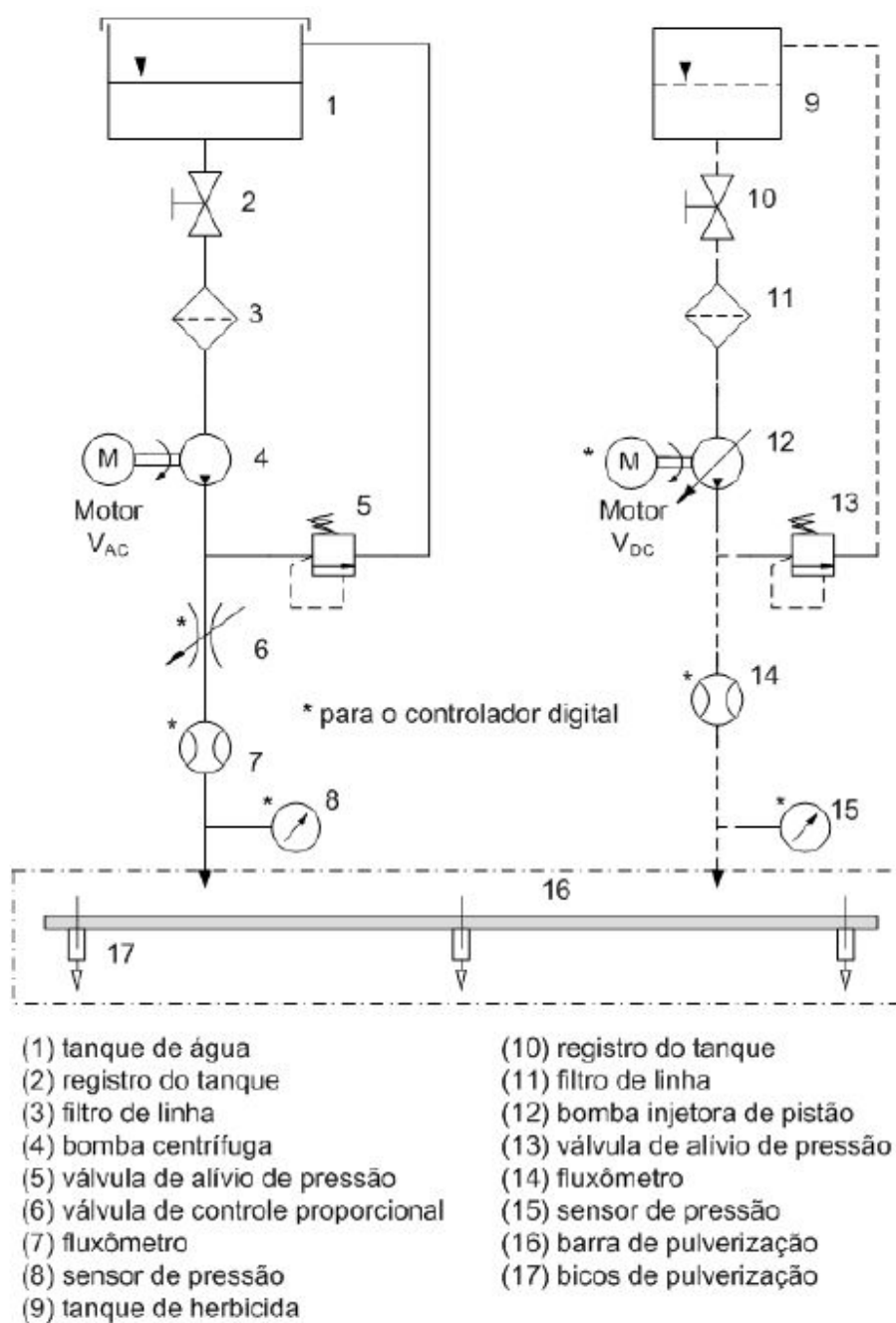
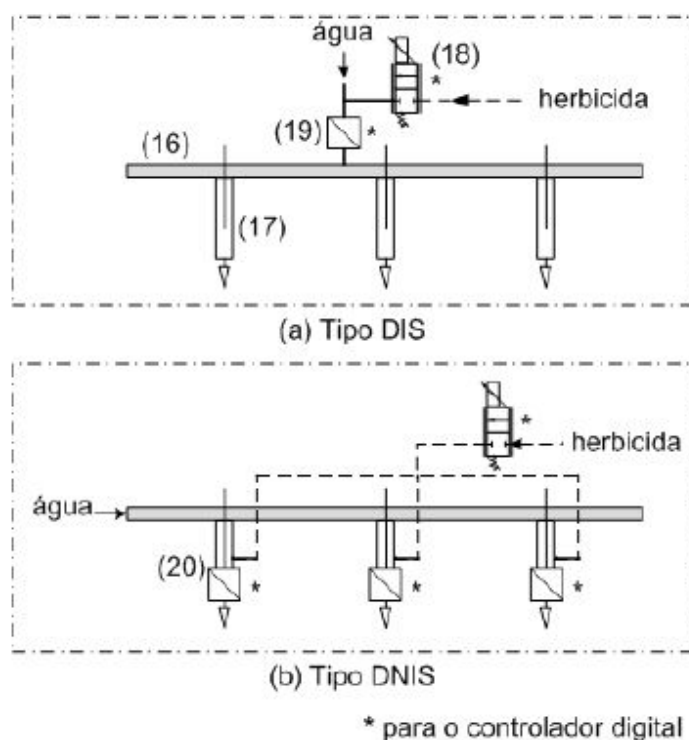


Figura 1: Esquemático hidráulico do sistema de aplicação de herbicida.

As linhas contínuas indicam fluxo de água e as linhas tracejadas indicam fluxo de herbicida. O uso do caractere asterisco indica uma conexão elétrica com o controlador digital.

O tipo do sistema de injeção é mostrado em mais detalhes na Figura 2.

A medida de concentração, objetivo deste trabalho, será efetuada na barra de pulverização (16), que conterà uma mistura de herbicida e diluente, para injeções do tipo DIS. As injeções do tipo DNIS (*Direct Nozzle Injection System*), injeção de herbicida direto no bico de aplicação, não serão objeto de estudo neste trabalho.



- (18) válvula de controle do tipo PWM
- (19) sensor de concentração
- (20) bico de pulverização convencional adaptado para conexão do fluxo do herbicida diretamente no bico e para alojar o sensor de concentração

Figura 2: Tipos de configurações do sistema de injeção.

## 2.3 Requerimentos do projeto

O sistema de instrumentação para medição de concentração é um equipamento acoplado ao sistema de pulverização, que será utilizado no campo, fixado a um trilho ou transportado por tratores, estando, portanto, sujeito a trepidações e condições climáticas adversas. Com isso, é necessário que o sistema seja robusto, fazendo com que as calibrações dos sensores não sejam alteradas facilmente.

Necessita-se também de um sensor que explicita de forma real a concentração do sistema, fornecendo dados verídicos sobre o comportamento da mistura. O sensor capacitivo foi o objeto de estudo neste trabalho.

## 2.4 Medidas de concentração

Segundo Vondříčka (2007),

“Etmueller et al. (1995) observou a distribuição e sedimentação de fórmulas de pesticidas em um tanque vaporizador usando sensor de fotometria com fibra ótica. Ozkan et al. (1999) usou, com sucesso, medidas de turbidez para mensurar a heterogeneidade da mistura. Yates e Akesson (1963) determinaram visualmente a uniformidade da mistura de óleo em água e a suspensão em água. Zhu et al. (1998) usou análise de fluorescência para mensurar a homogeneidade da mistura durante a injeção da bomba misturadora. Os autores descrevem como uma mistura não-homogênea como a variação na concentração das amostras. Tompkins et al. (1990) também constatou a variação da concentração química com a injeção por tubos individuais. Entretanto, esses métodos não descrevem a homogeneidade da mistura em um fluxo contínuo. Downey et al. (2006) usou um princípio baseado em diversos aspectos de concentração versus curva temporal de um aditivo injetado durante a mistura de uma solução. Porém, esse método fornece apenas a característica quantitativa do processo de mistura”.

Pode-se dizer que existem várias formas de se tentar mensurar a homogeneidade e a concentração de soluções, sendo algumas mais eficazes para uns casos e outras melhores para outros.

A seguir visualiza-se um estudo sobre os sensores capacitivos, analisando-se a sua utilização.



### 2.4.1 Sensor Capacitivo

O capacitor consiste em placas condutoras de corrente elétrica separadas por um isolante (dielétrico) capaz de armazenar e disponibilizar rapidamente pequenas quantidades de carga elétrica.

Salami e Rocha Filho (2003) asseveram que “A capacitância é o nome dado à medida da capacidade de armazenar cargas elétricas que um capacitor possui, e é determinada pela forma como as placas são dispostas entre si na construção do capacitor, da distância entre elas e do tipo de dielétrico utilizado”. Ou, ainda, temos que a constante de proporcionalidade  $C$  é chamada de capacitância do capacitor, e representa uma medida da quantidade de carga que o capacitor pode armazenar em suas placas, ou seja, é a sua capacidade de armazenamento.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), o farad (F) é a unidade de medida de capacitância; por definição, 1F é a capacitância de um capacitor que consegue armazenar 1C (coulomb) quando há uma diferença de potencial de 1V (volt) entre as placas.

Seguindo, Salami e Rocha Filho, pode-se definir a capacitância como sendo a razão entre a carga  $Q$ , de qualquer das placas, e a diferença de potencial  $\Delta V$  entre elas, como mostra a equação 1.

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \quad (1)$$

E também, em um capacitor com placas planas e paralelas, temos que a capacitância pode ser expressa de uma forma específica, na qual variáveis dimensionais, que interferem na determinação da capacitância, são expressas, como pode ser visto na equação 2.

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (2)$$

Na equação 2, temos que  $A$  é a área da superfície de cada placa,  $d$  é a distância entre placas e  $\varepsilon$  é uma constante de proporção dependente do tipo de dielétrico, e é denominada constante de permissividade absoluta do meio, sendo correspondente ao produto da constante de permissividade do vácuo  $\varepsilon_0$  pela constante dielétrica  $k$  do elemento isolante, maior que 1:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 k \quad (3)$$

onde o valor de  $\varepsilon_0$  é  $8,8 \times 10^{-12}$  F/m.

Ainda seguindo Salami e Rocha Filho, apresentam-se, a título ilustrativo, alguns valores de  $k$  na tabela 1.

Tabela 1: Constantes dielétricas de alguns materiais.

<b>Dielétrico (à 25°C)</b>	<b>k</b>
Vácuo	1,0000
Ar	1,0005
Acetona	20,7
Ácido Sulfúrico anidro	101
Água	78,54
Benzeno	2,27
Etanol	24,30
Parafina	2
Papel	3,5
Polimetilmetacrilato (acrílico)	2,8 a 4
Titanato de bário e chumbo	1800

### 3 Procedimentos Experimentais

#### 3.1 Sensor Capacitivo

##### 3.1.1 Utilização de 8 placas externas em tubo de acrílico

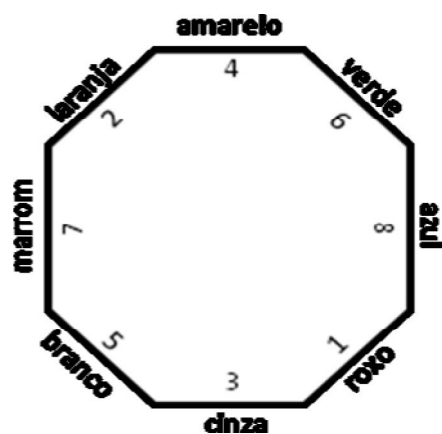
Inicialmente, utilizou-se um tubo de acrílico da forma cilíndrica, possuindo 400 milímetros de comprimento, diâmetro externo de 40 milímetros e diâmetro interno de 30 milímetros, disposto conforme pode ser visto na figura 3.



*Figura 3: Oito placas externas em um tubo de acrílico.*

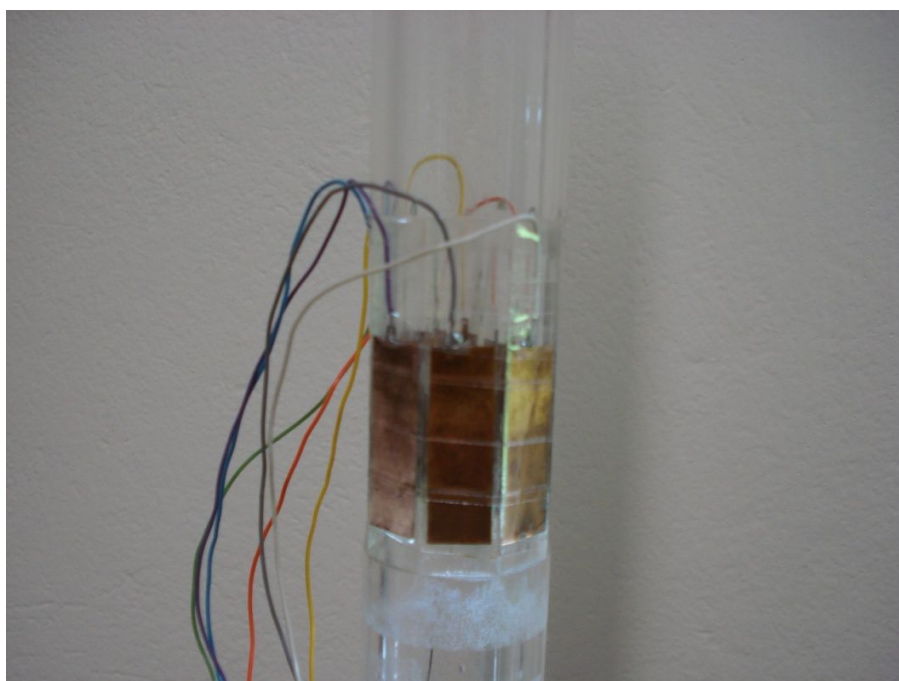
Registre-se, por oportuno, que aproximadamente ao ponto médio do comprimento do tubo, existe uma secção octogonal, de 50 milímetros de comprimento no sentido do tubo, sendo este local utilizado para fixação das placas de latão (com dimensões de 13 milímetros por 38 milímetros) que

constituem o sensor capacitivo. Foram realizados testes para verificação do valor e da variação da capacitância com o dielétrico presente. Nesse passo, utilizaram-se 8 placas de latão, dispostas como pode-se visualizar na figura 4.



*Figura 4: Disposição das placas.*

Para um melhor entendimento, segue a foto da disposição das placas no experimento na figura 5.



*Figura 5: Foto da disposição das placas.*

Com as placas dispostas da maneira apresentada, foram medidas as capacitâncias entre os pares de placas e o fator de dissipação “D”, com o equipamento “*Dual Display LCR Meter MX-1001 - Minipa*”. Nas medições a frequência utilizada foi de 1 kHz e os valores encontrados estão dispostos nas tabelas a seguir.

Tabela 2: Valores de capacitâncias 1.

	Medição 1 – dielétrico ar		Medição 2 – dielétrico água	
	Capacitância (pF)	D	Capacitância (pF)	D
Entre as placas 1 e 2	28,0	0,026	29,4	0,036
Entre as placas 3 e 4	27,0	0,032	28,9	0,038
Entre as placas 5 e 6	26,2	0,035	28,5	0,038
Entre as placas 7 e 8	24,5	0,032	27,1	0,036

Tabela 3: Valores de capacitâncias 2.

	Medição 3 – dielétrico água		Medição 4 – dielétrico água	
	Capacitância (pF)	D	Capacitância (pF)	D
Entre as placas 1 e 2	27,8	0,037	28,8	0,038
Entre as placas 3 e 4	27,9	0,037	28,5	0,038
Entre as placas 5 e 6	27,2	0,039	28,3	0,030
Entre as placas 7 e 8	26,1	0,032	25,3	0,035

Tabela 4: Valores de capacitâncias 3.

	Medição 5 – dielétrico água		Média das medidas com água	
	Capacitância (pF)	D	Capacitância (pF)	D
Entre as placas 1 e 2	28,9	0,037	<b>28,7</b>	<b>0,037</b>
Entre as placas 3 e 4	28,4	0,037	<b>28,4</b>	<b>0,038</b>
Entre as placas 5 e 6	28,0	0,036	<b>28,0</b>	<b>0,036</b>
Entre as placas 7 e 8	25,6	0,035	<b>26,0</b>	<b>0,035</b>

A partir disso, para se possuir uma noção de como os valores de capacitância comportavam-se, mediu-se os valores das capacitâncias entre todas as placas, conforme pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5: Valores de capacitâncias 4.

Medição 6 – dielétrico água	
	Capacitância (pF)
Entre as placas 1 e 2	28,9
Entre as placas 1 e 3	40,5
Entre as placas 1 e 4	29,2
Entre as placas 1 e 5	32,2
Entre as placas 1 e 6	31,7
Entre as placas 1 e 7	24,7
Entre as placas 1 e 8	41,8
Entre as placas 2 e 3	27,6
Entre as placas 2 e 4	42,8
Entre as placas 2 e 5	27,4
Entre as placas 2 e 6	31,7
Entre as placas 2 e 7	30,5
Entre as placas 2 e 8	29,7
Entre as placas 3 e 4	28,4
Entre as placas 3 e 5	40,9
Entre as placas 3 e 6	28,3
Entre as placas 3 e 7	25,7
Entre as placas 3 e 8	32,2
Entre as placas 4 e 5	28,9
Entre as placas 4 e 6	40,1
Entre as placas 4 e 7	28,2
Entre as placas 4 e 8	32,8
Entre as placas 5 e 6	28,0
Entre as placas 5 e 7	25,8
Entre as placas 5 e 8	28,6
Entre as placas 6 e 7	25,8
Entre as placas 6 e 8	41,5
Entre as placas 7 e 8	25,6

De fato, percebe-se que com a alteração do dielétrico de ar para água, não se obteve resultados compatíveis com o que se esperava, sendo que para alguns pares de placas a capacitância aumentou e para outros a capacitância diminuiu. Percebe-se que, neste experimento, o dielétrico alterado gerou alterações consistentes entre posições relativas das placas, que merecem estudos e simulações, que não serão feitas neste estudo, mas ficam indicadas para trabalhos futuros.

### 3.1.2 Utilização de 2 placas externas em tubo de acrílico

Em vista dos dados obtidos anteriormente, imaginou-se que a dimensão das placas não era satisfatória, proporcionando valores pequenos de capacitância. Assim, passou-se a utilizar apenas duas placas externas (com dimensões de 30 milímetros por 40 milímetros) ao mesmo tubo de acrílico, e foram medidos os valores da capacitância com o dielétrico presente.

Com as placas dispostas da maneira apresentada, mediram-se as capacitâncias entre os pares de placas com o equipamento “*Dual Display LCR Meter MX-1001 – Minipa*”. Nas medições a frequência utilizada foi de 1kHz e os valores encontrados estão dispostos nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Valores de capacitâncias 5.

	Capacitância (pF)	D
Medição 1 - com ar	70,8	0,048
Medição 2 - com ar	73,5	0,047
Medição 3 - com ar	72,5	0,043

Tabela 7: Valores de capacitâncias 6.

	Capacitância (pF)	D
Medição 1 - com água	75,1	0,048
Medição 2 - com água	74,6	0,047
Medição 3 - com água	75,9	0,042

Nos dados apresentados, verifica-se pequena variação da capacitância com dielétricos diferentes, porém a constante dielétrica da água é aproximadamente 78 vezes maior do que a do ar, assim foi suposto que a capacitância do tubo estaria influenciando na medição, sendo o acrílico do tubo um dielétrico melhor do que o líquido a ser medido, ou seja, as medições que estavam sendo feitas, refletiam mais a capacitância do dielétrico do tubo (devido a sua espessura) do que do dielétrico do líquido que se almejava a aferição.

### 3.1.3 Utilização de novo tubo cilíndrico com 2 placas internas

Nesta etapa, passou-se a utilizar um novo tubo de acrílico, com menor dimensão para se obter maior praticidade nos testes, com 2 placas internas, conforme pode ser visto na figura 6. A dimensão das placas utilizadas foi de 48mm x 30mm e a distância entre as placas tinha diâmetro de 40mm. Foram utilizadas as placas internas para que o acrílico não interferisse nas medições.



*Figura 6: Tubo cilíndrico com 2 placas internas.*

Com efeito, os dados obtidos com as medições podem ser vistos nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8: Valores de capacitâncias 7.

	<b>Capacitância (pF)</b>	<b>D</b>
Medição 1 - com ar	5,4	0,022
Medição 2 - com ar	6,2	0,652
Medição 3 - com ar	6,4	0,346



Tabela 9: Valores de capacitâncias 8.

	Capacitância (nF)	D
Medição 1 - com água	3,90	15,8
Medição 2 - com água	5,06	14,2
Medição 3 - com água	3,48	12,6

Com isso, pôde-se verificar que o acrílico do tubo influenciava fortemente as medições, desviando as linhas de campo por seu interior, devido à sua espessura, o que fez com que as alterações no dielétrico não proporcionassem uma alteração significativa na capacitância. Já com as placas fixadas internamente, pôde-se verificar uma grande alteração no valor da capacitância, com a alteração do dielétrico de ar para água.

### 3.2 Software FEMM

O *software* FEMM (*Finite Element Method Magnetics*) é um *software* integrado para resolver problemas eletromagnéticos de baixa frequência em 2 dimensões (plano) em sistemas com simetria. O programa trata de problemas magnéticos estacionários e harmônicos lineares e não-lineares, problemas eletrostáticos lineares e problemas de fluxo de calor em regime estacionário.

O *software* é dividido em três partes:

1. “*Shell*” interativo (femm.exe). “*Shell*” é um componente de *software* que faz a comunicação direta entre o usuário e o sistema, tornando o sistema mais amigável, ou mais fácil de usar. Este programa possui uma interface múltipla pré-processamento e pós-processamento, na qual se podem resolver os vários tipos de problemas abordados pelo FEMM. Podem ser exibidas soluções de campo na forma de contorno e curvas de densidade. O programa também permite o usuário verificar o campo em pontos específicos, como também calcular integrais ao longo de contornos definidos pelo usuário.
2. “*Triangle*” (triangle.exe). “*Triangle*” é um componente de *software* que transforma a região do problema em um número muito grande de triângulos, uma parte vital do processo de elementos finitos. Este programa foi escrito por Jonathan Shewchuk e está disponível no sítio <http://www.cs.cmu.edu/quake/triangle> da universidade Carnegie-Mellon University.
3. “*Solvers*” (fkern.exe para problemas magnéticos; belasolv para problemas eletrostáticos; hsolv para problemas de fluxo de calor; e csolv para problemas de fluxo de corrente). Cada solucionador leva um grupo de arquivos de dados que descrevem o problema e resolvem as

equações diferenciais parciais pertinentes para obter valores para o campo ao longo do domínio de solução.

A linguagem de programação Lua é integrada ao “Shell” interativo. Esta linguagem pode tanto construir e analisar alguma forma geométrica quanto calcular os resultados, simplificando a criação de vários tipos de arquivos para simulação.

Além disso, todas as caixas de texto e elementos adicionados são analisados pela linguagem Lua, permitindo que equações ou expressões matemáticas sejam adicionadas ou editadas. Vários objetos podem ser editados e analisados pela linguagem Lua com um clique com o botão direito do “mouse” e seleção no menu.

### 3.2.1 Simulações no *software* FEMM

Utilizou-se o *software* FEMM para verificar como se comporta o campo elétrico no dielétrico, com as placas condutoras (que consistem no capacitor) dentro e fora do tubo, e em tubos de espessuras diferentes, para podermos verificar o porquê da grande mudança de comportamento do valor da capacitância medida.

O FEMM utiliza-se de simetrias para seu funcionamento, assim foi desenhada a seção do tubo, conforme pode ser visto na figura 7, primeiramente no tubo com maior espessura (do item 3.1.2), com as placas do capacitor (em vermelho) do lado de fora do tubo.

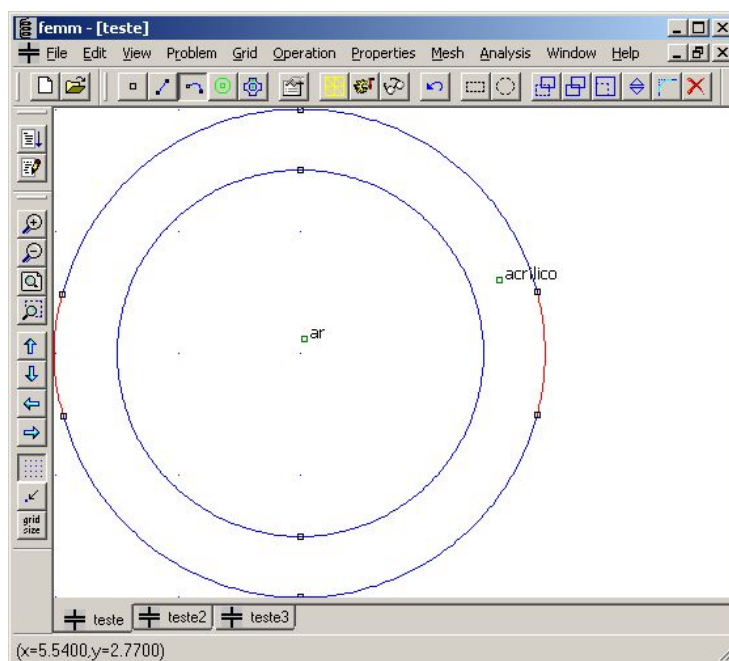


Figura 7: Esquemático com as placas externas no tubo 1.

A figura 7 é o esquemático que foi utilizado para se obter os gráficos; já estes podem ser vistos nas figuras 8 e 9.

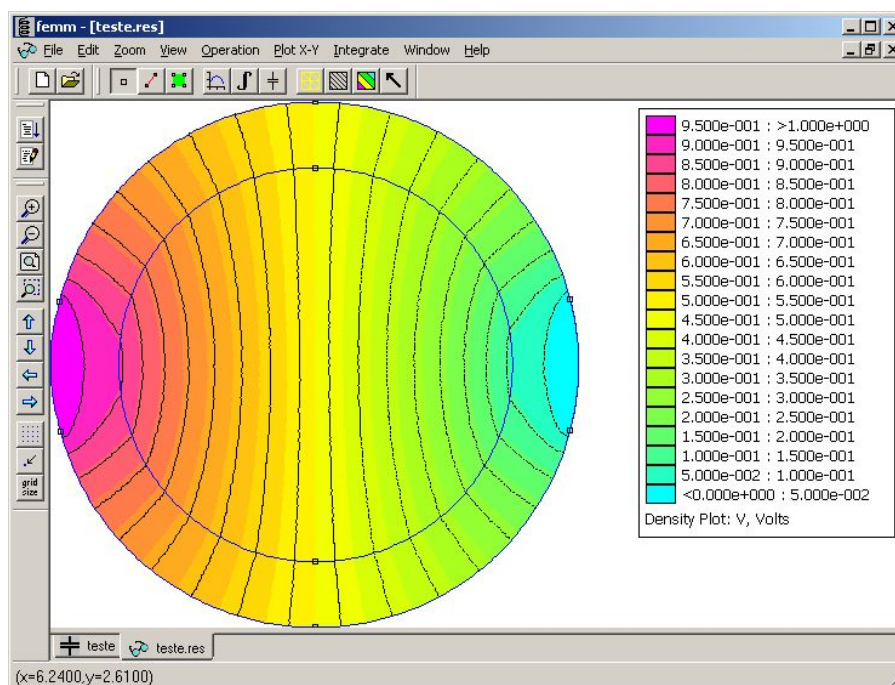


Figura 8: Campo com as placas externas no tubo 1 e dielétrico ar.

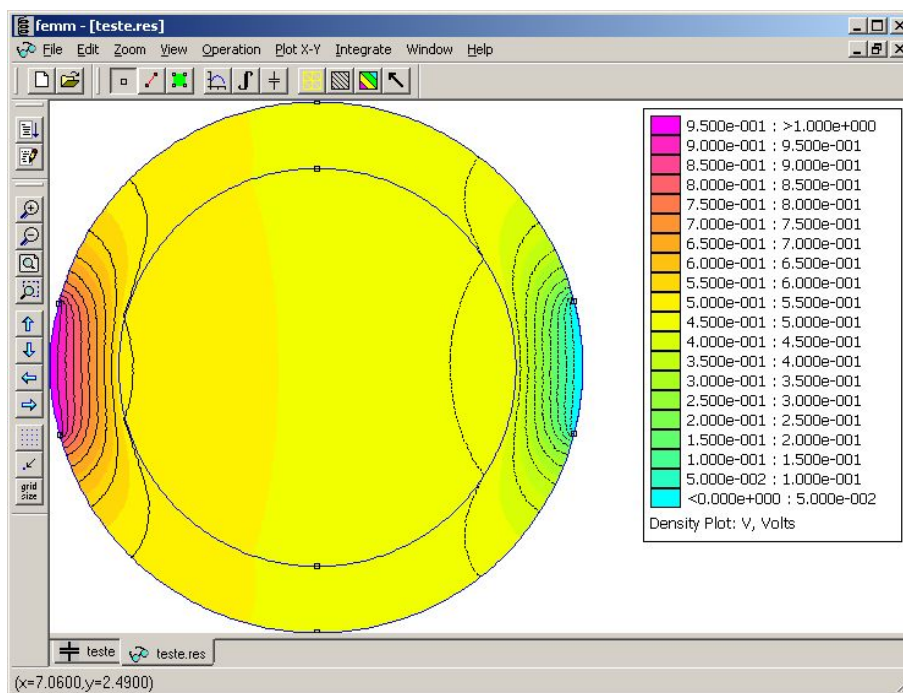


Figura 9: Campo com as placas externas no tubo 1 e dielétrico água.

A partir dos gráficos das figuras 8 e 9, pode-se afirmar que com o dielétrico ar, a distribuição do campo no interior do tubo é praticamente uniforme e as linhas equipotenciais estão distanciadas igualmente umas das outras no interior do tubo. Já em relação ao dielétrico água, percebe-se que as linhas equipotenciais concentram-se no acrílico, sendo este o dielétrico que contém mais campo elétrico do que a água, isso se deve à grande diferença entre a constante dielétrica da água em relação ao acrílico (em torno de 20 a 28 vezes maior) enquanto que a diferença entre a constante dielétrica do ar em relação ao acrílico é bem menor (em torno de 3 a 4 vezes menor).

Após isso, implementou-se no *software* a seção do tubo de menor espessura (do item 3.1.3), mas com as placas do capacitor (em vermelho) do lado de fora do tubo, conforme pode ser visto na figura 10.

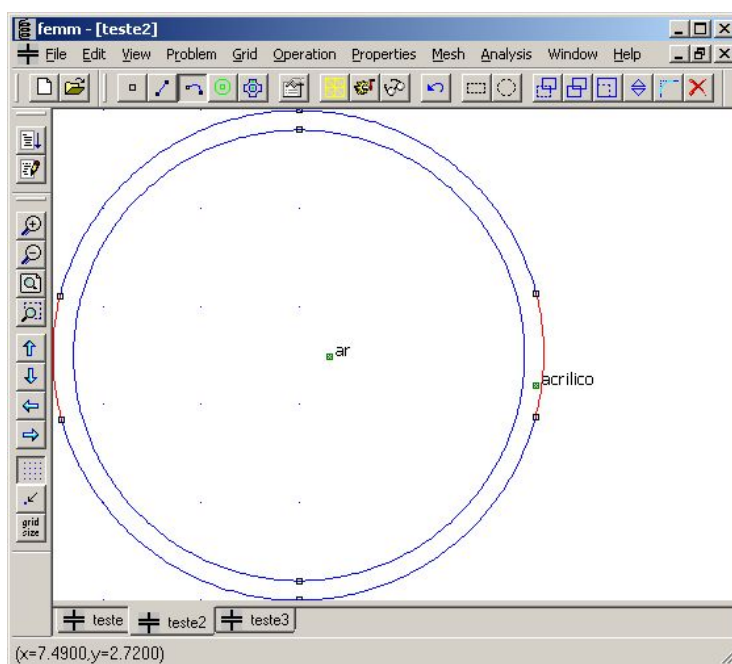


Figura 10: Esquemático com as placas externas no tubo 2.

Com o esquemático da figura 10, foram obtidos os gráficos das figuras 11 e 12 a seguir.

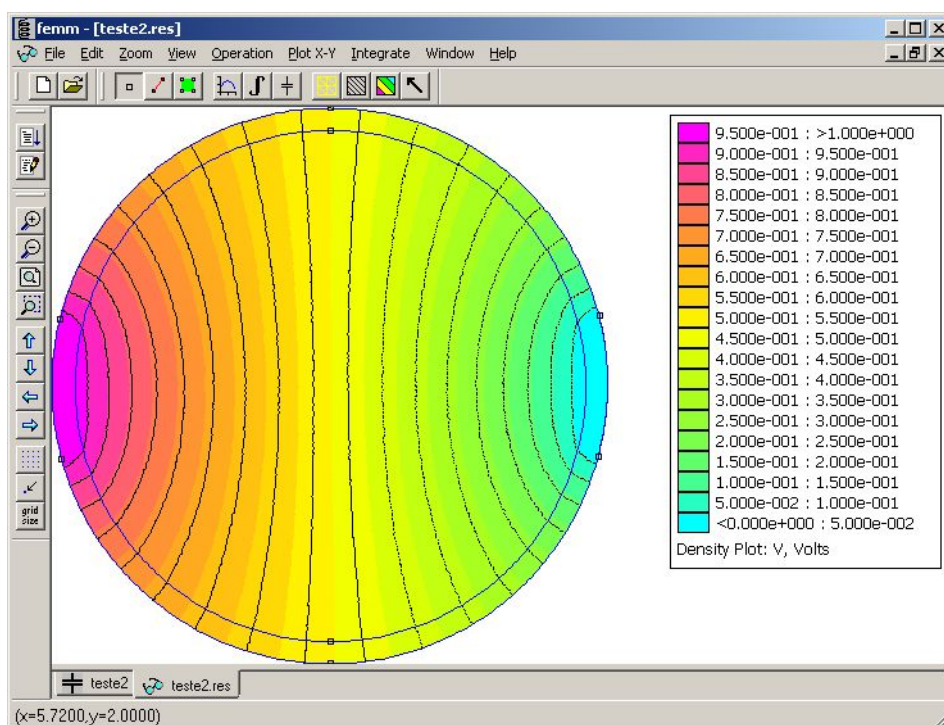


Figura 11: Campo com as placas externas no tubo 2 e dielétrico ar.

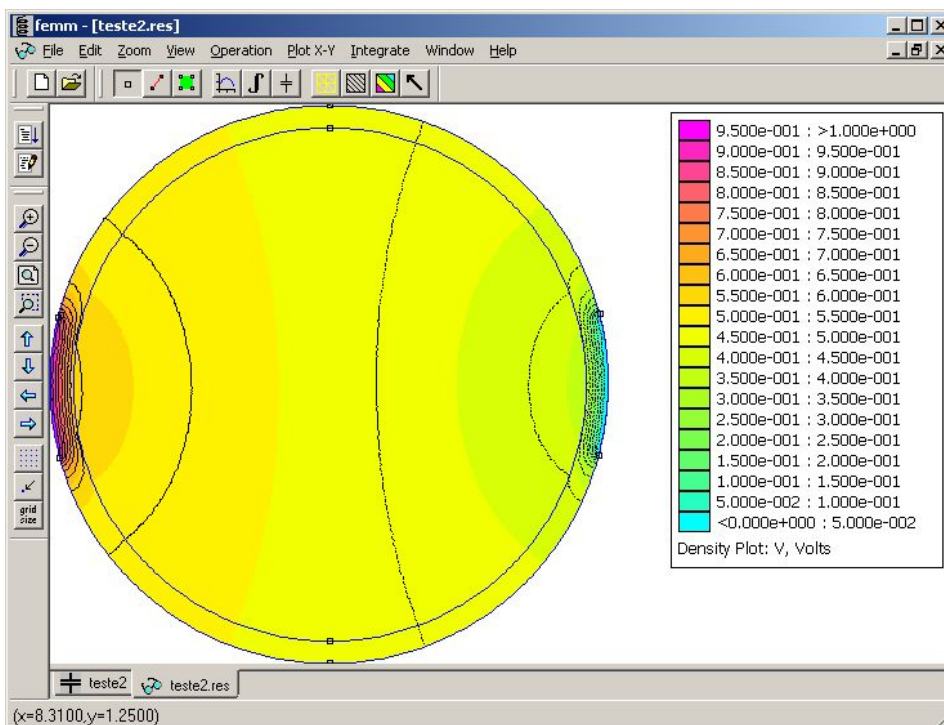
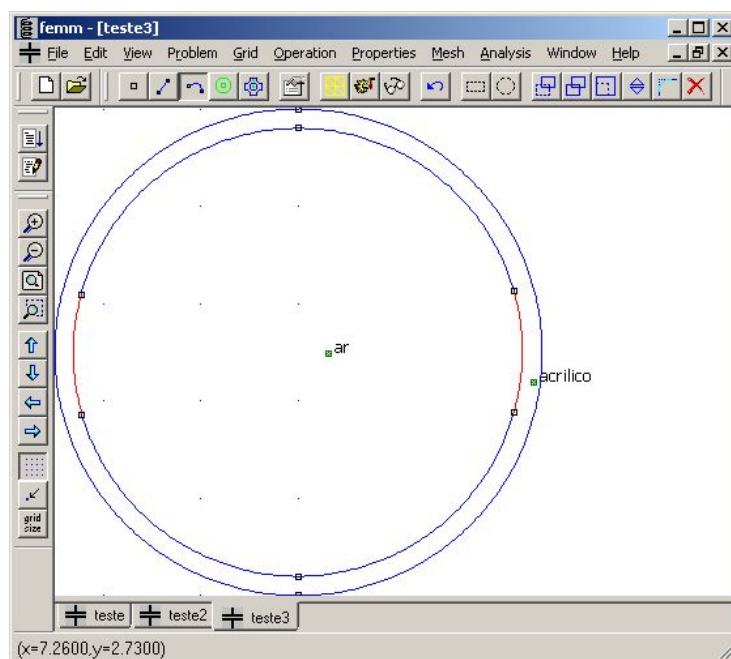


Figura 12: Campo com as placas externas no tubo 2 e dielétrico água.

Ao analisar as figuras 11 e 12, percebe-se novamente que o campo elétrico dentro do tubo é bem menor quando o dielétrico é água do que com ar, e pode-se visualizar também, que com a espessura menor do tubo, aumentou levemente a quantidade de linhas de campo no interior do tubo, ou seja, a distribuição do campo melhorou levemente com a diminuição da espessura.

A figura 13 mostra a seção do tubo de menor espessura (do item 3.1.3), com as placas do capacitor (em vermelho) do lado de dentro do tubo desenhada no software.



*Figura 13: Esquemático com as placas internas no tubo 2.*

Simulando o esquemático da figura 13, foram obtidos os gráficos das figuras 14 e 15.



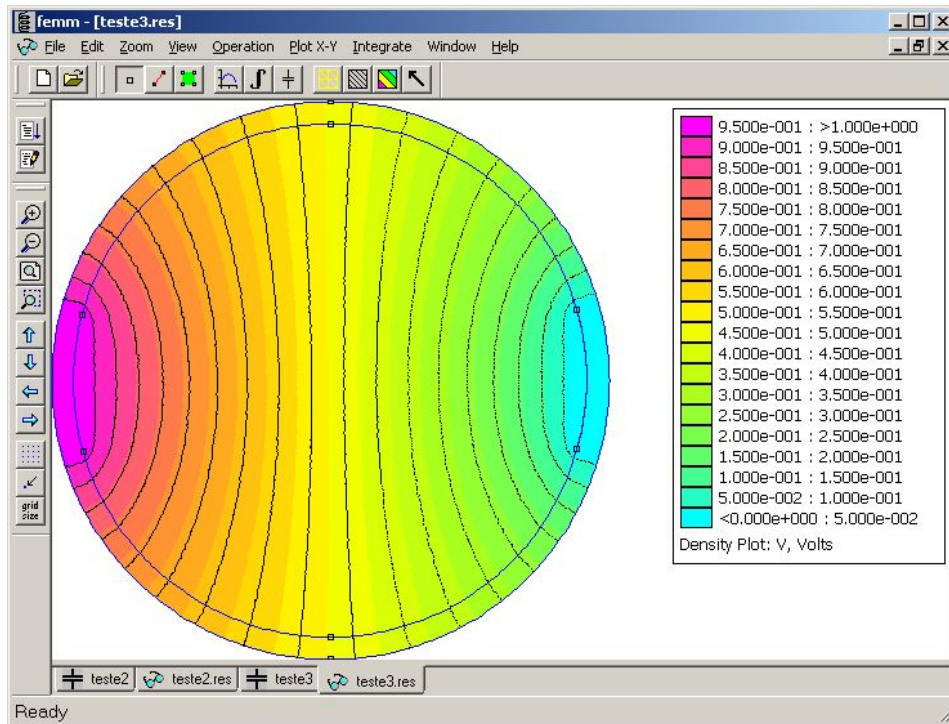


Figura 14: Campo com as placas internas no tubo 2 e dielétrico ar.

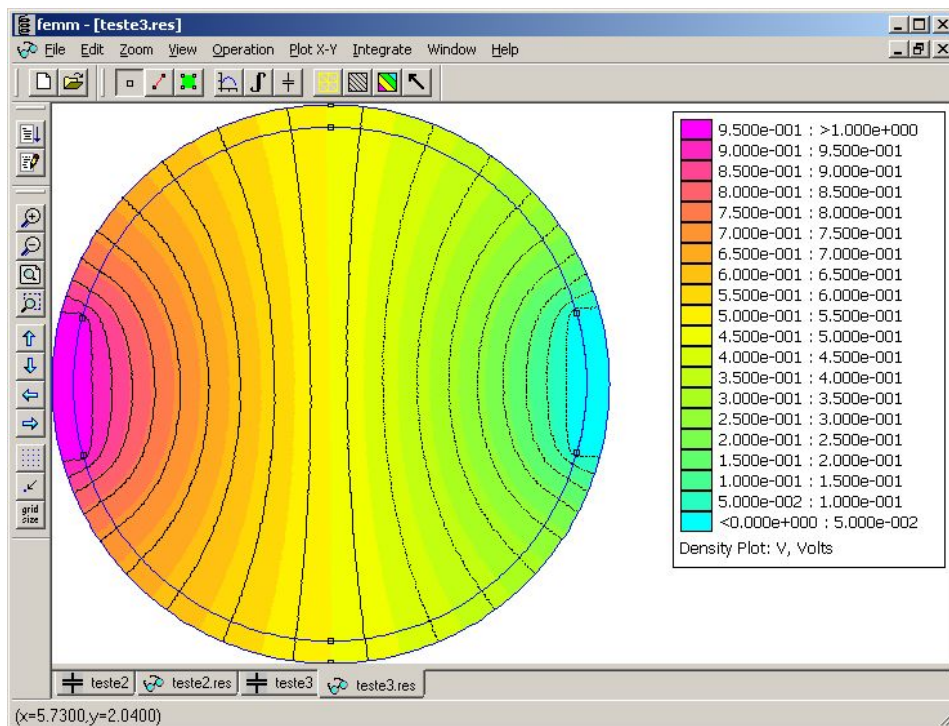


Figura 15: Campo com as placas internas no tubo 2 e dielétrico água.

A partir das figuras 14 e 15, verifica-se que o campo elétrico se comporta da mesma forma (com leve diferença entre as linhas equipotenciais) com os dielétricos água e ar quando as placas do capacitor estão presas nas faces internas do tubo. Ao comparar a figura 12 com a figura 15, encontram-se campos elétricos totalmente distintos, pois o acrílico do tubo influencia significativamente, por causa de sua constante dielétrica, o que foi verificado experimentalmente no item 3.1.3, que fazia com que as alterações no dielétrico não proporcionassem uma alteração significativa na capacitância. Já com as placas fixadas internamente, pôde-se verificar uma grande alteração no valor da capacitância, com a alteração do dielétrico de ar para água, já que o campo elétrico está uniforme no interior do tubo.

### **3.3 Circuitos para determinação de concentração via sensor capacitivo**

Conforme estudo do item anterior, já foi verificado que as placas do capacitor devem ser fixadas nas faces internas do tubo, assim, abordar-se-á neste item circuitos para determinação de concentração via sensor capacitivo.

#### **3.3.1 Ponte de Schering**

Para medir a capacitância do sensor, foi planejado montar uma ponte de Schering, na qual os valores encontrados independem da forma de onda e da frequência da onda de entrada. A partir disso, montou-se o circuito da figura 16, para aferir a capacitância encontrada entre as duas placas de metal, sendo esta a capacitância  $C_X$  da figura (o capacitor  $C_1$  é um capacitor variável).



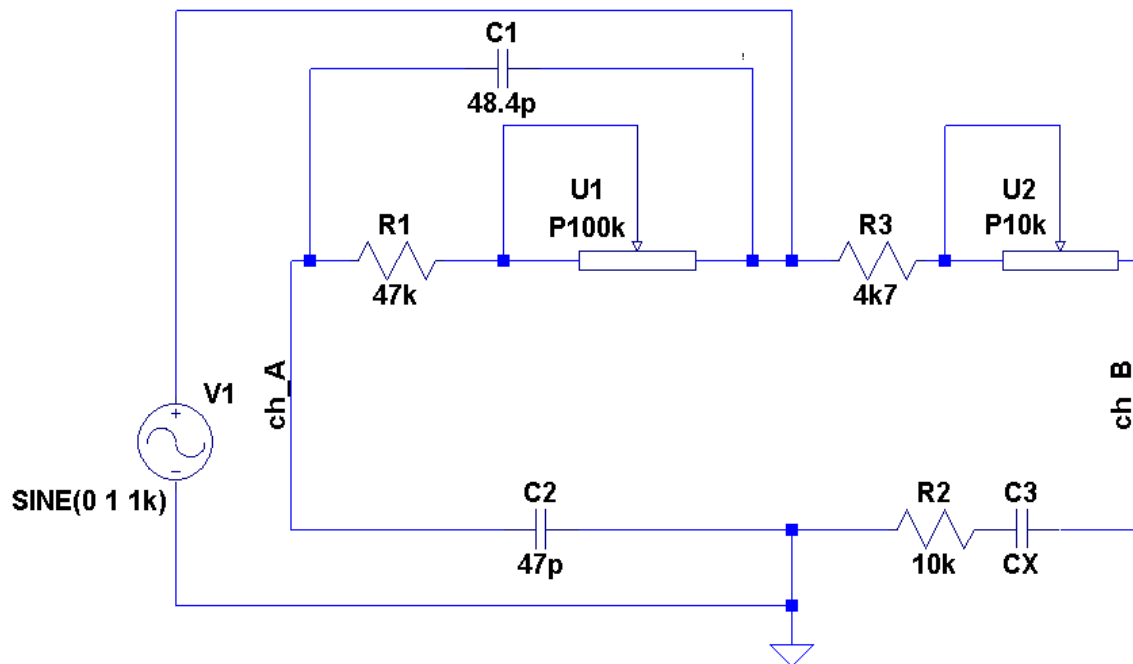


Figura 16: Ponte de Schering.

Para se visualizar a diferença de potencial entre os pontos ch\_A e ch\_B, foi utilizado o osciloscópio digital “TDS 220 - Tektronix” (com seus 2 canais colocados nesses 2 pontos) em que utilizou-se a operação matemática: *diferença* para obter a forma de onda procurada.

Partindo-se de uma análise teórica, encontra-se que quando o potencial dos pontos ch\_A e ch\_B são iguais, as equações 4 e 5 são satisfeitas.

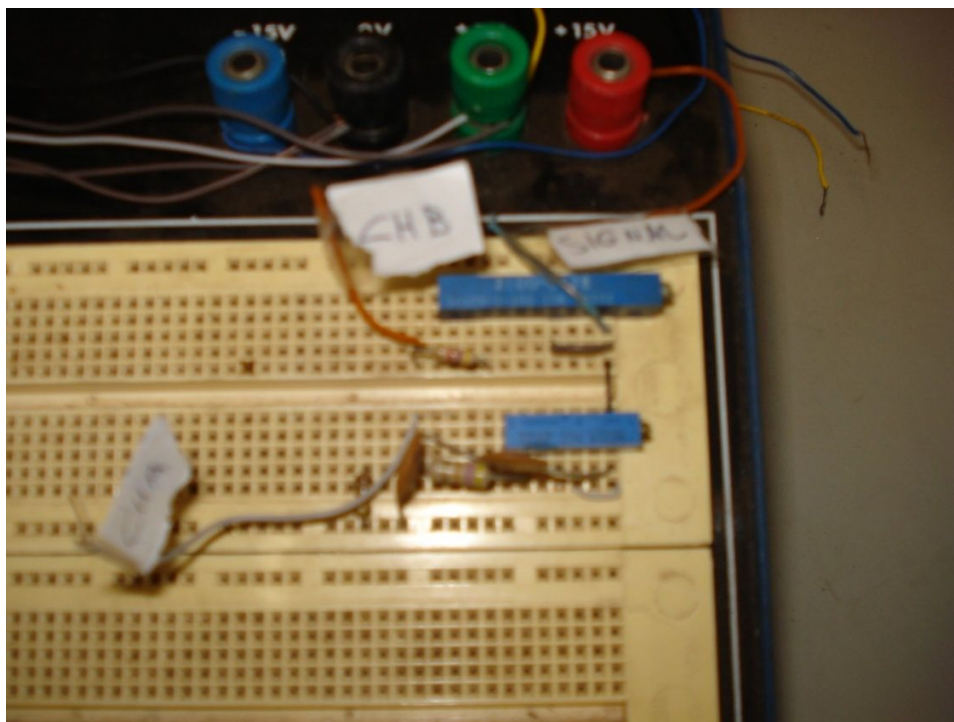
$$R_2 = (R_3 + POT10K) \cdot \frac{C_1}{C_2} \quad (4)$$

$$CX = C_2 \cdot \frac{R_1 + POT100K}{R_3 + POT10K} \quad (5)$$

Utilizou-se o potenciômetro U2 de 10kΩ para poder ajustar o valor de resistência elétrica do “braço” que contém o resistor R3 e o potenciômetro U2 para possuírem o mesmo valor de R2, que possui o valor medido de 10,07kΩ.

Ajustou-se o valor do capacitor variável C1 para o valor mais próximo de C3, experimentalmente foi possível ajustar para 48,4pF, sendo que o valor de C3 medido foi de

48,6pF. A partir disso, restou variar o potenciômetro de 100k $\Omega$  até obter a estabilização da tensão entre os pontos ch\_A e ch\_B. Na figura 17 pode-se visualizar a foto do circuito montado.



*Figura 17: Circuito – Ponte de Schering*

Porém, nesse circuito encontrou-se grande dificuldade no ajuste do nível de tensão para ficar próximo de zero nos testes realizados, em vista disso, pensou-se em utilizar outro tipo de circuito, como um astável com o LM555.

### **3.3.2 Circuito para medição com LM555**

Para verificação da variação da capacitância do dielétrico a ser testado, foi montado um circuito astável, utilizando o LM555 que pode ser visualizado na figura 18. O circuito gera uma onda quadrada em determinada frequência, e essa frequência será medida posteriormente pelo microcontrolador PIC ligando-se em seu pino 15, referente ao *clock* externo do Timer 1.

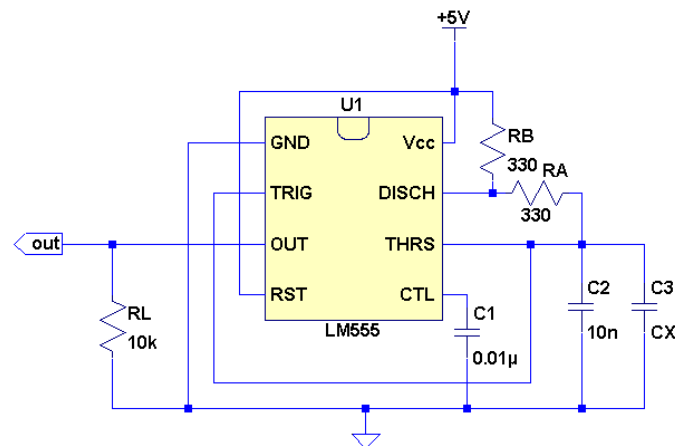


Figura 18: Oscilador Astável.

O sensor (placas paralelas no tubo) é o capacitor  $C_X$  na figura, que foi colocado em paralelo com um capacitor  $C_2$  de 10nF para obtermos uma onda estável, já que o sensor é susceptível a ruídos e verificou-se experimentalmente que com a utilização de  $C_2$  a frequência da onda gerada se comporta de maneira mais estável.

Como se pode verificar na folha de dados do fabricante, a frequência obtida nesse oscilador registra-se na equação 6.

$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B) \cdot C} \quad (6)$$

Mediu-se com osciloscópio digital a frequência da onda de saída, no resistor  $R_L$ , verificando assim o funcionamento do circuito e a etapa seguinte do trabalho foi medir essa frequência com um microcontrolador PIC e mostrá-la em um display LCD. O circuito do oscilador montado pode ser visualizado na figura 19.

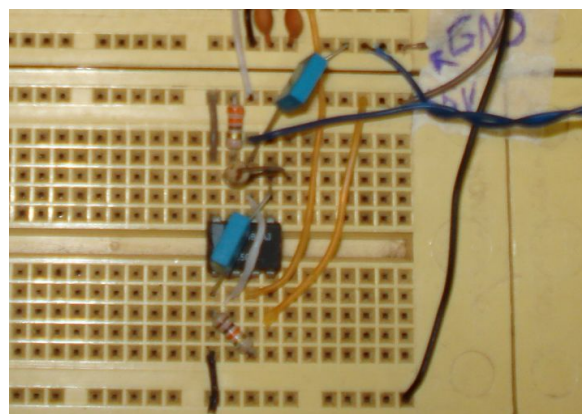


Figura 19: Circuito – Oscilador astável.

### 3.4 Microcontrolador PIC

PIC (*Programmable Intelligent Computer*) é um componente eletrônico que pertence à classe dos microcontroladores programáveis de arquitetura Harvard e conjunto reduzido de instruções (RISC). Consiste de uma memória RAM, E<sup>2</sup>PROM não volátil interna e externa, memória de programa, controladores de entrada e saída digital e analógica (opcional) em torno de uma CPU (*Central Processing Unit*) dentro de um único *chip*.

Os microcontroladores PIC são extremamente versáteis, podem possuir de 6 a 100 pinos em tipos diferentes de encapsulamentos. Possuem pinos com múltiplos usos, escolhidos através de programação, ou seja, o mesmo pino pode funcionar como entrada ou saída digital, comunicação paralela ou serial, entrada analógica, entre outros, alterando-se apenas a programação interna. Além disso, muitos microcontroladores PIC possuem um pacote de instruções bem parecido em vários modelos.

Foi escolhido o modelo PIC16F877A para o projeto, por ser um modelo com baixo custo, o qual disponibiliza um grande número de recursos, e pode ser visto na figura 20.



Figura 20: PIC16F877A.

O microcontrolador em questão, em sua folha de dados (*datasheet*), apresenta as seguintes características:

- Microcontrolador de 40 pinos, sendo 33 portas configuráveis como entrada ou saída;
- Via de programação de 14 *bits* e 35 instruções;
- 15 interrupções disponíveis;
- Memória de programação E<sup>2</sup>PROM FLASH, que permite a gravação do programa diversas vezes;

- Memória E<sup>2</sup>PROM (não volátil) interna com 256 *bytes*;
- Memória RAM com 368 *bytes*;
- Memória de programa com 8 *keywords*, ou seja, 8192 endereços diferentes;
- Três *timers* internos (um de 16 *bits* e outros 2 de 8 *bits*);
- Comunicação serial (SPI, I<sup>2</sup>C, USART);
- Dois módulos CCP (Capture, Compare e PWM);
- Programação *in-circuit*;
- Conversor analógico-digital com 10 *bits* de resolução e 8 canais de entrada;
- Suporta cristais osciladores de até 20MHz, com 5 milhões de instruções por segundo.

A disposição dos pinos do microcontrolador pode ser vista na figura 21, em imagem obtida em sua folha de dados.

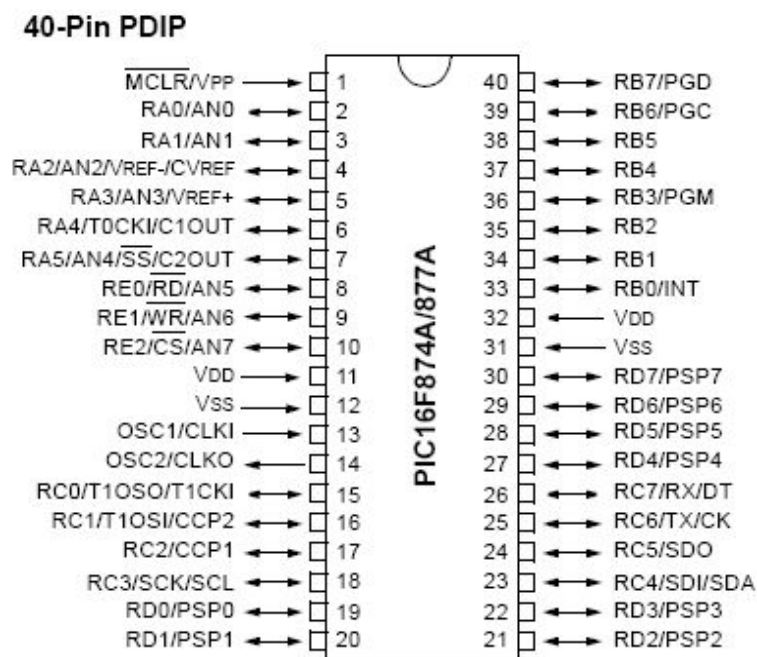


Figura 21: Disposição dos pinos do PIC16F877A.

O microcontrolador possui a estrutura interna conforme apresentado no diagrama de blocos da figura 22, a seguir.

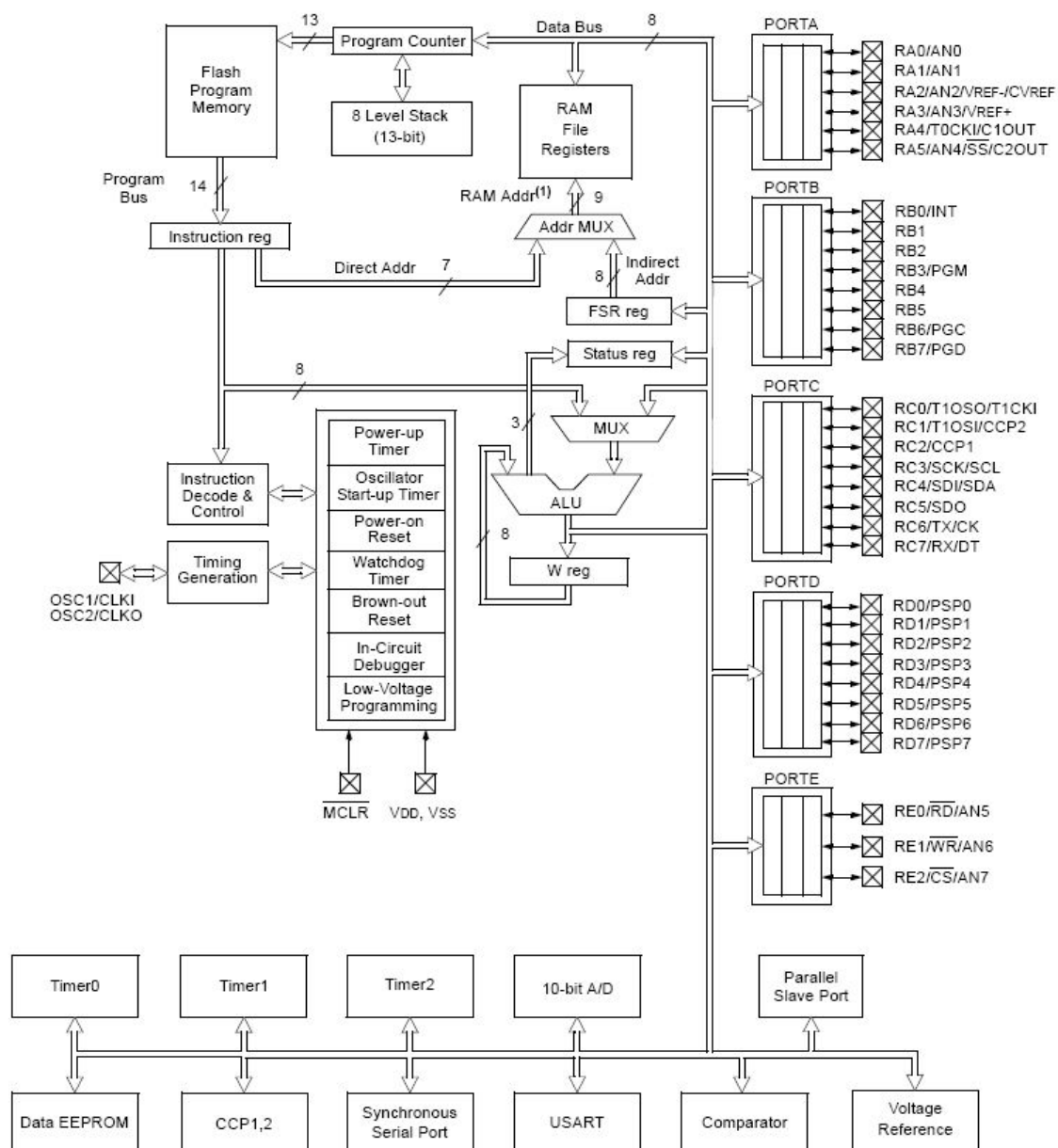


Figura 22: Estrutura interna do PIC16F877A.

Na figura 22 pode-se visualizar a Unidade Lógica Aritmética (ALU - *Arithmetic Logic Unit*) ligada ao registrador Work. Visualiza-se, também, a memória de dados (RAM - *Random Access Memory*) com seu barramento de dados (*Data Bus*) de 8 bits e a memória de programa (FLASH) que possui um barramento de 14 bits (*Program Bus*) que a liga ao *Instruction reg*.

Encontra-se, ademais, todas as portas de entrada e saída, da porta A até a porta E. E também, os demais periféricos: os *timers* (TMR0, TMR1 e TMR2), a memória de dados E<sup>2</sup>PROM, o conversor analógico digital de 10 *bits*, as comunicações seriais (SPI, I<sup>2</sup>C e USART) e paralela (SPI).

Para execução do trabalho, foi necessário conhecer o funcionamento de algumas partes específicas do PIC, como a configuração da porta B funcionando como saída para o *display* LCD, do Timer 1 para medir a frequência da onda de entrada que corresponde à capacitância medida. Serão abordados nos próximos itens o funcionamento da porta B e do Timer 1, que foram os periféricos utilizados no projeto.

### 3.4.1 Porta B

A porta B possui 8 pinos de entrada/saída digital e foi utilizada para controlar o *display* LCD e acender um diodo LED que indica o que o sistema está funcionando. Cinco de seus pinos estão associados às interrupções externas e de mudança de estado. A composição da porta pode ser vista na tabela 10.

Tabela 10: Composição dos pinos da Porta B.

Pino	Numero do pino	Tipo	Descrição
RB0/INT	33	TTL/ST	E/S digital com interrupção externa.
RB1	34	TTL	E/S digital.
RB2	35	TTL	E/S digital.
RB3/PGM	36	TTL	E/S digital ou entrada para programação em baixa tensão.
RB4	37	TTL	E/S digital com interrupção por mudança de estado.
RB5	38	TTL	E/S digital com interrupção por mudança de estado.
RB6/PGC	39	TTL/ST	E/S digital com interrupção por mudança de estado ou <i>clock</i> da programação serial ou pino de <i>in-circuit debugger</i> .
RB7/PGD	40	TTL/ST	E/S digital com interrupção por mudança de estado ou dados da programação serial ou pino de <i>in-circuit debugger</i> .

Na programação foram necessários ajustes em registradores para configurar a porta B, que foram: 1) TRISB – que determina a direção da porta, como entrada ou saída; 2) OPTION\_REG – para desativar as *pull-ups* internas, para poder utilizar a porta B.

### 3.4.2 Timer 1

O Timer 1 foi utilizado para medir a frequência da onda quadrada de saída do LM555, e foi escolhido por ser um contador de 16 *bits*, pois com 8 *bits* seria baixo o valor máximo de frequência que poderia ser medido. O contador pode ser incrementado externamente por meio do pino T1CKI, ou internamente após cada ciclo de máquina. A grande vantagem é que o usuário pode ativar ou desativar por programação através de um *flag*, ao contrário do Timer 0 que permanece ligado o tempo todo.

A estrutura interna do contador utilizado pode ser visualizada em seu diagrama de blocos na figura 23.

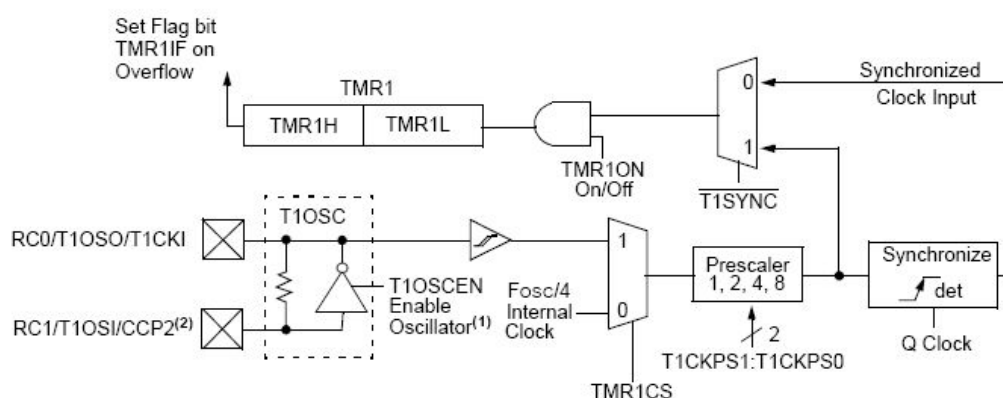


Figura 23: Estrutura interna do Timer 1.

Os registradores utilizados para configurar o Timer 1 foram: T1CON, TMR1H, TMR1L e PIR1. O registrador T1CON configura o contador para incremento interno ou externo, com ou sem *prescaler*, sincronismo ativado ou desativado, e também controlar sua ativação ou desativação. Os registradores TMR1H e TMR1L possuem 8 *bits* cada e armazenam o valor da contagem, sendo TMR1L os 8 *bits* menos significativos e TMR1H os 8 *bits* mais significativos. Já o registrador PIR1 contém em seus *bits* as *flags* individuais das interrupções, no qual somente utilizou-se seu *bit* menos significativo TMR1IF que indica se houve *overflow* ou não do contador (com a utilização desse bit na programação pôde-se dobrar a frequência máxima a ser medida).



### 3.4.3 Programação do PIC

A programação do microcontrolador PIC pode ser feita de várias maneiras e em várias linguagens de programação, isso depende do projeto em questão e do conhecimento adquirido. Dessa forma, pode-se utilizar linguagem de baixo nível, como Assembly, programando em linguagem mnemônica. Ou também, utilizar linguagens alto nível, como Basic, C, Pascal, entre outros. Compiladores bem conhecidos são MPLAB, MikroC, CCS e cada um possui suas particularidades e todos geram um código em formato hexadecimal (Intel Hex format) que é usado para ser gravado na memória de programa do microcontrolador.

Na programação, a linguagem C foi escolhida por ser uma linguagem de alto nível, de fácil interpretação, ou seja, mais acessível por possuir certa aproximação com a linguagem humana. A desvantagem consiste em gerar (após a compilação), às vezes, um código de instruções maior do que seria obtido programando na linguagem de baixo nível Assembly.

Neste trabalho, optou-se por utilizar o compilador MikroC, da Mikroeletronika, pelo fato de possuir uma versão gratuita para criar programas de até 2 Kbytes e também pela facilidade na utilização de funções que estão disponíveis em sua biblioteca, como a de escrita em um *display* de LCD, por exemplo.

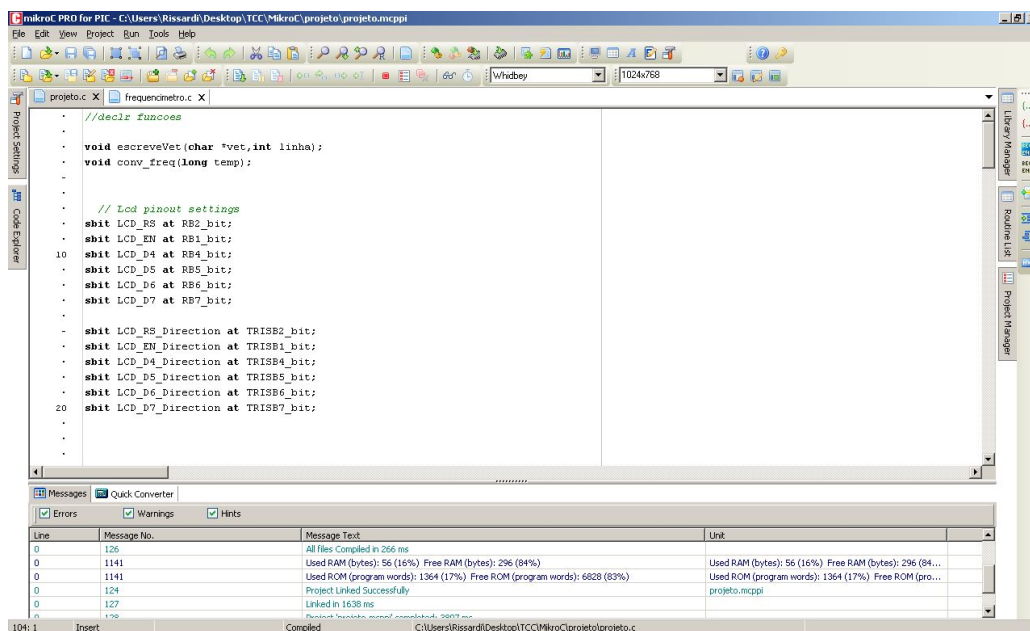


Figura 24: Software MikroC.

Na figura 24 encontra-se uma imagem do compilador MikroC em uso, a interface é amigável e na própria tela principal o usuário pode selecionar o modelo do PIC a ser utilizado, a frequência do cristal, a forma de compilação, entre outros. Algumas barras de ferramentas que possibilitam o controle do usuário podem ser vistas na figura 25.

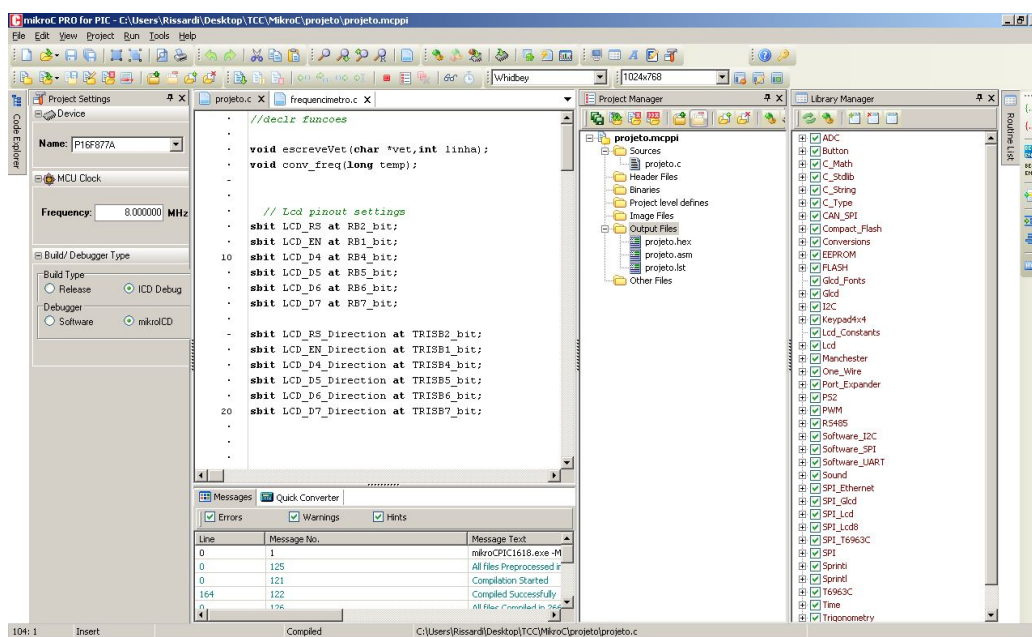


Figura 25: Barras de Ferramentas no MikroC.

Na figura 25 pode-se visualizar do lado esquerdo a barra *Project Settings*, na qual é escolhido o modelo do PIC, a frequência do cristal e o modo de compilação. Do lado direito encontra-se as barras *Library Manager* e *Project Manager*. Na primeira estão todas as bibliotecas disponíveis e com um clique pode-se visualizar suas sub-rotinas, o que ajuda muito no desenvolvimento do projeto. Já na barra *Project Manager*, pode-se visualizar os arquivos que estão incluídos no projeto, os arquivos fonte, os arquivos secundários e inclusive os arquivos de saída, em formatos “.hex” e “.asm”, o primeiro consiste no código de programa gerado em formato hexadecimal e o segundo no programa em *assembly* gerado a partir da programação em linguagem C.

O código fonte elaborado no projeto encontra-se no Anexo 1, com comentários que explicitam cada etapa. Utilizou-se com frequência o menu Ajuda do *software*, podendo-se encontrar exemplos de utilização do *display* de LCD, sua inicialização e a configuração com 4 *bits* de dados.

### 3.5 Display LCD

O *Display LCD* é uma interface de saída comumente usada em sistemas microprocessados. Os módulos LCD comuns (tipo caracter) são especificados em número de linhas por colunas, conforme pode-se visualizar na tabela 11.

Tabela 11: Módulos LCD disponíveis.

Número de Colunas	Número de linhas	Quantidade de pinos
8	2	14
12	2	14/15
16	1	14/16
16	2	14/16
16	4	14/16
20	1	14/16
20	2	14/16
20	4	14/16
24	2	14/16
24	4	14/16
40	2	16
40	4	16

Podem ser encontrados modelos com uma iluminação de fundo (*LED backlight*) que facilita leituras com pouca iluminação ambiente. A corrente de alimentação deste led varia de 100 a 200mA. Pode-se visualizar um *display LCD* a seguir, na figura 26.



Figura 26: Display LCD.

O fato de o módulo possuir um controlador próprio possibilita sua interligação com o microcontrolador por meio de seus pinos, os quais são utilizados para alimentar o módulo, conectar o barramento de dados e o de controle. Dessa forma deve ser utilizado um protocolo de comunicação entre as partes, que envolve o envio de *bytes* de instruções e *bytes* de dados. A disposição dos pinos do *display* pode ser vista na tabela 12.

Tabela 12: Pinagem do Módulo LCD.

Pino	Função	Descrição
1	Alimentação	Terra
2	Alimentação	VCC
3	VEE	Tensão para ajuste de contraste
4	RS	Seleção: 1 – Dado, 0 – Instrução
5	R/W	Seleção: 1 – Leitura, 0 – Escrita
6	E	Chip <i>Select</i> : 1 ou (1 → 0) – Habilita, 0 – Desabilitado
7	B0 (LSB)	Barramento de Dados
8	B1	
9	B2	
10	B3	
11	B4	
12	B5	
13	B6	
14	B7 (MSB)	

A ligação entre o *display* LCD e o PIC foi feita utilizando-se apenas 4 *bits* de dados, neste caso não utilizamos os pinos 7, 8, 9 e 10, sendo esta configuração definida na rotina de inicialização do LCD. A configuração utilizada pode ser vista na figura 27. Note que o pino R/W foi aterrado, ficando em nível 0, adiante será explicado o porquê dessa conexão.

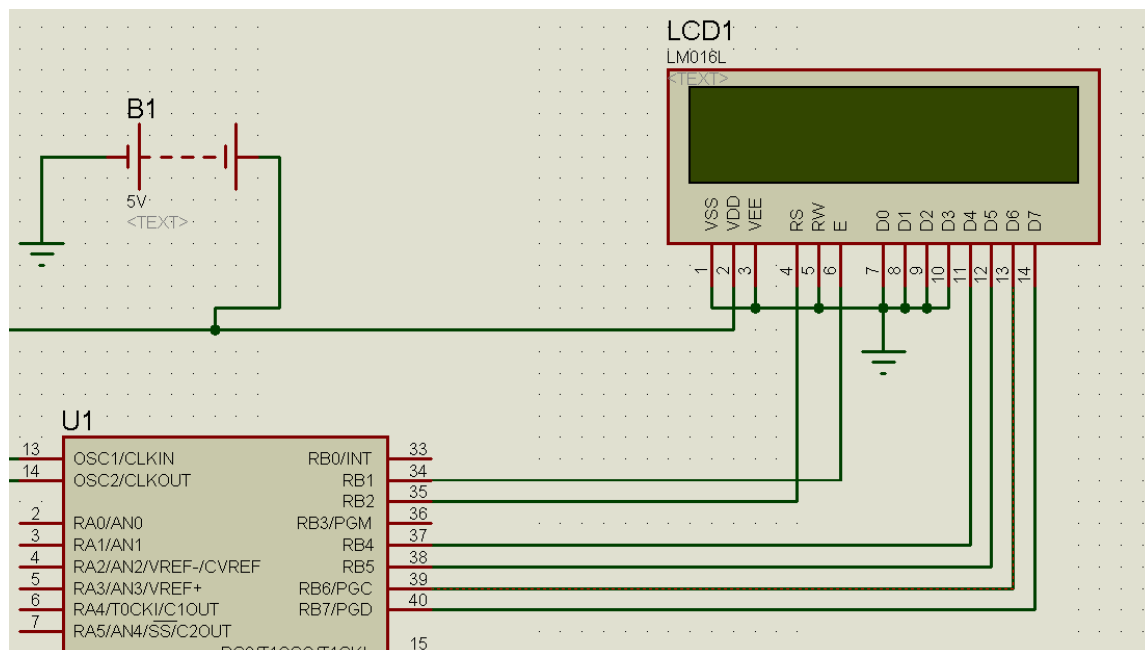


Figura 27: Conexão entre o microcontrolador e o display LCD.

Conforme descrito anteriormente, o controle do dispositivo ocorre nos pinos R/W e RS, a forma como isso ocorre é demonstrada na tabela 13.

Tabela 13: Controle do Módulo LCD nos pinos R/W e RS.

R/W	RS	Descrição
0	0	Instrução – Escrita no módulo
0	1	Dados – Escrita no módulo
1	0	Instrução – Leitura no módulo
1	1	Dados – Leitura no módulo

Dessa forma, como na programação apenas se deseja escrever no módulo LCD, aterrou-se o pino R/W, pois sempre necessitará estar em nível 0. Algumas das instruções mais usadas na comunicação podem ser vistas na tabela 14.

Tabela 14: Instruções mais utilizadas do Módulo LCD.

Descrição	Modo	RS	R/W	Código Hexadecimal
<i>Display</i>	Liga (sem cursor)	0	0	0C
	Desliga	0	0	0A/08
Limpa <i>Display</i>	Com <i>Home</i> Cursor	0	0	01
Controle do Cursor	Liga	0	0	0E
	Desliga	0	0	0C
	Desloca para Esquerda	0	0	10
	Desloca para Direita	0	0	14
	Cursor <i>Home</i>	0	0	02
	Cursor Piscante	0	0	0D
	Cursor com Alternância	0	0	0F
Sentido de deslocamento do cursor ao entrar com caracter	Para a esquerda	0	0	04
	Para a direita	0	0	06
Deslocamento da mensagem ao entrar com caracter	Para a esquerda	0	0	07
	Para a direita	0	0	05
Deslocamento da mensagem sem entrada de caracter	Para a esquerda	0	0	18
	Para a direita	0	0	1C
Endereço da primeira posição	Para a esquerda	0	0	80
	Para a direita	0	0	C0

O conjunto de instruções apresentado na tabela 14 leva em consideração que estejam sendo utilizados 8 *bits* para a comunicação. No caso da comunicação ocorrer com 4 *bits*, os dados ou instruções serão enviados por *nible*. Primeiro é enviado o *nible* mais significativo e depois o menos significativo.

### 3.6 Montagem do circuito para medição de concentração de herbicidas

Para proporcionar um melhor entendimento sobre o projeto, o circuito total para medir a concentração de herbicidas é o mostrado na figura 28

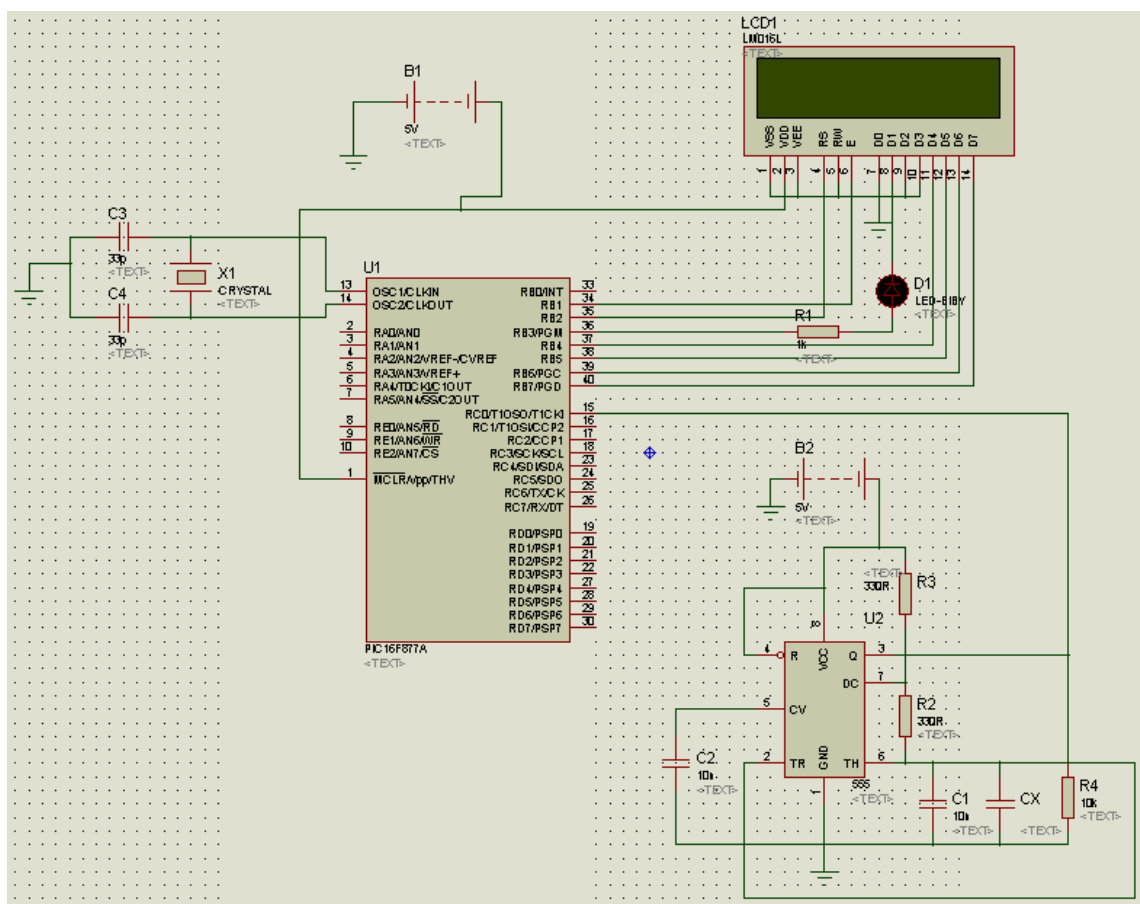


Figura 28: Circuito para medição de concentração de herbicidas.

Na figura 28 pode-se visualizar o oscilador astável com o LM555, o capacitor  $C_X$  corresponde às duas placas presas internamente no tubo de acrílico. A onda gerada pelo LM555 chega ao microcontrolador por meio de seu pino 15, que corresponde a entrada de oscilador externo do Timer 1. A partir disso, o *display* LCD mostra a concentração e a frequência da onda presente no pino 15. No circuito, também foi utilizado um diodo LED para indicar funcionamento do PIC.

Para testes práticos no laboratório, optou-se por utilizar hidróxido de magnésio ( $Mg(OH)_2$ ) ao invés de utilizar o agrotóxico. Isso se deve ao fato de ser necessária a utilização de luvas e

máscara para manuseio do mesmo, e tentou-se evitar contaminação do tubo e no caso de derramamento acidental poderiam ocorrer outras contaminações.

A figura 29, a seguir, mostra todo o circuito montado experimentalmente.

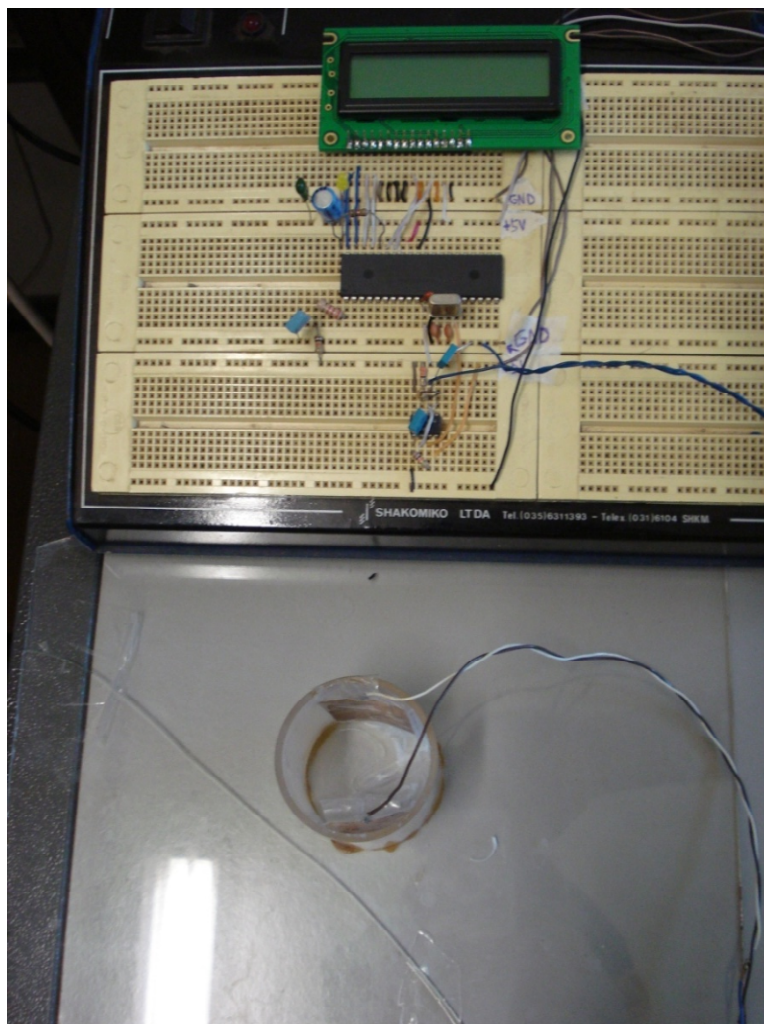


Figura 29: Foto do circuito para medição de concentração de herbicidas.

Dada a utilização de cristal de alta frequência (utilizou-se cristal de 8MHz para *clock* do PIC), na montagem prática, usou-se um capacitor eletrolítico de 47uF/16 volts, ligado diretamente nas barras de  $V_{CC}$  e de Terra, no *protoboard*, e posicionado o mais próximo possível do PIC. Em paralelo com ele, e bem próximo, foi utilizado um capacitor de 1nF. Além disso, entre os pinos 11 e 12 do PIC, foi colocado um capacitor cerâmico com valor de 220pF. A partir disso o microcontrolador funcionou sem problemas. Antes da utilização desses capacitores o microcontrolador ficava instável e funcionava por pouco tempo e se desligava automaticamente.



## 4 Resultados

Neste capítulo, apresentar-se-á, primeiramente, as simulações computacionais e depois os testes laboratoriais. Para testar o funcionamento do programa durante a fase de programação, utilizou-se o *software Proteus ISIS*, da *Labcenter Electronics*, o qual possibilita gravar o arquivo hexadecimal no PIC para testar se a programação está funcionando perfeitamente.

O teste com o PIC funcionando pode ser visto na figura 30.

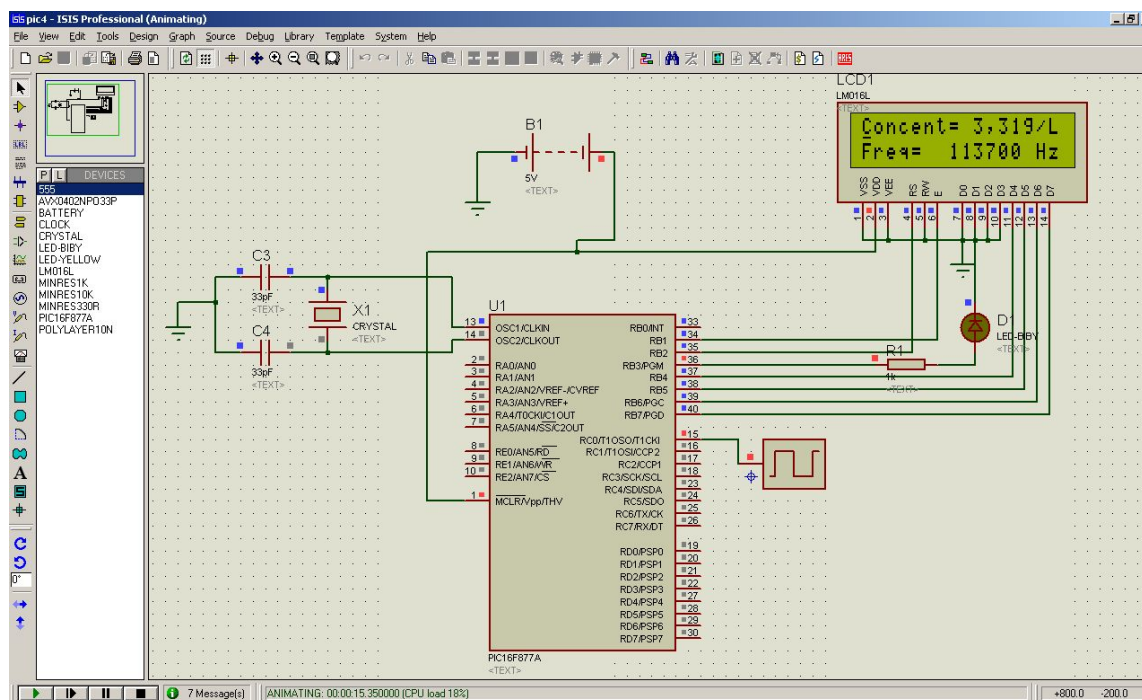


Figura 30: Simulação no Proteus ISIS com onda de 113,7kHz.

Na simulação foi utilizado um gerador de onda quadrada como entrada no pino 15, ao invés da utilização do próprio circuito do LM555, pela limitação do *software*, no qual o uso do referido oscilador astável deixava a simulação muito lenta. O gerador de onda quadrada foi configurado conforme pode ser visto na figura 31.

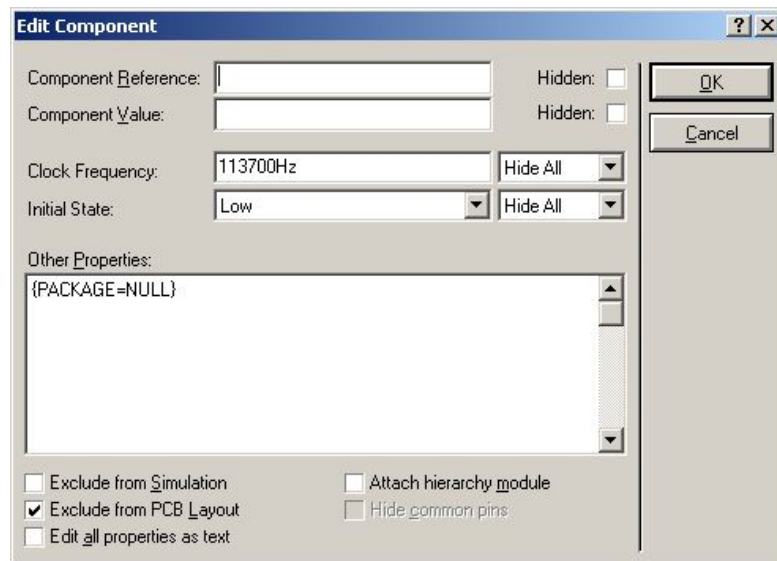


Figura 31: Configuração do Gerador de Onda Quadrada.

Alterando-se a frequência da onda gerada, pode-se visualizar a mudança no *display* LCD, com a frequência de 113kHz foi obtida a simulação da figura 32.

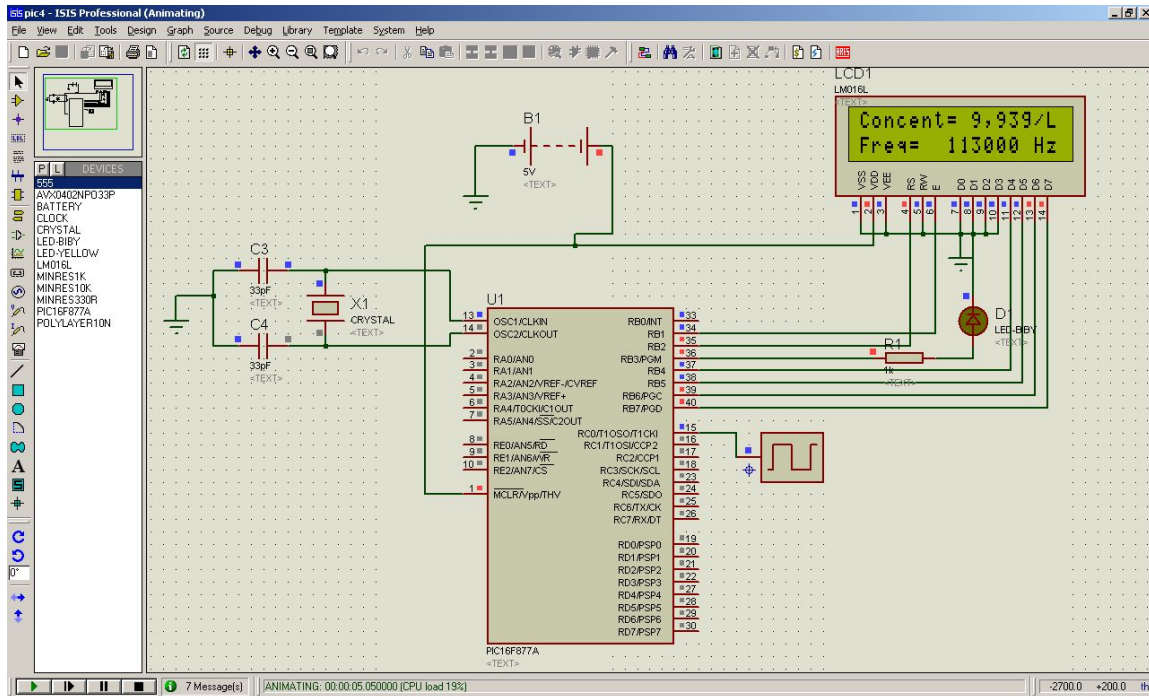


Figura 32: Simulação no Proteus ISIS com onda de 113kHz.

Para se obter a concentração de hidróxido de alumínio para certa frequência, foi feito um levantamento de dados, medindo-se a frequência da onda gerada pelo circuito da figura 18 (oscilador astável) e foram encontrados os dados da tabela 15.

Tabela 15: Concentração x Frequência.

Número de gotas	Concentração (g/L)	Frequência (kHz)
Somente água	0	114,30
1 gota	3,31	113,70
2 gotas	6,62	113,20
3 gotas	9,93	112,90
4 gotas	13,24	112,70
5 gotas	16,55	112,50
6 gotas	19,86	112,48

Para a determinação do valor da concentração para determinado número de gotas foi verificado experimentalmente que 1ml de líquido correspondia a 12 gotas do conta-gotas utilizado, assim sendo, cada gota continha 0,0833ml. A densidade do hidróxido de alumínio é 2,38g/ml (20°C). Obteve-se, então, que cada gota de hidróxido de alumínio tem massa 0,19833 gramas.

A quantidade de água inserida no tubo nos experimentos era de 60ml, então podemos dizer que com 1 gota de hidróxido de alumínio, a concentração era de 3,31g/l.

Com os dados expostos na tabela 15, pôde-se plotar o gráfico da figura 33, que mostra a frequência obtida para cada número de gotas aplicado.

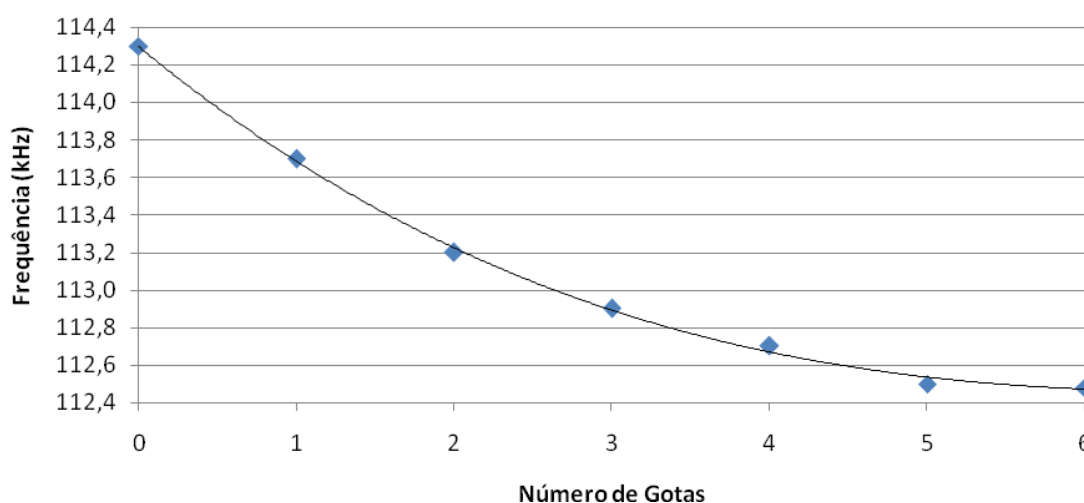
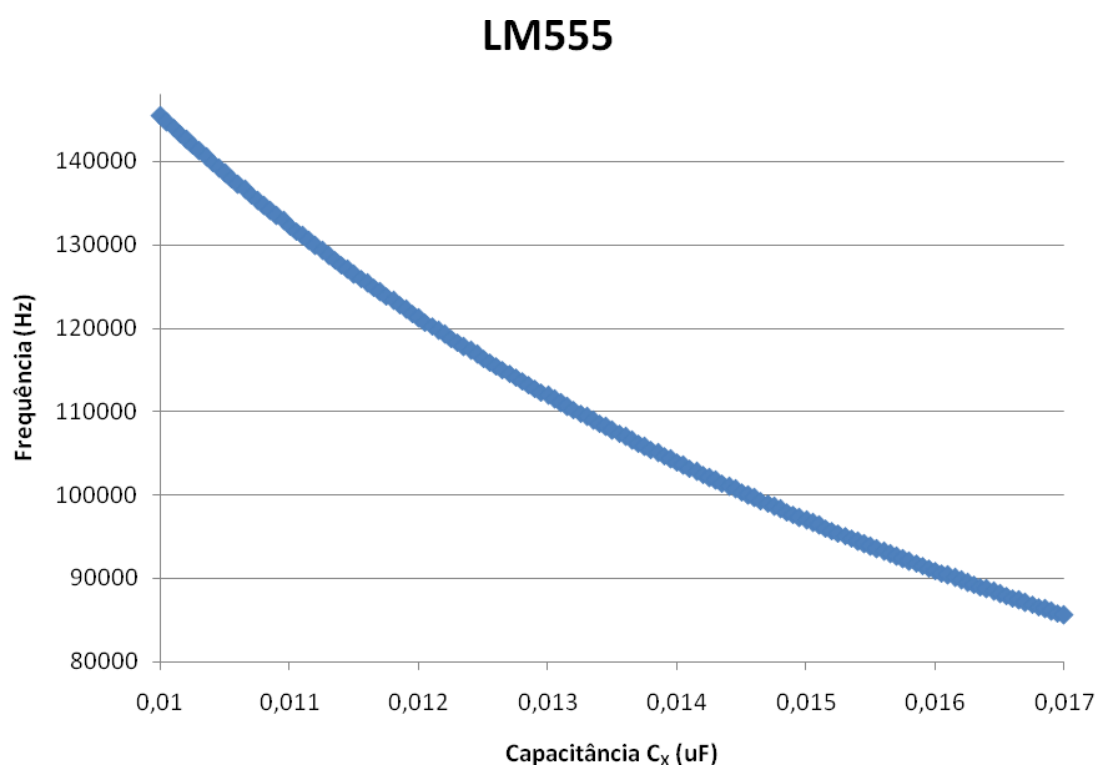


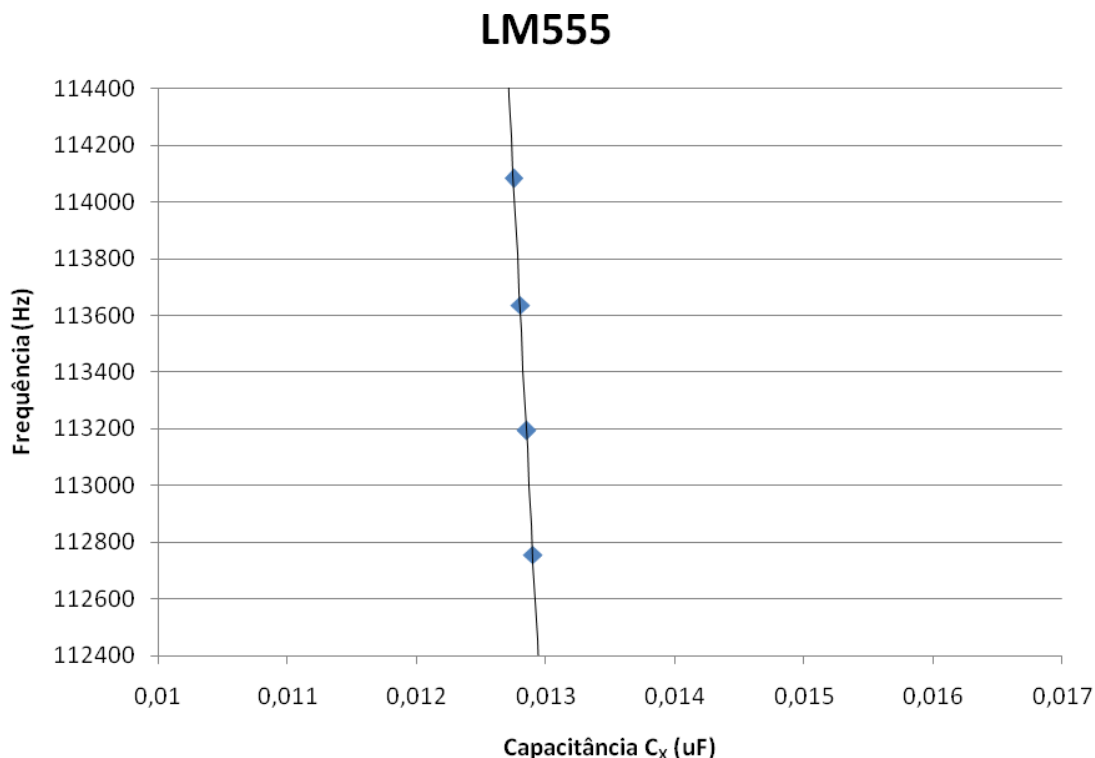
Figura 33: Frequência x número de gotas.

Na figura 33, nota-se que o gráfico não é linear, podendo-se verificar que a cada nova gota que foi adicionada ao líquido, a frequência diminuiu cada vez menos. Suspeitou-se que essa não-linearidade estaria relacionada ao LM555, pelo fato de a capacitância ser inversamente proporcional à frequência. Assim, foi feito o gráfico da figura 34, que nos mostra a curva de frequências do LM555 para os componentes utilizados na montagem.



*Figura 34: Frequência x Capacitância - LM555.*

Para podermos comparar os gráficos, segue na figura 35 a mesma curva de frequências do LM555, mas com a mesma escala da figura 33.



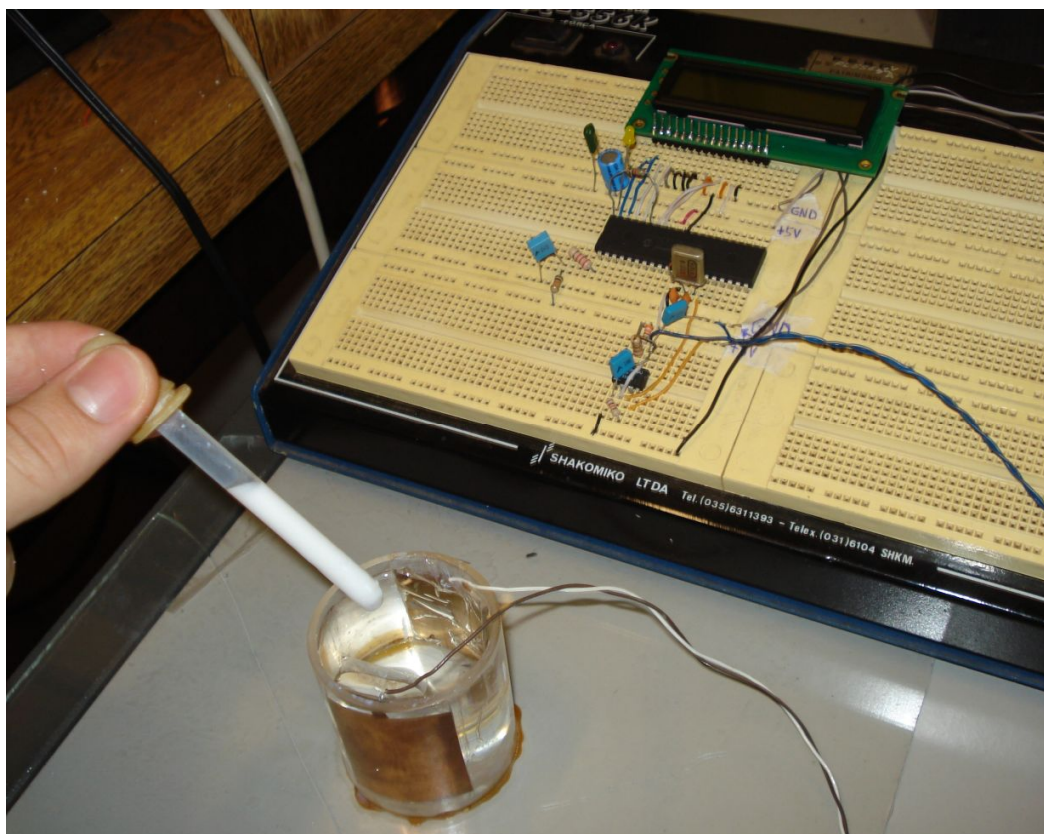
*Figura 35: Freqüência x Capacitância - LM555 com escala ajustada.*

Pode-se perceber, do gráfico da figura 35, que o comportamento do LM555 na faixa de frequências utilizada é aproximadamente linear, sendo assim, este não é o motivo da curva da figura 33 ser não-linear.

Concluimos, nesse caso, que a frequência é proporcional à capacitância, ou seja, ocorre que a constante dielétrica é não-linear em relação à concentração, de acordo com a equação 7.

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \alpha \cdot \epsilon \quad (7)$$

Na qual, A é a área do capacitor, d é a distância entre as placas e  $\epsilon$  é a constante dielétrica do material. Como a área e a distância são constantes, elas podem ser representadas por  $\alpha$ . Dessa forma, fica demonstrado que é a constante dielétrica que não se comporta linearmente em relação à concentração, o que dificulta exatidão das medidas.



*Figura 36: Experimento com adição de hidróxido de magnésio.*

A figura 36 corresponde a uma foto da parte prática do projeto, na qual gotas de hidróxido de magnésio são adicionadas ao tubo com água, e o microcontrolador mostra no *display* LCD a concentração da mistura.

## 5 Conclusão

Em uma visão geral, este trabalho abordou diversos tópicos do curso de Engenharia Elétrica sobre instrumentação, eletrônica analógica e digital, através de: projeto, simulação, montagem e testes do circuito, com o intuito de obter os dados, experimentalmente, referentes às medidas de concentração.

Também houve um grande aprendizado com a utilização do *software* FEMM, que possibilitou verificar o comportamento eletrostático das linhas de campo no capacitor.

Outro ponto interessante foi o baixo custo do projeto e a utilização de componentes fáceis de serem encontrados. Os componentes mais caros foram o PIC e o LCD que custaram cerca de R\$20,00 cada um.

A programação do microcontrolador PIC foi um grande desafio, dado a falta de conhecimento do mesmo no início do projeto. Combinar a programação em C para o microcontrolador PIC foi superada com sucesso e houve grande aprendizado nessa área.

Trabalhos futuros: uma melhoria que poderia ser feita no projeto é tentar linearizar a curva de Concentração *versus* Frequência, que sendo não-linear faz com que o sistema perca precisão a partir de certa concentração. Outra melhoria poderia ser a blindagem do sistema para evitar ruídos externos, reduzindo o ruído para aumentar a precisão das medições.

## Referências Bibliográficas

KOCHER, M. F., LAN, Y., CHEN, C., SMITH, J.A. 1998. Opto-electronic sensor for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity. Transactions of the ASAE. 41(1):237-245.

KOO, Y. M., SUMMER, H. R. 1998. Total flow control for a direct injection sprayer. Applied Engineering in Agriculture. 14(4):363-367.

SALAMI, M. A., ROCHA FILHO, J. B. 2003. Resistores e Capacitores utilizando Lápis, papel e plástico. Sítio eletrônico: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/ix/atas/posteres/po51-27.pdf>

SHIRATSUCHI, L. S., CHRISTOFFOLETI P. J., FONTES, J. R. 2003. Aplicação localizada de herbicidas. Documentos/Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111;91, 18p.

Sítio eletrônico: <http://www.dm.ufscar.br/~waldeck/pic/#pic>

Sítio eletrônico: <http://inorgan221.iq.unesp.br/quimgeral/respostas/eletrolitos.html>

Sítio eletrônico: <http://www.mspc.eng.br/ciemat/cmat310.shtml>

Sítio eletrônico: [http://www2.eletronica.org/apostilas-e-ebooks/componentes/LCD\\_30324b.pdf](http://www2.eletronica.org/apostilas-e-ebooks/componentes/LCD_30324b.pdf)

SRIVASTAVA, A. K., CARROLL, E. G., ROGER, P. R., DENNIS, R. B. 2006. (rev.) Precision Agriculture. Chapter 6 in Enginnering principles of agricultural machines, 2nd ed., 123-128. St. Joseph, Michigan: ASABE.

VONDŘIČKA, J. 2007. Study on the Process of Direct Nozzle Injection for Real Time Site Specific Pesticide Application. Tese de Doutorado, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Tschechische Republik.



## Anexo 1

```
//declr funcoes
void escreveVet(char *vet,int linha);
void conv_freq(long temp);

// Lcd pinout settings
sbit LCD_RS at RB2_bit;
sbit LCD_EN at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RB4_bit;
sbit LCD_D5 at RB5_bit;
sbit LCD_D6 at RB6_bit;
sbit LCD_D7 at RB7_bit;
sbit LCD_RS_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB7_bit;

//decr variaveis
char buf[8];
char msg1[16], msg2[16];
long freq=0;
unsigned int counter0;
int i, j, aux=0;
//inicio do programa
void main(){
msg1[0]='C';
msg1[1]='o';
msg1[2]='n';
msg1[3]='c';
msg1[4]='e';
msg1[5]='n';
```

```
msg1[6]='t';
msg1[7]='=';
msg1[8]='';
msg1[9]='';
msg1[10]=' ';
msg1[11]=' ';
msg1[12]=' ';
msg1[13]='g';
msg1[14]='/';
msg1[15]='L';
msg2[0]='F';
msg2[1]='r';
msg2[2]='e';
msg2[3]='q';
msg2[4]='=';
msg2[5]='';
msg2[6]='';
msg2[7]='';
msg2[8]='';
msg2[9]='';
msg2[10]=' ';
msg2[11]=' ';
msg2[12]=' ';
msg2[13]=' ';
msg2[14]='H';
msg2[15]='z';

//inicializando os registradores
CMCON = 0x07; // Turn off comparators
TRISB= 0X00; // Porta B como saída para o LCD
TRISA=0XFF; //Porta A como entrada
TRISC=0XFF; //Porta C como entrada
ADCON1=0X00; //Configura conversor AD da porta A
T1CON=0X06; //Configura timer 1
```

```

OPTION_REG=0X80; //Desabilita pull-up internas
PIE1=0X00; //Desabilita algumas interrupcoes
PIR1=0X00; //Desabilita algumas interrupcoes
INTCON=0X00; //Desabilita todas as interrupcoes
PORTB=0X00; //Inicia Porta B com zero

//Configuracao e inicializacao do LCD
PORTB.F3=1; //liga led
Lcd_Init();
delay_ms(15);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // limpa o display
delay_ms(15);
escreveVet(msg1,1);
delay_ms(15);
escreveVet(msg2,2);
//Inicio da leitura dos sensores
for(;;){
//zerar variaveis
aux=0;
TMR1L=0;
TMR1H=0;
TMR1IF_bit=0;
TMR1ON_bit=1;
PORTB.F3=~PORTB.F3; //alterna led
//*****
delay_ms(1000); //janela de 1 segundo para leitura de frequencia
counter0=(unsigned int)(TMR1H<<8)+TMR1L;
if(TMR1IF_bit==1){
aux=1;
}
//*****
//inicio da escrita no display
TMR1ON_bit=0;
freq=(long)counter0;

```

```

if(aux==1){
freq=freq+65535;
}
conv_freq(freq);
escreveVet(msg2,2);
if(freq<116500){
if((freq>115000)&&(freq<116500)){
msg1[8]=' ';
msg1[9]='a';
msg1[10]='r';
msg1[11]=' ';
msg1[12]=' ';
escreveVet(msg1,1);
}
if((freq>114000)&&(freq<115000)){
msg1[8]='a';
msg1[9]='g';
msg1[10]='u';
msg1[11]='a';
msg1[12]=' ';
escreveVet(msg1,1);
}
if((freq>113450)&&(freq<114000)){
msg1[8]=' ';
msg1[9]='3';
msg1[10]=',';
msg1[11]='3';
msg1[12]='1';
escreveVet(msg1,1);
}
if((freq>113050)&&(freq<113450)){
msg1[8]=' ';
msg1[9]='6';
msg1[10]=',';

```

```

    msg1[11]='6';
    msg1[12]='2';
    escreveVet(msg1,1);
}
if((freq>112800)&&(freq<113050)){
    msg1[8]=' ';
    msg1[9]='9';
    msg1[10]=',';
    msg1[11]='9';
    msg1[12]='3';
    escreveVet(msg1,1);
}
if((freq>112600)&&(freq<112800)){
    msg1[8]='1';
    msg1[9]='3';
    msg1[10]=',';
    msg1[11]='2';
    msg1[12]='4';
    escreveVet(msg1,1);
}
if((freq>112490)&&(freq<112600)){
    msg1[8]='1';
    msg1[9]='6';
    msg1[10]=',';
    msg1[11]='5';
    msg1[12]='5';
    escreveVet(msg1,1);
}
if((freq>112490)&&(freq<112470)){
    msg1[8]='1';
    msg1[9]='9';
    msg1[10]=',';
    msg1[11]='8';
    msg1[12]='6';

```

```

    escreveVet(msg1,1);
}
}
delay_ms(10); //aguarda um momento para estabilizacao das leituras
}
}

```

```

void escreveVet(char *vet,int linha){
int i=0;
Lcd_Chr(linha,1,vet[0]);
delay_ms(15);
for (i=1;i<16;i++){
Lcd_Chr_CP(vet[i]);
delay_ms(15);
}
}

```

```

void conv_freq(long temp){
long aux2;
msg2[5]=' ';
msg2[6]=' ';
msg2[7]=0x30+temp/100000;
aux2=temp-(temp/100000)*100000;
msg2[8]=0x30+aux2/10000;
aux2=aux2-(aux2/10000)*10000;
msg2[9]=0x30+aux2/1000;
aux2=aux2-(aux2/1000)*1000;
msg2[10]=0x30+aux2/100;
aux2=aux2-(aux2/100)*100;
msg2[11]=0x30+aux2/10;
aux2=aux2-(aux2/10)*10;
msg2[12]=0x30+aux2;
msg2[13]=' ';
}

```