

TRASNDUTOR CAPACITIVO PARA MEDIR TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO

José Fernando Presenço
Odivaldo José Seraphim

Departamento de Engenharia Rural - UNESP - FCA - Caixa Postal 237 - Botucatu SP

1 RESUMO

A irrigação é uma alternativa para suprir a demanda de água em áreas limitadas para o cultivo devido a déficits hídricos. O uso da irrigação em várias áreas implicará em ganhos adicionais advindos de melhores colheitas. Para não inviabilizar o ganho, a quantidade de água tem de ser adequada, não podendo haver excesso nem falta de água. A automação na irrigação é a forma de se controlar de maneira precisa a quantidade de água com que se deve irrigar, o que leva à economia no consumo de água e de energia elétrica.

Este trabalho procurou, inicialmente, dar uma visão de um sistema de controle automatizado, destacando as diversas etapas, desde o sensor de campo, passando pela transmissão da informação gerada e mostrando os equipamentos de controle, tais como C.L.P (Controlador Lógico Programável) e sistema de aquisição de dados.

Posteriormente partiu-se para o desenvolvimento de um transdutor capacitivo para medidas do potencial da água no solo, para ser usado em sistemas automatizados de baixo custo. O capacitor é cilíndrico, formado por três camadas dielétricas concêntricas, sendo que em uma camada, haverá variação de constante dielétrica entre água e o vácuo, e outras camadas constituídas de P.V.C. Na parte inferior é colocada uma cápsula de cerâmica por onde ocorre a troca de água entre o solo e o capacitor.

Os testes realizados em laboratório mostraram linearidade entre pressões negativas (tensão) e a capacitância, mas indicaram influência da temperatura, exigindo o uso de circuitos compensadores de temperatura, o que pode elevar o custo final do transdutor. Neste sentido, abre-se um vasto campo de pesquisa com a perspectiva do desenvolvimento de sensores para monitorar o potencial mátrico da água no solo.

UNITERMOS: transdutor capacitivo, água do solo, potencial mátrico.

PRESENÇO, J.F., SERAPHIM, O.J. CAPACITIVE TRANSDUCER FOR SOIL WATER TENSION MEASUREMENT**2 SUMMARY**

This study is justified by the growing need of the use of automated equipment application in irrigation systems. Irrigation is an alternative to supply water in inadequate areas for cultivation due to hydric deficits. Irrigation in several areas brings additional gains as a result of better harvests. For viable gains it is necessary to apply an adequate water amount, avoiding excess or absence of water. The automation of irrigation is the precise way of controlling the quantity of water used to irrigate, leading to economy in the water waste and electric energy demand.

Initially this work gives a vision of an automated control system showing different stages; first, the field sensor, then the transmission of the given information and finally, it shows the equipment of control such as C.L.P (Programmable Logic Controller) and acquisition data systems. Afterwards, a capacitive transducer for measurements of the soil water tension was developed. It can be used on automated systems of low price. The transducer has a cylindrical form and is composed by three concentric dielectric layers. In one free layer there will be the variation of the dielectric between water and air. The others layers are made of PVC.

In extremity it is put the ceramic that does the water exchange between the soil and the transducer. The tests carried out in laboratory showed linearity between negative pressures and capacitance reading, but on the other hand indicated a great variation in the temperature which demands the use of compensation circuits, what might increase the final price of the transducer.

Thus, with the perspective of developing a sensor for monitoring the soil water tension at a reduced price a vast research field begins to appear.

KEYWORDS: capacitive transducer, soil water, matric potential.

3 INTRODUÇÃO

O setor agrícola constitui-se em uma opção importante para o desenvolvimento nacional, visto que poderá contribuir para o abastecimento de alimentos, além de gerar excedentes exportáveis.

A instabilidade climática mostra-se como um dos fatores determinantes para que a produtividade esteja aquém da desejada. Sabe-se que na maioria dos casos a disponibilidade de água natural é um parâmetro que determina a máxima produção

possível para um dado local e espécie de cultura. Logo faz-se necessária a dinamização da produção através do uso de novas técnicas e recursos.

Irigar é o processo de aplicação de água essencial para uma cultura; tem o objetivo de complementar a precipitação pluvial, influenciando diretamente no crescimento das plantas e conseqüentemente melhorando a produção de alimentos, e deve ser praticada, principalmente, em regiões áridas e semi-áridas que são regiões de baixo índice pluviométrico.

Em um projeto de irrigação, é importante utilizar a distribuição temporal e espacial de água visando a racionalização da distribuição de água e também o custo-benefício.

São três as decisões em um projeto de irrigação que devem ser estabelecidas: "Quanto, Quando e Como Irrigar".

De acordo com Distefano et al, (1978), um sistema de controle é uma disposição de componente físicos, conectados ou relacionados de tal maneira a comandar, dirigir ou regular a si mesmo ou a outros sistemas.

A água deve ser aplicada ao solo quando o "potencial da água no solo". está, ainda, suficientemente alto, sem expor a planta a uma carência de água que afete o seu desenvolvimento, evitando a chamada condição de "stress" da planta, sob pena de comprometer o êxito de determinada cultura.

Ao usuário, a quem se destina tal estudo, ou seja, ao agricultor, devem ser fornecidas técnicas simples, precisas e de baixo custo que possibilitam, a nível de campo, a determinação criteriosa do momento de iniciar a irrigação.

De acordo com Bolton (1985), o objetivo de um sistema de controle é manter uma saída uniforme, constante para uma dada referência de entrada.

Com a utilização de tensiômetros inteligentes e de sistemas automatizados pretende-se, evidentemente, melhorar a qualidade dos sistemas de irrigação. Esta melhora pode estabelecer-se tanto em termos técnicos como em termos econômicos.

Segundo Natale (1995), os reguladores são partes integrantes do controle e se compõem a partir de amplificadores operacionais. A saída de um regulador é função do valor desejado $R(t)$ e o valor atual (informado) $H(t)$, ou seja, a saída varia em função do sinal de erro $E(t)$.

As vantagens de ordem técnica de uma instalação automatizada sobre um sistema controlado manualmente são evidentes. Consegue-se uma maior flexibilidade do serviço, já que as partes móveis ou acionáveis podem ser comandadas desde um posto central, inclusive com ausência de pessoal humano. Há o aspecto do fluxo de informação que chega constantemente, constituindo valiosa fonte de informação sobre o comportamento do sistema.

As vantagens de ordem econômica também são evidentes, já que se necessita de menos pessoal dedicado a manipulação diária do sistema de irrigação e há um aumento da produtividade. Apesar do desembolso inicial ser maior, a experiência, principalmente no setor industrial, mostra que esta inversão é positiva e rentável.

Essas vantagens devem ser acessíveis tanto ao grande agricultor irrigante, quanto ao pequeno agricultor. Para o grande agricultor, o investimento em irrigação automatizada pode ser pequeno e viável, se comparado com o investimento total do plantio. Para o pequeno agricultor, o investimento total torna-se significativo, o que, geralmente, leva ao desestímulo para aplicação de sistemas automatizados. Devem ser levados em

consideração, também, outros aspectos como a manutenção do equipamento e a facilidade de operação.

Hilhorst & De Jong, (1988), propuseram a realização prática de um tensiômetro de dielétrico, o qual consiste de um metal poroso cilíndrico que funciona como condutor externo, e um condutor interno, colocando entre ambos grânulos de vidro que servem como absorvente de água.

Juntos, eles formam um condensador coaxial. Com a variação do potencial mátrico, haverá a troca de água entre o vidro (dielétrico) e a terra. Variando-se o dielétrico, altera-se a capacitância do conjunto, o que nos dará a leitura do potencial mátrico desejado.

Dall'Aglio & Rodrigues (1992), utilizaram o método térmico para medição da umidade do solo, que se baseia na variação da condutividade térmica dos solos com a umidade. Uma fonte de calor colocada no solo atingirá ao fim de um certo tempo de aquecimento uma temperatura que é inversamente proporcional ao conteúdo da umidade. O sistema de medição deve registrar a temperatura inicial do solo, comandar o início do aquecimento e ao fim de um tempo pré-determinado, obter a leitura final atingida pela sonda e desligar o aquecimento.

Portanto, o objetivo desta pesquisa é desenvolver um transdutor capacitivo, para realizar medições de potencial mátrico de água no solo, para ser utilizado em sistemas automatizados de irrigação, que seja ao mesmo tempo confiável, tenha um custo acessível ao produtor de baixa renda e de fácil utilização.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O tensiômetro capacitivo, é constituído de um capacitor cilíndrico no qual as placas metálicas estão separadas por duas camadas cilíndricas de P.V.C com um espaço livre entre essas camadas. O objetivo é termos três dielétricos concêntricos formado por P.V.C, água e/ou ar.

O espaço entre as camadas de P.V.C é preenchido inicialmente com água, através de furos na parte inferior da peça. Também, na parte inferior existe uma rosca interna, onde é colocada a capsula de cerâmica que faz a troca de água com o solo. Na parte superior foi conectado o cabo de medição, com comprimento de 0,9 metros, através do qual se farão as leituras em um capacitômetro digital. O capacitor é envolvido por uma camada de borracha para proteção e isolamento. Conforme vai ocorrendo a troca de água entre o solo e o capacitor através da cerâmica, o espaço livre entre as placas de P.V.C altera seu dielétrico entre água ($\epsilon_r = 80$) e entre ar ($\epsilon_r = 1$) o que produz alteração na leitura da capacitância. A capacitância total medida (C_m) é dada pela soma total da capacitância do capacitor acrescida da capacitância do cabo, a Figura 1 ilustra o transdutor capacitivo em corte.

Inicialmente foram feitos ensaios em laboratório, visando determinar a pressão suportável, a faixa de medida e a resistência dos instrumentos usados. Através da leitura de dois vacuômetros analógicos, o primeiro colocado na linha de ar, ao lado de um sensor de pressão eletrônico "Hytronic", e o segundo no quitazato de 2000 ml, para se verificar a

correspondência entre as medidas indicadas pelos vacuômetros analógicos e as medidas indicadas pelo sensor, que são dadas por voltagens (0-10Vcc) e pelo display digital, leitura em atmosfera, a Figura 2 ilustra a montagem do experimento em laboratório.

A pressão negativa no sistema mangueira - quitazato foi sendo ajustada através de uma válvula existente no compressor - aspirador (bomba de vácuo), que foi sendo ajustado, gradativamente, de 100 em 100 mmHg.

Após a verificação inicial do sistema, foi colocado o capacitor no quitazato. O cabo do capacitor foi ligado ao capacímetro digital e a temperatura foi monitorada através de um termopar tipo K, cuja ponta quente foi encostada na parte externa do capacitor que foi mantida fora do quitazato.

A variação da pressão negativa no sistema simula a pressão de sucção que ocorre no solo, e obriga a saída da água contida no capacitor até que a pressão negativa externa se iguale a pressão negativa dentro do capacitor.

Depois de atingido o equilíbrio foi feita a leitura da capacitância e, posteriormente alterando a pressão negativa no sistema.

O efeito da temperatura sobre as medidas da capacitância foi feito utilizando-se o aparelho de ar condicionado, que alterava a temperatura sobre o capacitor, que foi colocado dentro do casulo de isopor para se obter uma resposta mais rápida para aquecimento e resfriamento.

Após fixar uma determinada pressão negativa e obter o equilíbrio entre o meio e o capacitor, foi alterando-se a temperatura e fazendo as leituras da capacitância.

Após os testes de laboratório, o transdutor capacitivo é instalado no campo, paralelamente a um tensiômetro convencional com indicação analógica, cujas cápsulas ficaram a uma profundidade de 30cm. Um termopar foi colocado ao lado do transdutor para medir a temperatura do sistema solo - capacitor, a Figura 3 ilustra a montagem do experimento no campo.

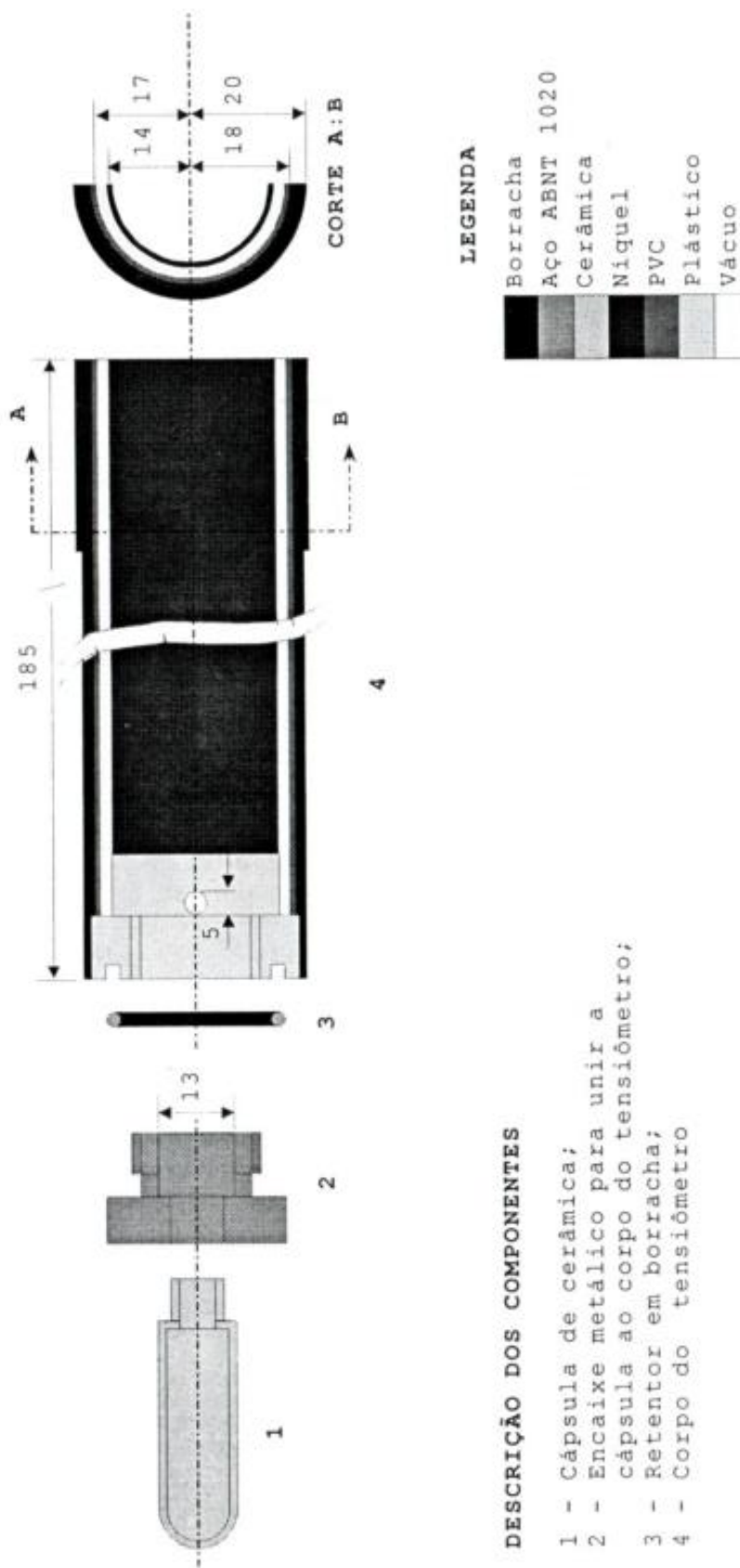
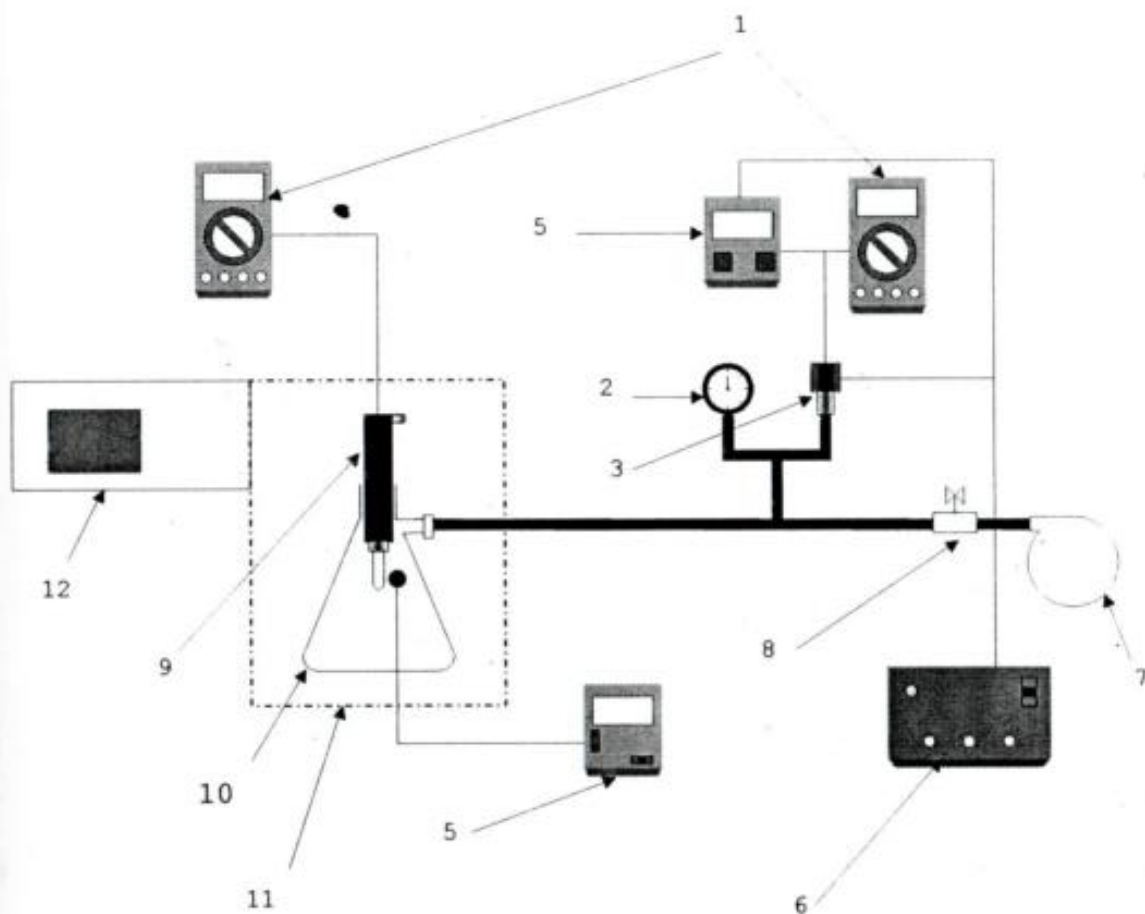


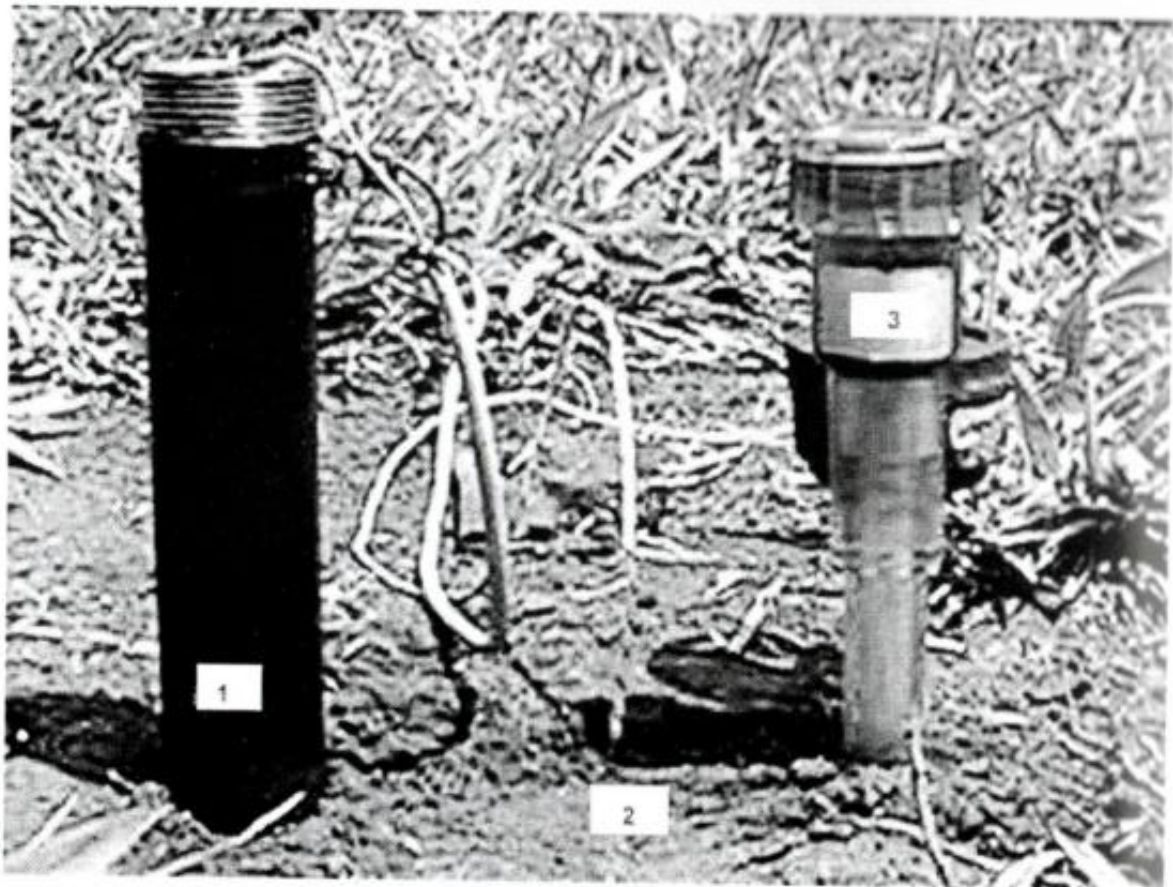
Figura 1 - Transdutor capacitivo em corte.



LEGENDA

- 1 - Multímetros Digitais (esquerda = capacitmetro, direita = voltmetro).
- 2 - Vacuômetro.
- 3 - Sensor de pressão.
- 4 - Termômetro digital.
- 5 - Display.
- 6 - Fonte de alimentação.
- 7 - Compressor-aspirador.
- 8 - Torneira.
- 9 - Tensiômetro capacitivo (nesta ilustração foram omitidos os cabos).
- 10 - Quitazato.
- 11 - Casulo de isopor para isolação térmica.
- 12 - Condicionador de ar com saída lateral.

Figura 2 - Montagem do experimento em laboratório.



- 1 - Tensiômetro capacitivo.
- 2 - Termopar.
- 3 - Tensiômetro tradicional.

Figura 3 - Montagem do experimento em campo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de capacitância medidos em laboratório estão apresentados no Quadro 1, e se referem-se aos cinco ensaios, em que se manteve temperaturas médias constantes, para que os resultados obtidos não sofressem mudanças devido a este efeito.

Com a mesma temperatura média, foi-se alterando a pressão negativa de $-0,0133$ a $-0,0532$ MPa (-100 a -400 mmHg), através do compressor-aspirador e fazendo-se as leituras da capacitância através de um multímetro digital, transformando os valores fornecidos pelo sensor em pF.

Com os dados do Quadro 1 e com as médias de cada faixa de vácuo elaborou-se a Figura 4.

Quadro 1 - Dados de capacitância em função da temperatura ambiente, e da tensão aplicada ao transdutor capacitivo, realizados em laboratório.

Vácuo		Temperatura									
		22°		22°		23°		21°		23°	
(mmhg)	(MPa)	Cap. (pF)	Sen. (Volt)	Cap. (pF)	Sen. (Volt)	Cap. (pF)	Sen. (Volt)	Cap. (pF)	Sen. (Volt)	Cap. (pF)	Sen. (Volt)
-100	-0,0133	264	7,78	264	7,78	265	7,79	263	7,78	265	7,79
		263	7,78	262	7,78	265	7,78	263	7,78	263	7,78
		262	7,78	262	7,78	263	7,78	262	7,77	264	7,78
		261	7,78	260	7,79	263	7,78	262	7,77	263	7,78
		260	7,78	262	7,79	263	7,78	262	7,77	263	7,78
		261	7,78	262	7,78	262	7,77	262	7,77	263	7,78
Médias		261,83	7,78	262	7,78	263,5	7,78	262,33	7,77	263,50	7,78
-200	-0,0266	260	6,42	260	6,42	259	6,42	258	6,41	259	6,42
		260	6,42	260	6,43	259	6,42	258	6,41	258	6,40
		260	6,42	260	6,42	257	6,40	257	6,40	258	6,41
		260	6,42	259	6,42	257	6,40	257	6,40	256	6,39
		260	6,42	259	6,42	256	6,40	256	6,39	256	6,39
		260	6,42	259	6,42	255	6,30	256	6,38	256	6,39
Médias		260	6,42	259,5	6,42	257,17	6,39	257	6,4	257,17	6,4
-300	-0,0399	256	5,04	252	5,00	252	5,00	251	5,01	252	5,00
		256	5,04	250	5,01	252	5,00	251	5,01	252	5,00
		252	5,04	248	5,02	250	5,01	250	5,00	251	5,00
		250	5,05	248	5,02	250	5,01	250	5,00	251	5,00
		248	5,04	246	5,02	251	5,01	250	5,00	251	5,00
		248	5,04	248	5,02	251	5,01	250	5,00	250	5,00
Médias		251,67	5,04	248,67	5,02	251	5,01	250,33	5	251,17	5
-400	-0,0532	241	3,76	241	3,70	242	3,71	241	3,70	242	3,70
		241	3,76	239	3,71	242	3,71	241	3,70	242	3,70
		238	3,76	239	3,76	241	3,70	240	3,70	242	3,70
		237	3,76	239	3,76	241	3,70	240	3,70	241	3,69
		237	3,76	238	3,75	239	3,76	240	3,70	240	3,70
		237	3,76	239	3,74	239	3,76	239	3,75	240	3,70
Médias		238,5	3,76	239,17	3,34	240,67	3,72	240,17	3,71	241,17	3,7

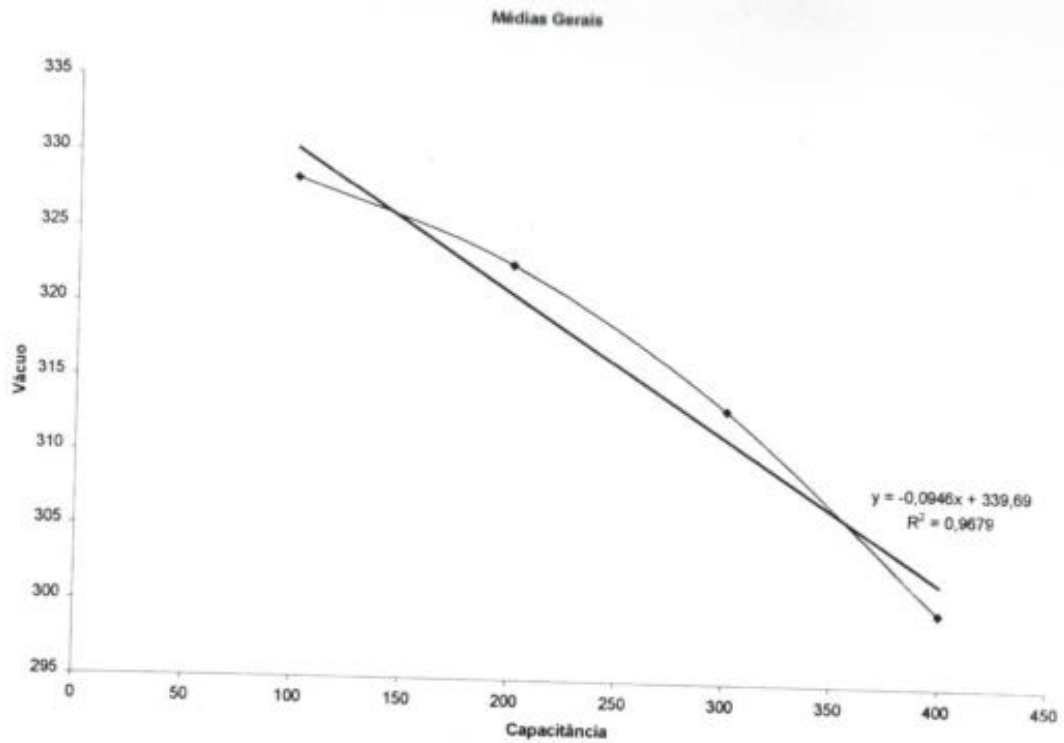


Figura 4 - Ajuste de curva e regressão linear dos dados médios da capacitância em função da pressão negativa, obtidos nos testes em laboratório.

Analisando ainda a influência da temperatura sobre os valores da capacitância, foi realizado um segundo teste no transdutor, relacionando as medições dos valores da capacitância em função da variação da temperatura, tomando-se como referência os valores de pressão negativa utilizados anteriormente, conforme Quadro 2. Com os dados do Quadro 2 elaborou-se a Figura 5.

Quadro 2 - Influência da temperatura sobre as leituras de capacitância sobre a pressão negativa variando de -100 a -400 mmHg.

T (°C)	Tensão (MPa)			
	-0,0133	-0,0266	-0,0399	-0,0532
	Capacitância (pF)			
10	251	247	241	230
20	260	256	250	240
30	266	263	259	247
40	275	270	267	255
50	283	279	276	263

Justificando o comportamento do transdutor capacitivo, quanto aos valores de capacitância, em função da pressão negativa e da variação da temperatura, temos que considerar, que a capacitância é função das dimensões do capacitor e da constante dielétrica do material colocado entre as placas, onde temos neste caso: dois dielétricos fixos de PVC (Dielétrico 1 e Dielétrico 2) e um terceiro que é variável, alternando-se

entre água e vácuo conforme for o potencial mátrico da água no solo, que pode ser ilustrado na forma de diagrama de equivalência elétrica como na Figura 6.

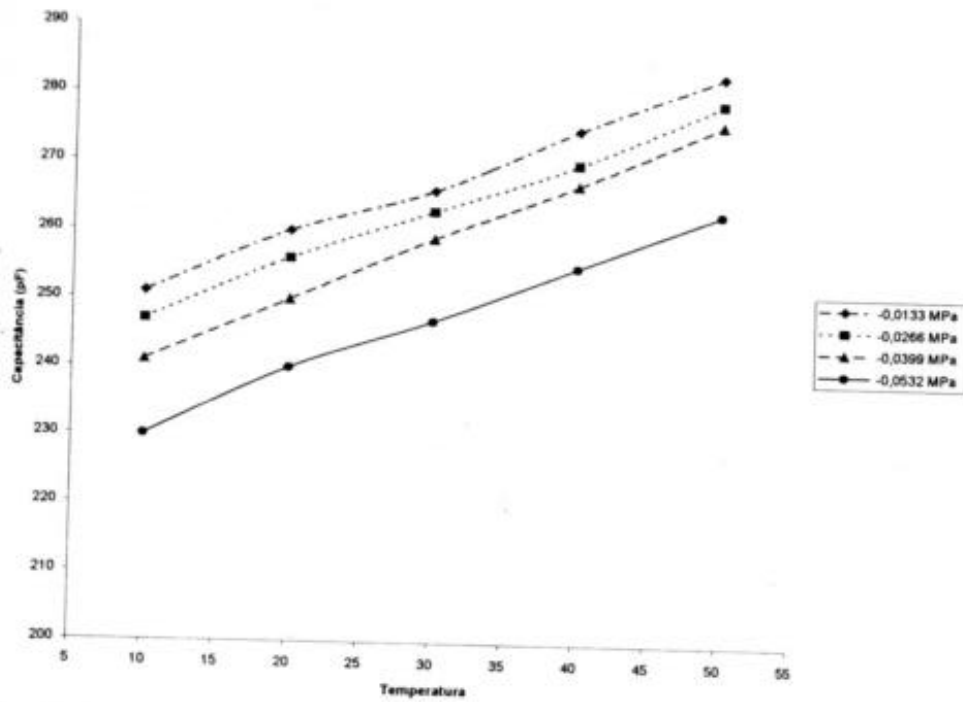


Figura 5 - Variação da capacitância do transdutor em função da temperatura e da pressão negativa.

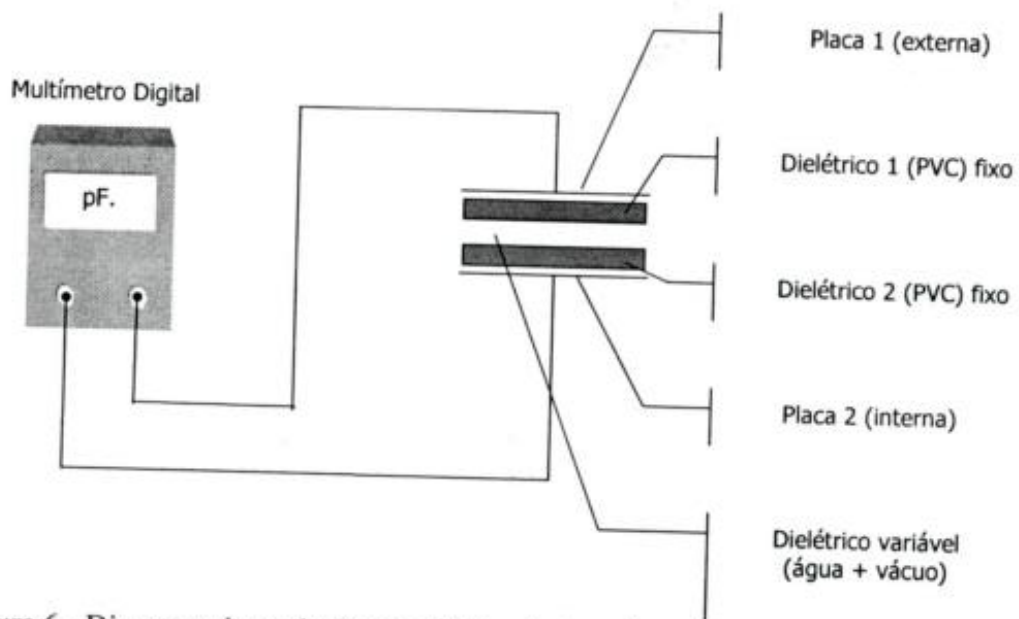


Figura 6 - Diagrama de equivalência elétrica do transdutor capacitivo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLTON, W. Instrumentação e controle.. São Paulo: Hemus, 1985. 197p.
- DALL'AGLIO SOBRINHO, M., RODRIGUES, R.A.P. Utilização do método térmico na determinação da umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1992, Londrina. Trabalhos apresentados... Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p692-708.
- DISTEFANO, J.J., STUBBERUD, A.R., WILLIAMS, I.J. Sistemas de retroação e controle SãoPaulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 480p.
- HILHORST, M.A., DE JONG, J.J. A dielectric tensiometer. *Agricultural water manage*, n.13,p.411-15, 1988.
- NATALE, F. Automação Industrial. São Paulo: Érica, 1995.312p.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao *Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim* pela orientação, ao *Prof. Pedro Fortes* pelo auxílio na montagem prática do experimento e solução de problemas. À *Wesley Vergilio Galiotti de Oliveira* pelos desenhos, fotografias, gráficos e editoração eletrônica e a todos os que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste projeto.