

Caracterização de um sensor para determinação da
água disponível nos solos

Francisco Marconi Cavalcanti de Lima

Dissertação de Mestrado submetida à Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba - Campus II como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento da Informação

José Sérgio da Rocha Neto, DsC
Orientador

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©Francisco Marconi Cavalcanti de Lima, Agosto de 1997

Caracterização de um sensor para determinação da
água disponível nos solos

Francisco Marconi Cavalcanti de Lima

Dissertação de Mestrado apresentada em Agosto de 1997

José Sérgio da Rocha Neto, DsC
Orientador

Raimundo Carlos Silvério Freire, Dr.

Componente da Banca

Pedro Dantas Fernandes, Dr.

Componente da Banca

Gurdip Singh Deep, Ph.d

Componente da Banca

Campina Grande, Paraíba, Brasil, Agosto de 1997



L732c Lima, Francisco Marconi Cavalcanti de
Caracterizacao de um sensor para determinacao da agua
disponivel nos solos / Francisco Marconi Cavalcanti de
Lima. - Campina Grande, 1997.
71 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Eletrica) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

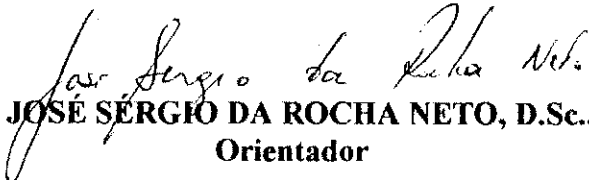
1. Medidores de Agua no Solo - 2. Processamento da
Informacao - 3. Sensores - 4. Solos Irrigados 5. Unidade do
Solo 6. Dissertacao I. Rocha Neto, Jose Sergio da, Dr. II.
Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)

CDU 621.391(043)

**CARACTERIZAÇÃO DE UM SENSOR PARA DETERMINAÇÃO DA ÁGUA
DISPONÍVEL NOS SOLOS**


FRANCISCO MARCONI CAVALCANTI LIMA

Dissertação Aprovada em 24.09.1997


PROF. JOSÉ SÉRGIO DA ROCHA NETO, D.Sc., UFPB
Orientador

PROF. RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE, Dr., UFPB
Componente da Banca


PROF. PEDRO DANTAS FERNANDES, Dr., UFPB
Componente da Banca


PROF. GURDIP SINGH DEEP, Ph.D., UFPB
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB
Setembro - 1997

Dedicatória

Ao Deus soberano do universo, que na sua imensurável grandeza , muitas vezes não o compreendemos por causa da nossa finitude; mas que dá capacidade ao homem de fazer chover sôbre a terra seca, sem que essa chuva venha do céu.

Aos nordestinos deste país, que sofrem com as estiagens sucessivas sem perder a fé; dentre os quais destaco minha querida esposa Maria José, meus amados filhos Erich Celso e Anna Theresa, e meus pais Celso e Alzira.

Agradecimentos

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para que este trabalho chegasse ao final.

Devo destacar a diretoria da Escola Técnica Federal de Alagoas - ETFAL -e todos os meus colegas que labutam naquela instituição de ensino profissionalizante; aos professores e técnicos do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle - LIEC - do Departamento de Engenharia Elétrica , aos técnicos e professores que trabalham no Laboratório de Irrigação e Salinidade - LIS - do Departamento de Engenharia Agrícola, aos que fazem a COPELE, todos da UFPb CAMPUS II; também agradeço aos meus amigos e colegas Magno José, Levi Pedro, Hélcio e Gláucio os quais deram significativa colaboração no desenvolvimento deste trabalho; a CAPES pelo sustento financeiro sem o qual não teria as mínimas condições de desenvolver este trabalho.

Agradeço especialmente ao meu orientador José Sérgio, mais que um orientador; o qual com sua paciência e sabedoria, soube mais que me orientar.

Quando olhei a terra ardendo
Qual fogueira de São João
Eu perguntei a Deus do céu, ai
Porque tamanha judiação

*****Luiz Gonzaga / Humberto Teixeira

O deserto e os lugares secos se alegrarão disto;
e o ermo exultará e florescerá como a rosa.

*****ISAÍAS 35:1

Resumo

Esta dissertação apresenta a caracterização de um sensor para a medição e controle da água absorvida e temperatura nos solos. Este sensor interligado a um sistema adequado será capaz de monitorar e controlar a umidade do solo e a água disponível. Tal sistema será de grande utilidade quando utilizado na prática em solos irrigados, pois além de racionalizar o consumo de água, proporcionará maior produtividade às culturas, diminuirá os custos de operação e energia. Isto é importante especialmente em zonas áridas e semi-áridas, onde a água é um recurso valioso e escasso na prática da agricultura.

O sensor é de baixo custo, confeccionado a partir do gesso, fato que torna sua utilização acessível em projetos nos quais o mesmo venha a ser utilizado.

Abstract

This dissertation presents the characterization of a sensor that permit the measurement and control of the absorbed water and temperature in the soils. This sensor coupled with adequate functional blocks can be capable of monitoring and controlling the soil moisture and the available water. Such a system should be very useful for management of irrigation systems which besides rationalizing the water consumption, improves the crop productivity, reduces operating coasts and energy consumption. This is important for arid and semi-arid regions where water is the most valuable and scarce resource in the agricultural practice.

The proposed sensor involves low cost and is fabricated with plaster of Paris and thus facilitates its utilization in projects with relatively low budget.

Índice

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1	Introdução	1
1.2	Objetivos do Trabalho	2
1.3	Materiais e Métodos	2
1.4	Conteúdo dos Capítulos	3
2	ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO SISTEMA SOLO-PLANTA	4
2.1	Introdução	4
2.2	Potencial de Água no Solo	4
2.3	Água Disponível Para as Plantas	6
2.3.1	Capacidade de Campo - CC	6
2.3.2	Ponto de Murcha (Permanente) - PM(P)	7
2.3.3	Faixa de Disponibilidade de Água para as Plantas	8
2.4	Conclusão	9
3	MEDIÇÃO DA UMIDADE DO SOLO	10
3.1	Introdução	10
3.2	Métodos de Medição do Teor de Umidade do Solo	10
3.2.1	Métodos Termogravimétricos	11
3.2.2	Método das Pesagens	12
3.2.3	Método do Acetileno	12
3.2.4	Método da Bomba de Neutrons	13
3.2.5	Método do Tensiômetro	13
3.2.6	Método da Membrana ou Placa de Pressão	14
3.2.7	Método do Psicrômetro	15
3.2.8	Método dos Blocos de Resistência Elétrica (Blocos de Absorção)	15
3.3	Conclusão	18

4	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO SENSOR	19
4.1	Introdução	19
4.2	Considerações Preliminares	19
4.3	Obtenção de Gesso	20
4.4	Gesso como Bloco de Absorção	20
4.5	Bloco de Absorção	22
4.6	Eletrodos	23
4.7	Sensor de Temperatura	24
4.8	Conclusão	25
5	CARACTERIZAÇÃO DO SENSOR	26
5.1	Introdução	26
5.2	Experimento 1	26
5.3	Experimento 2	35
5.4	Experimento 3	40
5.4.1	Solo Franco-Arenoso	43
5.4.2	Solo Franco	44
5.4.3	Areia	47
5.5	Conclusão	47
6	RELAÇÃO AD x R DO SENSOR	48
6.1	Introdução	48
6.2	Determinação de AD x R	48
6.3	Conclusão	53
7	SISTEMA PARA MEDIÇÃO/CONTROLE DE AD	55
7.1	Introdução	55
7.2	Sistema Proposto	55
7.3	Diagrama de Blocos do Sistema Proposto	56
7.3.1	Ponte Resistiva ac	56
7.3.2	Oscilador Senoidal	57
7.3.3	Condicionador do Sinal de Temperatura	58
7.3.4	Amplificador do Sinal do Sensor	59
7.3.5	Retificador de Precisão	60
7.3.6	Microcontrolador	61
7.3.7	Teclado e Display	61
7.4	Fluxograma do Processo de Medição e Controle de AD	62

7.4.1	Descrição do Fluxograma	62
7.5	Conclusão	64
8	PERSPECTIVAS FUTURAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
8.1	Introdução	65
8.2	Perspectivas Futuras	65
8.3	Considerações Finais	66
8.3.1	Agricultura Irrigada	67
8.3.2	Pesquisas Agronômicas	67
8.3.3	Hidrologia	68
8.4	Conclusão	68

Lista de Tabelas

4.1	Areia de Plainfield	21
4.2	Barro siltoso de Miami	21
5.1	Dados relacionando Resistência elétrica do sensor x Temperatura com U=100 %	28
5.2	Dados relacionando Resistência elétrica do sensor x Temperatura com U=73 %	29
5.3	Dados relacionando Resistência elétrica do sensor x Temperatura com U=55 %	30
5.4	Dados relacionando Resistência elétrica do sensor x Temperatura com U=37 %	31
5.5	Valores normalizados da resistência elétrica do sensor com relação a temperatura	32
5.6	Valores de R para temperaturas abaixo de 25 graus centígrados e respectivos valores normalizados	34
5.7	Dados relacionando a resistência elétrica do sensor e sua umidade absorvida para uma temperatura de 25 graus centígrados	38
5.8	Dados relacionando a resistência elétrica do sensor e sua umidade absorvida para uma temperatura de 30 graus centígrados	39
5.9	Dados relacionando a resistência elétrica do sensor e sua umidade absorvida para uma temperatura de 35 graus centígrados	40
5.10	Dados relacionando R e U para T=25 graus centígrados	42
5.11	Valores percentuais da umidade determinados na CC e PMP para os solos franco, franco-arenoso e arenoso	43
5.12	Dados relacionando a pressão aplicada a uma amostra de solo franco-arenoso com a resistência elétrica do sensor e a umidade do solo	44
6.1	Tabela mostrando a resistência medida nos experimentos (R) ,a resistência estimada através da equação polinomial (Rest) e o erro(R-Rest)	50

6.2	Tabela mostrando toda faixa de umidade absorvida pelo sensor e suas resistências correspondentes	51
6.3	Dados relacionando a água disponível no solo com a umidade absorvida pelo sensor	52
6.4	Dados relacionando os percentuais de água disponível no solo com a resistência (R) do sensor	53

Lista de Figuras

2.1	A condição da água no solo em termos do potencial matricial	5
2.2	Volumes de sólidos, água e ar sob diversos níveis de umidade numa amostra de barro síltico	8
2.3	CrITÉRIOS clássicos de disponibilidade de água para as plantas	9
3.1	Esquema do tensiômetro	14
3.2	Esquema da placa de pressão	15
4.1	Bloco de gesso com dois fios para os eletrodos e três para o sensor de temperatura	22
4.2	Corte do bloco de absorção de gesso onde se vê os eletrodos externo e interno	24
5.1	Curva da temperatura versus resistência elétrica (T x R) para U=100 %	29
5.2	Curva da temperatura versus resistência elétrica (T x R) para U=73 %	30
5.3	Curva da temperatura versus resistência elétrica (T x R) para U=55 %	31
5.4	Curva da temperatura versus resistência elétrica (T x R) para U=37 %	33
5.5	Curvas da resistência elétrica do sensor versus temperatura obtidas no experimento 1	33
5.6	Representação esquemática do fenômeno da histerese	36
5.7	Histerese da curva de retenção da água do solo	37
5.8	Curva característica idealizada para secamento e umedecimento de uma placa cerâmica com capilaridade uniforme onde os poros têm raios iguais.	38
5.9	Curva umidade versus resistência elétrica (U x R) com T=25 graus centígrados	39
5.10	Curva umidade versus resistência elétrica (U x R) com T=30 graus centígrados	41
5.11	Curva umidade versus resistência elétrica (U x R) com T=35 graus centígrados	41

5.12	Curvas da umidade versus resistência elétrica (U x R) obtidas no experimento 2	42
5.13	Curva umidade versus resistência elétrica (U x R) com valores de R normalizados para T=25 graus centígrados	45
5.14	Curva da pressão aplicada a amostras de solo franco-arenoso versus resistência elétrica do sensor (P x R)	45
5.15	Curva da pressão aplicada a amostras de solo franco-arenoso versus umidade do solo (P x U)	46
5.16	Curva da umidade de amostras de solo franco-arenoso versus resistência elétrica do sensor (U x R)	46
6.1	Curvas umidade absorvida pelo sensor versus resistência elétrica (U x R), umidade versus resistência estimada (U x Rest) e o erro (R- Rest) .	49
6.2	Curva U x R para toda faixa de umidade	51
6.3	Curva água disponível nos solos versus resistência elétrica do sensor (AD x R)	54
7.1	Diagrama de blocos de um possível sistema a ser implementado	56
7.2	Ponte resistiva ac onde um dos elementos é a resistência do sensor . . .	57
7.3	Esquema do oscilador senoidal	58
7.4	Esquema do condicionador do sinal do sensor de temperatura	59
7.5	Esquema do amplificador do sinal do sensor	60
7.6	Esquema do retificador de precisão	63
7.7	Fluxograma do processo de medição e controle da água disponível e medição da temperatura do solo	63

Capítulo 1

INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Introdução

A prática da irrigação tem se difundido mundialmente como alternativa para o aumento da produção agrícola e conseqüentemente maior rentabilidade para os agricultores e uma maior oferta de gêneros alimentícios.

Esta prática tem sido alvo de estudos e pesquisas aprofundadas. Cursos têm sido ministrados, congressos efetuados, seminários realizados, através de empresas de pesquisa, extensão e desenvolvimento, tais como: EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco, EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural, etc. Cursos de graduação e pós-graduação têm sido ministrados nas escolas superiores de agricultura e engenharia agrícola assim como em outras instituições correlatas, todas no afã de se formar profissionais capacitados e desenvolver novas tecnologias e equipamentos. O desenvolvimento de novas tecnologias e equipamentos nesta área tão importante é de relevante significado para todos os povos.

Os recursos hídricos e a qualidade dos solos são de fundamental importância em um projeto de irrigação. Se há disponibilidade de água para suprir a frequência de irrigação e o solo tem qualidade adequada para o cultivo, já tem-se um grande passo para o sucesso do referido projeto.

Levando-se em conta que um projeto de irrigação tenha sido bem elaborado, um complemento necessário é manter a umidade ideal no solo, para o perfeito desenvolvimento da cultura durante todo o seu ciclo.

No nordeste brasileiro, a grande maioria dos projetos de irrigação, não têm controle sobre a umidade do solo. Segundo Resende e Santana(1988) [17] há casos em que a frequência de irrigação é demasiada, chegando-se à saturação do solo, fato que acarreta

prejuízos para as plantas por falta de oxigenação. Por outro lado, a baixa frequência, leva as plantas a terem o seu desenvolvimento prejudicado, às vezes, irreversivelmente.

O ideal é que cada cultura submetida à irrigação, tenha a água disponível no solo para o seu desenvolvimento, controlada de maneira tal, que uma maior produtividade seja conseguida. É também deveras importante que este controle seja realizado aliado a um sistema de monitoramento da porcentagem da água disponível para as plantas, no solo. Deste modo seria possível obter as informações acerca da porcentagem de água disponível no solo e poder-se-ia controlar esta água disponível em porcentagens que satisfizesse as necessidades das plantas e de operação dos perímetros irrigados.

1.2 Objetivos do Trabalho

O projeto consiste no desenvolvimento e caracterização de um sensor que permite a medição e controle da água absorvida pelo solo e também da temperatura do ambiente onde o sensor for inserido. Este sensor poderá vir a ser utilizado com um instrumento que realize medições da água disponível no solo *in situ*, além da possibilidade de se controlar esta água disponível em níveis desejados.

1.3 Materiais e Métodos

O sensor consiste de um par de eletrodos concêntricos, os quais são recobertos por gesso. A resistência elétrica entre os eletrodos varia com a variação da umidade do solo onde o mesmo ficará enterrado. Quanto maior a umidade menor será a resistência e vice-versa. No sensor foi incorporado um sensor de temperatura para corrigir a variação de resistência elétrica entre os eletrodos, pois a mesma varia com a variação de temperatura no solo e isto acarreta erros consideráveis.

Foi determinada a variação da resistência elétrica do sensor face a variação da temperatura na faixa de $0^{\circ}C$ a $50^{\circ}C$ mantendo-se a umidade absorvida constante, em quatro experimentos distintos, com umidades de 100%, 73%, 55% e 37%.

Determinou-se a curva da umidade absorvida versus resistência elétrica, mantendo-se a temperatura constante em três experimentos distintos, onde foram utilizadas temperaturas de $25^{\circ}C$, $30^{\circ}C$ e $35^{\circ}C$.

Também determinou-se em laboratório, os valores da resistência elétrica do sensor correspondentes aos pontos de máxima e mínima água disponível, utilizando-se dois tipos de solos distintos.

1.4 Conteúdo dos Capítulos

Neste primeiro capítulo tem-se a introdução e apresentação do trabalho, onde é enfocada a meta principal do projeto que é o desenvolvimento e caracterização de um sensor que permite a medição e controle da água absorvida e da temperatura do local onde o mesmo venha a ser inserido com possível aplicação para determinação da umidade e/ou água disponível para as plantas no solo.

No capítulo dois encontram-se os conceitos básicos de potencial de água no solo, água disponível (AD), capacidade de campo (CC), ponto de murcha PM(P).

No capítulo três são apresentados vários métodos de medição da umidade do solo e faz-se a análise das vantagens e desvantagens de cada um destes métodos no sentido de sua utilização no campo onde os mesmos possam ser utilizados em um sistema de irrigação controlada.

No capítulo quatro apresenta-se o sensor; são feitas considerações sobre o gesso, sua formulação química e obtenção; vantagens do gesso quando utilizado como bloco de absorção, e, descreve-se as características físicas do sensor (bloco de absorção, eletrodos e sensor de temperatura).

A caracterização do sensor é apresentada no capítulo cinco, através de experimentos realizados em laboratório. Determinação da curva **temperatura versus resistência elétrica do sensor**; determinação da curva **umidade absorvida pelo sensor versus resistência elétrica** e dos valores da resistência nos pontos de máxima e mínima de água disponível.

A determinação da equação para a curva **umidade absorvida pelo sensor versus resistência do sensor** é apresentada no capítulo seis; bem como a determinação da relação **água disponível no solo versus resistência elétrica do sensor**, e os valores da resistência elétrica a serem utilizados em uma possível implementação de um sistema de medição e controle da água disponível no solo.

No capítulo sete sugere-se a implementação do sistema referido anteriormente com o diagrama de blocos, circuitos e fluxograma.

Finalizando-se, as perspectivas futuras e as conclusões finais desta dissertação são apresentadas no capítulo oito. No final deste trabalho encontram-se as referências bibliográficas.

Capítulo 2

ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO SISTEMA SOLO-PLANTA

2.1 Introdução

Apresentam-se neste capítulo os conceitos de potencial de água no solo, água disponível para as plantas, capacidade de campo e ponto de murcha. Estes conceitos são de fundamental importância para o entendimento do trabalho desenvolvido.

2.2 Potencial de Água no Solo

Segundo Klar(1984) [1] o conceito de potencial de água do solo foi primeiramente usado por Buckingham em 1907 [5] e depois Gardner et al em 1920 [29], depois Schofield [24] em 1935 introduziu o conceito de energia livre para definir o estado da água no solo. Ainda segundo Klar, Edfelsen e Anderson em 1943 [20] desenvolveram ainda mais os estudos relacionados com esta matéria, e até os dias de hoje tem sido objeto de muitas pesquisas.

O movimento de água nas diferentes partes do sistema solo-planta-atmosfera é muito lento, sua energia cinética, que é proporcional ao quadrado da velocidade, pode-se considerar via de regra desprezível. Por outro lado, a energia potencial, que é uma função da posição e condição interna da água no ponto em consideração, é de vital importância na caracterização do seu estado de energia.

Este estado de energia da água pode ser descrito de uma forma geral como:

$$\Psi = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_g + \Psi_p \quad (2.1)$$

na qual, Ψ_m é o potencial matricial que é uma função do teor de umidade do solo, Ψ_o

é o potencial osmótico ou do soluto, o que resulta da interação da água com os campos de força emanados de substâncias dissolvidas, Ψ_g é o potencial gravitacional, e, Ψ_p é o potencial de pressão devido à pressão externa.

Na realidade o potencial matricial é o mais importante no que se refere a medição de umidade, já que o mesmo relaciona-se diretamente com a umidade existente no solo. O potencial matricial, que tem valores negativos, é conhecido como sucção matricial, sucção da água e também tensão de umidade do solo.

Em solos saturados, Ψ_m é desprezível; já a partir da capacidade de campo-CC até o ponto de murcha (permanente)-PM(P) os valores de Ψ_m são bem definidos. Dependendo do solo a CC corresponde a teores de umidade que variam de $-0,5 \text{ atm}$ a $-0,1 \text{ atm}$. Já para o PM(P) o valor gira em torno de -15 atm . Desta forma foi desenvolvido o método mais tradicional de medição de umidade *in situ*; o método do tensiômetro, o qual será abordado no próximo capítulo, juntamente com outros métodos de determinação de umidade do solo.

Na Figura 2.1 apresenta-se a condição da água no solo referente ao potencial matricial, onde temos a faixa correspondente a saturação (0 atm a $-0,33 \text{ atm}$), água disponível ($-0,33 \text{ atm}$ a -15 atm) e água higroscópica (tensões menores que -15 atm).

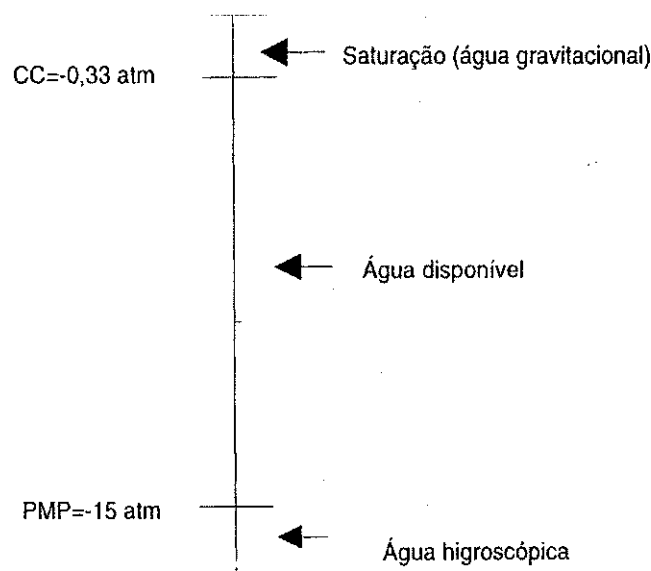


Figura 2.1: A condição da água no solo em termos do potencial matricial

2.3 Água Disponível Para as Plantas

De acordo com Reichardt(1985) [14] as plantas de modo geral, absorvem centenas de gramas de água para cada grama de matéria seca produzida. A planta tem suas raízes mergulhadas no reservatório de água do solo e suas folhas sujeitas à radiação solar e ao vento, obrigando-a a transpirar incessantemente. Para crescer adequadamente, ela precisa possuir uma reserva de água tal que o consumo feito sobre ela pela atmosfera, seja balanceado pelo seu abastecimento por parte do solo. Deste modo, para a planta crescer adequadamente, ela deve ser abastecida pelo solo.

A demanda de água por evaporação devido à atmosfera é praticamente constante, ao passo que os processos que adicionam água ao solo, como chuva, ocorrem apenas ocasionalmente e com irregularidade. Desta forma, é de suma importância que dotações de água para o solo sejam realizadas, de modo que as plantas tenham sempre no solo, uma reserva de água capaz de suprir suas necessidades.

Nem toda água que se encontra no solo, é água disponível para a planta, como exemplo cita-se um solo saturado, onde as plantas sujeitas à saturação sofrem com a falta de oxigenação. De forma que, os sistemas de irrigação devem funcionar preferencialmente fornecendo dotações hídricas no limite superior da faixa denominada água disponível (AD).

A faixa de água disponível para as plantas está inserida entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha (permanente) PM(P). Os conceitos de capacidade de campo e ponto de murcha (permanente) são discutidos a seguir.

2.3.1 Capacidade de Campo - CC

De acordo com Reichardt(1985) [14], desde cedo observou-se que o fluxo e a velocidade das variações de umidade do solo decrescem com o tempo após o processo de infiltração. Verificou-se que o fluxo torna-se desprezível ou mesmo cessa, depois de alguns dias. A umidade do solo na qual a drenagem interna praticamente cessa, denominada capacidade de campo, foi por longo tempo assumida universalmente como propriedade física do solo, característica e constante do solo.

Ainda segundo Reichardt(1988) [15] em 1931 e 1949, Veihmeyer e Hendrickson [6] definiram a capacidade de campo como a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem de seu excesso, quando a velocidade do movimento descendente praticamente cessa, o que usualmente ocorre dois ou três dias após a chuva ou irrigação em solos permeáveis, de estrutura e textura uniformes.

Segundo Klar(1984) [1], o teor de umidade do solo da capacidade de campo ocorre

depois de uma chuva ou irrigação intensa ter cessado e a força ou potencial gravitacional ter deixado de predominar sobre a água do solo, o que faz com que o movimento da água decresça substancialmente no sentido vertical descendente.

Já Buckman e Brady(1976) [10] afirmam que quando se corta o suprimento de água da superfície do solo, isto é, quando não há chuvas ou faz-se cessar a água de irrigação, haverá um movimento descendente continuado, relativamente rápido de certa quantidade de água. Decorrido um dia ou pouco mais, cessará quase completamente este rápido movimento descendente. Diz-se então que o solo se encontra na sua capacidade de campo. Um exame do solo nesta situação mostrará que a água se retirou dos poros maiores, também denominados macroporos e que seu lugar foi preenchido por ar. Os microporos ainda se encontram cheios de água e desta fonte os vegetais absorvem a umidade de que se utilizam.

Hanks(1992) [22] diz que a capacidade de campo é definida como o conteúdo de água de um solo após o mesmo ter sido abundantemente molhado na sua superfície e após acontecer uma drenagem através deste solo, a drenagem que se seguir for desprezível.

O fato concreto é que a CC é utilizada agronomicamente como sendo o limite superior da quantidade de água no solo, disponível para o desenvolvimento das plantas, segundo Gomes(1994) [11].

2.3.2 Ponto de Murcha (Permanente) - PM(P)

Reichardt(1985) [14] citando Veihmeyr e Hendrickson(1949), afirma que o ponto de murcha (permanente) é a umidade do solo na qual uma planta não turgida, não restabelece turgidez, mesmo quando colocada em atmosfera saturada por doze horas.

Klar(1984) [1] chama porcentagem de murchamento permanente, e define como o máximo teor de umidade do solo em que as plantas permanecem murchas, não se recuperando da murcha mesmo que o ar do ambiente que as envolve esteja saturado de vapor d'água, a menos que seja adicionada água ao solo.

De acordo com Gomes [11], é o nível mínimo de umidade do solo no qual uma planta não consegue mais extrair água e se murcha de maneira permanente.

Na Figura 2.2 apresenta-se uma ilustração dos volumes de sólidos, água e ar sob diversos níveis de umidade numa amostra de barro siltico segundo Buckman e Brady(1976) [10].

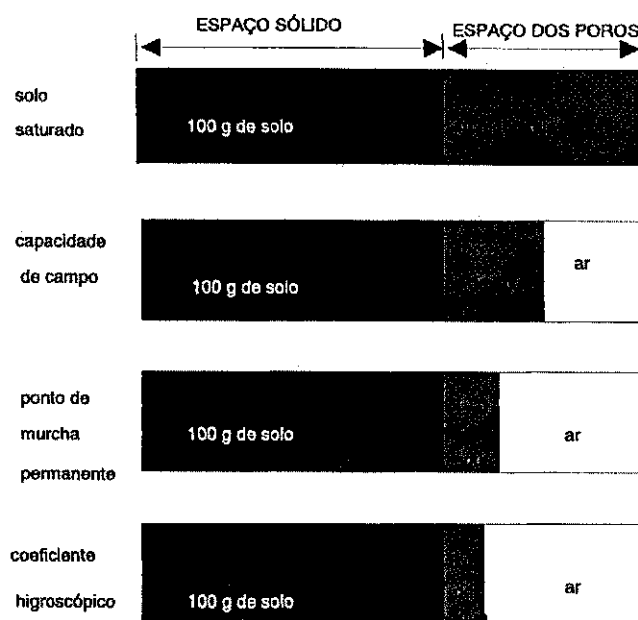


Figura 2.2: Volumes de sólidos, água e ar sob diversos níveis de umidade numa amostra de barro siltico

2.3.3 Faixa de Disponibilidade de Água para as Plantas

Na prática a faixa de água disponível para plantas, situa-se entre a CC e o PM(P). Esta faixa, entretanto, tem trazido controvérsias entre os pesquisadores. Isto deve-se a falta de uma definição física do conceito de disponibilidade de água para as plantas. E isto, não é fácil de ser definido, visto que envolve fatores do solo, da planta e da atmosfera.

Na Figura 2.3, são apresentados três critérios clássicos de disponibilidade de água para as plantas.

1. Durante toda a faixa entre a CC e o PMP a atividade vegetal não se modifica.
2. A atividade vegetal decresce à medida que a umidade no solo decresce.
3. Há dois intervalos distintos, o primeiro denominado água imediatamente disponível e o outro água decrescentemente disponível.

Segundo Reichardt(1985) [14] como "tentativa" para solucionar o difícil problema de conceituar a disponibilidade de água para as plantas, os pesquisadores do assunto correlacionaram o estado da água na planta com o estado da água no solo em termos de seu potencial matricial ($-\frac{1}{3} atm$ para CC e $-15 atm$ para PMP).

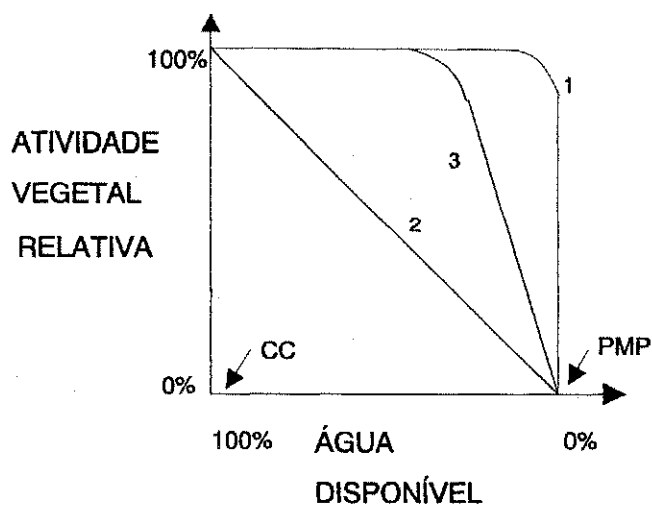


Figura 2.3: Critérios clássicos de disponibilidade de água para as plantas

2.4 Conclusão

Como foi visto neste capítulo, as plantas para se desenvolverem, devem ser supridas com dotações hídricas. Estas dotações devem ser em quantidades suficientes para que o desenvolvimento das plantas seja o ideal, de modo que um melhor crescimento e produtividade sejam alcançados. Isto sugere que são necessários dados acerca da disponibilidade de água no solo ou de forma mais clara, do teor de umidade do solo onde as plantas possam se desenvolver da melhor maneira possível.

No capítulo seguinte apresenta-se métodos utilizados para se determinar a umidade do solo.

Capítulo 3

MEDIÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

3.1 Introdução

A medição da umidade do solo é um dos fatores de grande importância no cultivo de variedades produtivas. Neste capítulo descreve-se sucintamente os métodos mais tradicionais para se realizar esta medição. Esta análise é feita apresentando-se as vantagens e desvantagens de cada um deles com relação a sua utilização no campo, precisão e custo. Basicamente o conteúdo descritivo dos métodos de medição da umidade do solo contidas neste capítulo, exceto o dos blocos de resistência elétrica, foram extraídas dos livros publicados por Reichardt(1985) [14] e Klar(1984) [1]. Apresenta-se neste capítulo, uma breve revisão bibliográfica acerca dos blocos de resistência elétrica, com destaque para os blocos de gesso.

3.2 Métodos de Medição do Teor de Umidade do Solo

Existem dois princípios básicos de se determinar a umidade do solo. No primeiro, quantifica-se a umidade propriamente dita, enquanto que no segundo, correlaciona-se a variação de uma grandeza física (pressão, resistência elétrica, etc) com variação da umidade que se deseja determinar. A seguir são relacionados os métodos de determinação de umidade do solo. Estes métodos, em sua maioria, são utilizados em laboratório, fato que vem a ser uma grande limitação quando se deseja melhorar a operacionalidade dos sistemas de irrigação e mesmo de automatiza-los.

3.2.1 Métodos Termogravimétricos

Estes métodos consistem em medir a umidade através do peso seco e úmido da amostra de solo e também do volume. A amostra seca é conseguida através de secagem em estufa à uma temperatura de 105°C até peso constante.

De acordo com Klar(1984) [1] o teor de umidade do solo é determinado pela equação:

$$a = \frac{m_u - m_s}{m_s} = \frac{m_w}{m_s}, \quad (3.1)$$

na qual m_u , m_s e m_w em (3.1) são, respectivamente, os pesos da amostra úmida, seca e da água. Em termos percentuais tem-se:

$$a\% = \frac{m_w}{m_s} 100. \quad (3.2)$$

representando assim o teor de umidade do solo com base no peso seco. Se o denominador for m_u , tem-se o teor de umidade com base no peso úmido.

O teor de umidade também pode ser expresso com base no volume (θ).

$$\theta = \frac{V_w}{V_t}. \quad (3.3)$$

na qual: V_w é o volume de água da amostra e V_t é o volume total da amostra.

Como

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}, \quad (3.4)$$

em que ρ_w é o peso específico da água e

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_t}, \quad (3.5)$$

na qual ρ_a é o peso específico aparente do solo então temos:

$$V_w = \frac{m_w}{\rho_w}, \quad (3.6)$$

$$V_t = \frac{m_s}{\rho_a}, \quad (3.7)$$

logo:

$$\theta = \frac{\frac{m_w}{\rho_w}}{\frac{m_s}{\rho_a}} = \frac{m_w}{m_s} \times \rho_a = a \times \rho_a. \quad (3.8)$$

O método termogravimétrico, que também é conhecido como gravimétrico padrão, serve como referência para os demais métodos. Este método tem a vantagem de ser

simples, absoluto e de baixo custo, mas por outro lado, tem a desvantagem de ser trabalhoso, demorado e não pode ser realizado no campo, só em laboratório.

Atualmente tem-se utilizado o forno de microondas para diminuir o tempo de secagem; este procedimento foi proposto por Miller(1974) [23].

3.2.2 Método das Pesagens

Ao contrário do método anterior, este baseia-se na saturação da amostra. Desenvolvido por Klar et ali(1966) [2], o método é fundamentado na obtenção de um padrão que servirá de referência. O padrão é obtido da seguinte maneira: em um recipiente (frasco) especial, de preferência que comporte 500 ml, adiciona-se água pela metade e 100 g de solo seco em estufa (105 °C); faz-se a homogeneização água-solo e retira-se o ar através de uma bomba de vácuo, completa-se o volume a 500 ml. Pesa-se o conjunto obtendo-se o peso m . A operação é repetida com a amostra cuja umidade deseja-se conhecer, obtendo-se m_1 . Com o peso específico real do solo ρ_r , é determinado o teor de umidade com base em peso úmido u , com a equação :

$$u = (m - m_1) \frac{\rho_r}{\rho_r - 1}, \quad (3.9)$$

Expressando o resultado com base em peso seco (a), usa-se :

$$a\% = \frac{100 \times u\%}{100 - u\%}. \quad (3.10)$$

As desvantagens relacionadas no método gravimétrico persistem; só é realizado em laboratório, é trabalhoso e demorado.

3.2.3 Método do Acetileno

Segundo Klar(1984) [1] a amostra do solo é colocada em um recipiente hermeticamente fechado juntamente com carbureto de cálcio em excesso; sabe-se que a reação entre a água e o carbureto de cálcio dá origem ao gás acetileno; daí o acetileno produzido resultará em pressão que é diretamente proporcional ao teor de umidade da amostra de solo.

Este é um método barato, simples e rápido, com as desvantagens de não ser preciso e não poder ser realizado no campo pois não seria prático.

3.2.4 Método da Bomba de Neutrons

Os métodos que se baseiam na interação entre o teor de umidade e a radiação de neutrons ou raios gama são atualmente bastante utilizados, especialmente em trabalhos que exigem maior precisão.

Os métodos nucleares para medição do teor de água no solo são de dois tipos: atenuação e dissipação de partículas. O primeiro é baseado no grau com que um fluxo de radiação é atenuado quando passa pelo solo e o segundo, no retorno da radiação já dissipada à vizinhança da própria fonte que a emitiu, em virtude da reemissão pelos constituintes do solo.

O método baseado na atenuação requer que sejam colocados dois tubos no solo, um para a fonte e outro para absorção; enquanto o da dissipação requer só o tubo de acesso segundo Rawlins(1976) [27].

O método da atenuação de neutrons é mais restrito a laboratório, pelo fato de ter um fluxo elevado de partículas; em pequenas amostras tem uma excelente precisão. Já o da dissipação é mais consagrado e de uso comum para condições de campo.

Os métodos que fazem uso de radiações oferecem vantagens, tais como: rapidez nas medições e o que utiliza a dissipação tem a vantagem de poder ser utilizado no campo. As limitações referem-se ao custo do equipamento, erro nos resultados se o solo for rico em outras fontes de hidrogênio que não a água (matéria orgânica, por exemplo) e outros elementos como o cloro, ferro, boro, etc. Deve-se salientar também que o seu uso pode ser perigoso se o equipamento não for adequadamente manuseado.

3.2.5 Método do Tensiômetro

O tensiômetro consiste de uma cápsula de cerâmica, um tubo cheio de água em contato com um manômetro que medirá pressões negativas (vácuo) dentro do tubo como é apresentado na Figura 3.1, ver Klar(1984) [1], Reichardt(1985) [14] e Buckman&Brady(1976) [10].

Quando o tensiômetro é colocado no solo, a água dentro do mesmo entra em contato com a água do solo através dos poros da cápsula porosa e o equilíbrio tende a estabelecer-se.

Antes de se colocar o instrumento em contato com o solo, sua água está à pressão atmosférica. A água do solo que geralmente está à pressões sub-atmosféricas, exerce uma sucção sobre o instrumento e dele se retira certa quantidade de água, causando uma queda na pressão hidrostática dentro do instrumento. Esta queda de pressão é indicada pelo manômetro.

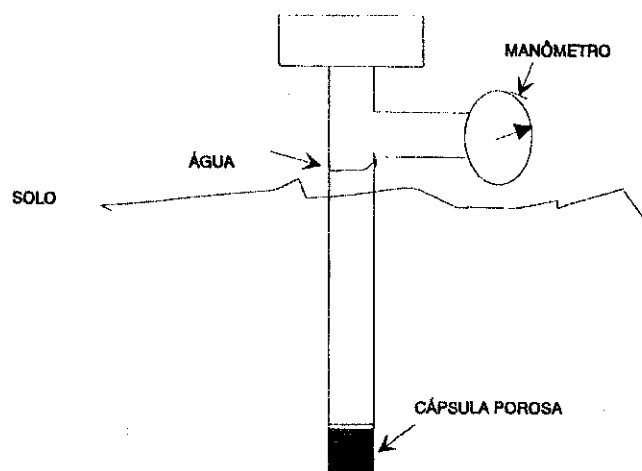


Figura 3.1: Esquema do tensiômetro

Segundo Reichardt(1985) [14], na prática, o intervalo de uso do tensiômetro é de $\Psi_m = 0$ (saturação) e $\Psi_m = -0,8 \text{ atm}$, aproximadamente. Este intervalo de potencial limitado, mensurável pelo tensiômetro, não é tão limitado como parece. Ele é uma pequena parte do intervalo total de potenciais mas, no campo, ele cobre o principal intervalo de umidade do solo de importância em práticas agrícolas.

Dependendo do tipo de solo, a leitura da pressão negativa do tensiômetro não será a mesma para um mesmo teor de umidade. Por exemplo, uma leitura de $-1,0 \text{ atm}$ em um solo argiloso não significa o mesmo teor de umidade para uma leitura de $-1,0 \text{ atm}$ em um solo arenoso. Desta forma, para se controlar a umidade de um determinado solo por intermédio de um tensiômetro, deve-se ter conhecimento prévio das características deste solo.

O tensiômetro tem a vantagem de fazer medições no campo, mas por outro lado as medições com o tensiômetro são demoradas, espera-se pelo menos quinze minutos para se efetuar uma medição razoavelmente regular; o tempo para se efetuar estas medições depende também das características do solo. Uma outra restrição ao uso do tensiômetro, é que o mesmo não fornece medições contínuas, pois se o solo saturar, o ar poderá penetrar no mesmo e as medições serão completamente erradas. Outra desvantagem deste instrumento é que o mesmo precisa ter a sua água sempre repostas.

3.2.6 Método da Membrana ou Placa de Pressão

Este método consta de uma câmara de pressão ligada à atmosfera por meio de uma placa (ou membrana) sobre a qual é colocada a amostra do solo. A parte inferior da placa acha-se sempre sob pressão atmosférica, como podemos observar na Figura 3.2.

O equipamento utilizado neste método foi desenvolvido por Richards [16], mas não

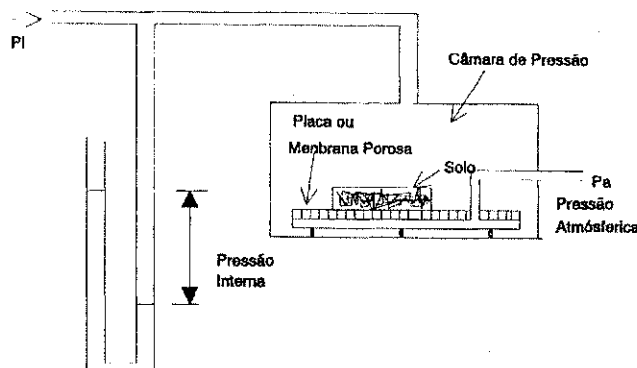


Figura 3.2: Esquema da placa de pressão

é adequado para medições em campo, também realiza leituras bastante demoradas, só sendo utilizado em laboratório, onde o mesmo é muito utilizado para levantamento de curvas de umidade de solo.

3.2.7 Método do Psicrômetro

Pode-se medir o potencial de água do solo através da umidade relativa do ar do mesmo. Uma dificuldade inerente a este método é técnica. Segundo Reichardt(1985) [14] a umidade relativa do ar do solo quando o mesmo está saturado, a $20^{\circ}C$, é 100 % e o seu potencial é de 0 atm, enquanto que no PM(P) a umidade relativa é de 98,88 % a $20^{\circ}C$ e o potencial é de -15 atm, de forma que tem-se um intervalo muito pequeno para se trabalhar as medições.

3.2.8 Método dos Blocos de Resistência Elétrica (Blocos de Absorção)

Este método já tem sido bastante utilizado, com grandes vantagens para a pesquisa e produção agrícola. Neste método as medições são realizadas no campo.

Aos instrumentos que utilizam os blocos de absorção podem ser acoplados registradores, pois os mesmos fornecem as informações relacionadas com a umidade do solo continuamente.

Os blocos de absorção têm uma estrutura de material absorvente (cimento, argila, fibra de vidro, gesso, nylon, etc) com um par de eletrodos inseridos no mesmo.

Quando estes blocos são enterrados no solo, tendem a entrar em equilíbrio (água do solo com água do bloco). Desta forma, a resistência elétrica entre os eletrodos variará de acordo com a umidade do solo. Quanto maior o teor de umidade do solo, menor será a resistência e vice-versa.

Os blocos de absorção mais utilizados na prática são de dois tipos :

- **Blocos de fibra de vidro**

Os blocos de fibra de vidro foram primeiramente desenvolvidos por Coleman e Hendrix(1949) [4]. Um grande problema é que esses blocos são manufaturados com material inerte e, conseqüentemente altamente sensíveis à variações na salinidade do solo e da água, ocasionando variações na resistência entre os eletrodos, falseando os resultados.

Existe atualmente no mercado, instrumentos que utilizam o bloco de absorção de fibra de vidro; o inconveniente é que tabelas para correção dos efeitos da temperatura e salinidade do solo devem ser consultadas.

- **Blocos de gesso**

Bouyoucos e Mick(1940) [7] iniciaram as pesquisas com blocos de absorção utilizando gesso. A resistência entre os eletrodos varia com a variação da umidade do solo. O bloco de absorção de gesso apresenta várias vantagens na sua utilização e por isso foi escolhido para ser parte básica deste trabalho. Uma grande restrição colocada pelos especialistas é que nos instrumentos que utilizam esta técnica normalmente não se leva em consideração a influência da temperatura do solo no valor da resistência elétrica do bloco; como acontece com os blocos de fibra de vidro, tabelas para correções devem ser utilizadas.

Após Bouyoucos e Mick terem realizado suas pesquisas com os blocos de absorção de gesso, empresas fabricantes de instrumentos, lançaram medidores para medição de umidade do solo no mercado, fato que fez com que detalhes técnicos acerca do sensor de umidade utilizando bloco de absorção de gesso fossem tidos como segredos industriais.

Praticamente, toda literatura sobre o sistema solo-planta-atmosfera refere-se ao bloco de resistência elétrica de Bouyoucos, mas, de maneira superficial. Os três trabalhos publicados por Bouyoucos e Mick em 1940, 1946 e 1948 [7] e [8] e [9] apesar de terem sido publicados há muito tempo, são a base para pesquisas sobre este assunto. Este fato foi um incentivo para que este trabalho fosse desenvolvido, isto é, caracterizar um sensor, utilizando os blocos de resistência elétrica (blocos de gesso) de Bouyoucos.

A seguir apresenta-se uma breve revisão bibliográfica acerca dos blocos de resistência elétrica que utilizam principalmente o gesso como bloco de absorção.

Segundo Klar(1984) [2] os blocos de resistência elétrica contêm um par de eletrodos envolvidos por gesso. Podem-se calibrar os blocos com o teor de umidade ou com o potencial matricial do solo, sendo este mais usado, principalmente se a calibração se fizer com amostras alternadas.

A condutibilidade elétrica do solo depende não somente do teor de água, mas

também da textura e concentração de sais solúveis. Os blocos de gesso mantêm uma concentração eletrolítica constante, correspondente a uma solução saturada de sulfato de cálcio que funciona como "buffer", resistindo a pequenas variações na salinidade do solo, tais blocos têm pequena durabilidade no solo, devido ao gesso ser solúvel mesmo quando recoberto por camadas protetoras como resinas de náilon, por exemplo. Por essas e outras razões os blocos oferecem pequena precisão, principalmente a potenciais matriciais superiores a $-1,0 \text{ atm}$. Porém, têm a vantagem de fornecerem medições continuadas *in situ*. O princípio do funcionamento baseia-se na condutibilidade elétrica; quanto mais úmido for o solo, maior a condutibilidade. Faz-se a medição da resistência elétrica com um medidor de corrente alternada, normalmente específico para esta finalidade, dando os resultados diretamente em "porcentagem de água do solo".

Hanks(1992) [22] escrevendo sobre os blocos de absorção, relata que estes dispositivos são feitos de material poroso, tal como gesso ou cerâmica, e que devem ser feitos de material uniforme. Quando colocados no solo, a água se moverá para dentro ou para fora dos blocos dependendo das condições do solo. A água no bloco pode ser determinada por meios indiretos tal como medição da resistência elétrica ou da capacidade de calor, e calibrado em face ao conteúdo da água do solo ou alguma outra propriedade do solo. A vantagem destes blocos é que as leituras podem ser obtidas instantaneamente com sistemas de aquisição de dados, os dados podem ser obtidos a partir de um mesmo local como geralmente é o desejado.

Estes blocos são relativamente baratos. As desvantagens é que cada unidade geralmente tem de ser calibrada separadamente e a calibração as vezes se altera. Os blocos de gesso também se deterioram com o tempo especialmente em solos ácidos.

Buckman e Brady(1976) [10] descrevendo os métodos de medição de umidade do solo, afirmam que quando se colocam blocos de resistência, comumente feitos de gesso natural em contato com o solo, estes blocos absorvem a umidade do solo. A resistência de um determinado bloco a uma corrente elétrica tem relação com a água absorvida.

Pela calibragem das resistências registradas com o teor de umidade, é possível obter, com aproximação razoável a quantidade de umidade do solo. Os blocos de gesso natural são utilizados para medir tanto a tensão quanto a porcentagem de umidade, sendo provavelmente mais sensíveis a tensões de -1 a -15 atm .

Reichardt(1985) [14] relacionando as formas de medição da umidade do solo, relata que uma forma de se determinar a umidade do solo é através de instrumentos cuja resistência elétrica varia com a umidade. A resistência elétrica de um elemento de volume de solo não depende apenas de sua umidade, mas também da sua composição,

textura e concentração de sais na solução do solo. Por outro lado, a resistência elétrica de um corpo poroso colocado no solo e em equilíbrio com ele, pode muitas vezes ser calibrado em função da umidade do solo. Estes instrumentos, chamados de blocos de resistência elétrica, contêm um par de eletrodos dentro de um bloco de gesso ou de náilon ou fibra de vidro.

Quando inseridos no solo, tendem a entrar em equilíbrio e, nestas condições, o potencial da água do solo é igual ao potencial da solução (de $CaSO_4$ no caso do gesso) dentro do bloco. A cada condição de equilíbrio, à qual corresponde um valor de Ψ_m ou um de θ do solo, corresponde também um valor de R (resistência elétrica entre os eletrodos). Pode-se então para um dado solo, correlacionar R com θ ou Ψ_m . A curva de calibragem pode assim ser estabelecida.

Os principais problemas dos blocos de resistência elétrica segundo Reichardt(1985) [14], são: a-) são afetados pela histerese; b-) contato entre bloco e solo; c-)variação das propriedades hidráulicas do bloco com o tempo; d-) blocos feitos de material inerte como fibra de vidro, são altamente sensíveis a pequenas variações de concentração salina da solução do solo (para os blocos de gesso, isto não acontece, pois a solução dentro do bloco tem concentração constante e praticamente igual à de uma solução saturada de sulfato de cálcio); e-) blocos de gesso deterioram com o tempo devido a sua solubilidade.

Devido a estes fatores, a determinação de θ com blocos tem limitações. Desde que todos cuidados sejam tomados, são instrumentos que podem perfeitamente ser utilizados. Seu intervalo de trabalho atinge potenciais abaixo de $-0,8 atm$, nos quais os tensiômetros deixam de funcionar. Sua principal vantagem é o fato de poderem ser conectados a registradores, possibilitando leituras contínuas no campo.

3.3 Conclusão

Dos vários métodos de determinação da umidade do solo descritos neste capítulo, um dos que apresenta menor custo aliado a possibilidade de efetuar medições no campo e monitorar estas medições, é o método dos blocos de resistência elétrica especialmente os blocos de gesso. Os outros métodos ou não são precisos ou não podem ser utilizados em condições de campo, e outros são extremamente dispendiosos. No próximo capítulo apresentam-se mais detalhes acerca do gesso e sua utilização como bloco de absorção aplicado a um sensor de umidade do solo.

Capítulo 4

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO SENSOR

4.1 Introdução

Neste capítulo apresentam-se as informações básicas acerca do sensor, pois o passo inicial para o desenvolvimento de um sistema de medição e controle da umidade absorvida e temperatura com possível utilização na determinação da umidade e/ou água disponível no solo, é a confecção e caracterização do sensor a ser utilizado, que deve ser, a princípio, de baixo custo e tecnicamente viável. Um sensor que utiliza o gesso como bloco de absorção pode perfeitamente ser utilizado pois o mesmo atende estas exigências.

Relacionam-se, também, as vantagens que fazem com que o gesso seja um material importante na confecção de blocos de absorção utilizados como sensores de umidade e da água disponível dos solos.

4.2 Considerações Preliminares

O gesso tem sido utilizado ao longo do tempo, das mais variadas formas. Usa-se o gesso na construção civil, indústria cerâmica, obras de arte, agricultura, etc. Este material de tão larga utilização é de custo bastante reduzido. Atualmente a fabricação de fosfatos solúveis, tem gerado milhões de toneladas de gesso segundo Paolinelli et alli(1986) [19].

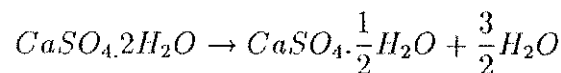
O bom desempenho do gesso quando utilizado como bloco de absorção para determinação da umidade do solo no campo foi um fator importante na escolha do material do sensor a ser confeccionado caracterizado neste trabalho.

O gesso, em seu estado natural, é conhecido quimicamente como sulfato de cálcio

dihidratato cuja fórmula química é $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Ao passo que o gesso no estado como é encontrado no mercado é o sulfato de cálcio hemihidratado, conhecido como gesso de Paris ou de estuque cuja fórmula química é $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$.

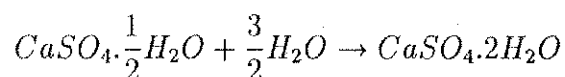
4.3 Obtenção de Gesso

A forma industrial tradicional de se obter o gesso segundo Shreve(1977) [25], é submeter o $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ a calcinação, isto é, decomposição pelo calor; em outras palavras, submete-lo a pirólise.



nesta reação temos uma reação endotérmica.

Já a reação inversa, pois o sulfato de cálcio tem um comportamento quimicamente reversível, é



que é a conversão química de hidratação ou de endurecimento do gesso, onde ocorre uma reação exotérmica.

4.4 Gesso como Bloco de Absorção

Segundo Bouyoucos e Mick(1940) [7] o gesso utilizado como bloco de absorção, e consequentemente, na confecção do sensor de água disponível, tem no seu baixo custo um fator importante, além de apresentar características que fazem do mesmo, um material de excelente desempenho, tais como:

- Propriedade de expandir-se quando submetido ao endurecimento, o que proporciona uma ótima interface com eletrodos inseridos no bloco.
- Capacidade de absorção de água de até 33 % do seu volume, sendo esta água perdida através de secagem ou por pressão de sucção, tal como a que ocorre no solo. Esta propriedade de absorver grandes quantidades de água, tende a tornar a determinação da relação entre a umidade do bloco e a umidade do solo mais precisa.
- Os espaços dos poros são de tamanho adequado para facilitar a capilaridade. São necessários alguns poucos segundos (cerca de 50 segundos) para saturar os

blocos de absorção de gesso. Os fluxos de umidade entre o bloco e o solo, são relativamente rápidos, especialmente para altos níveis de umidade do solo.

- Boa longevidade, tendo uma faixa de vida útil entre 3 a 5 anos de utilização sob condições de solo irrigado.
- Funciona como *buffer* com relação às pequenas variações na salinidade do solo e da água, pois os blocos de gesso mantêm uma concentração eletrolítica constante, correspondendo a uma solução saturada de sulfato de cálcio. Estudos realizados por Bouyoucos e Mick(1940) [7], em laboratório, tratando diversas amostras de solo com o equivalente a 0, 100, 300, 500, e 1000 *pounds* por *acre* (45,4, 136,2, 227 e 454 *kg* por 4048 *m*²) de fertilizante comercial 4 – 16 – 8, mostraram que as mudanças ocorridas na concentração da solução do solo, não tiveram efeito significativo sobre as leituras das resistências dos blocos de absorção. Um *pound* é igual a 0,454 *kg* e um *acre* é igual a 4048 *m*². Nas Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam-se parte deste experimento para dois tipos de solos, areia de Plainfield e barro siltoso de Miami.

kg de 4 – 16 – 8 adicionados	Saturado	Meio úmido	Parcialmente seco
	Ohms	Ohms	Ohms
0	600	5.000	30.500
45,4	590	5.120	30.800
136,2	590	5.050	30.000
227	600	4.950	30.500
454	600	5.050	31.000

Tabela 4.1: Areia de Plainfield

kg de 4 – 16 – 8 adicionados	Saturado	Meio úmido	Parcialmente seco
	Ohms	Ohms	Ohms
0	570	8.000	42.000
45,4	575	7.900	41.500
136,2	570	7.900	42.000
227	570	7.900	42.500
454	565	7.900	42.000

Tabela 4.2: Barro siltoso de Miami

O fertilizante referido acima é o NPK que é composto de nitrogênio, fósforo e potássio, com as proporções referidas.

Com os dados das Tabelas 4.1 e 4.2 confirma-se que com a adição do fertilizante nos solos, a resistência elétrica praticamente não muda.

4.5 Bloco de Absorção

A seguir apresentam-se as características físicas e elétricas do sensor confeccionado e caracterizado neste trabalho. Inicialmente, a idéia de caracterizar um sensor que permitisse a medição e o controle da água absorvida e também da temperatura, encontrou o seu primeiro problema, pois observou-se a dependência da resistência elétrica do sensor com a temperatura do meio onde ele estará inserido. Este fato acarreta medições erradas de sua resistência elétrica para um mesmo nível de água absorvida pelo mesmo. Para auxiliar nas correções necessárias devido a influência da temperatura, um sensor de temperatura foi inserido no bloco de gesso. Segundo Ohlweiler(1981) [21] a resistência elétrica num eletrólito varia com a temperatura, só que, quanto maior a temperatura menor a resistência e vice-versa .

O bloco de absorção de gesso utilizado foi moldado em tubo de pvc com 35 mm de diâmetro e 60 mm de altura; conforme é mostrado na Figura 4.1.

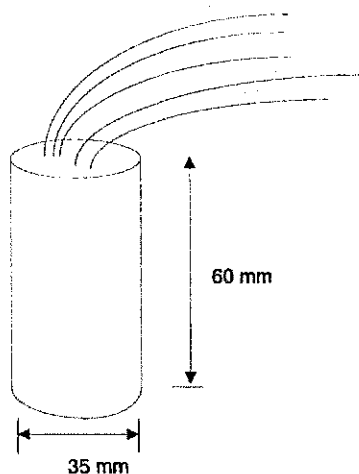


Figura 4.1: Bloco de gesso com dois fios para os eletrodos e três para o sensor de temperatura

O fato do bloco ser confeccionado de forma cilíndrica é para melhorar a área de contato entre o mesmo e o solo. De acordo com as observações realizadas em laboratório, o sensor já confeccionado, com os eletrodos e sensor de temperatura inseridos, apresentou uma capacidade de absorção de água de 26,46 % do total do seu peso seco.

Isto foi constatado através da pesagem do sensor completamente seco (secagem em estufa à 100 °C) e depois pesando-o completamente saturado. A balança utilizada neste processo foi uma balança MARTE, com capacidade máxima para 500 g com resolução de centésimos de grama. A mistura gesso/água utilizada para a confecção do bloco foi de 100 g de gesso para 50 g de água.

4.6 Eletrodos

Os eletrodos são concêntricos feitos de tubos de cobre eletrolítico, totalmente perfurados, de modo a proporcionar um completo fluxo da umidade absorvida através do conjunto.

A razão dos eletrodos serem confeccionados com tubos, e montados coaxialmente é que obtém-se uma maior área de contato entre os mesmos e o material de absorção (gesso). Desta forma, a resistência elétrica entre os eletrodos do sensor em estudo será menor em toda a faixa de água disponível, em relação ao bloco de absorção desenvolvido por Bouyoucos e Mick(1940) [7], o valor da resistência elétrica na capacidade de campo é de 400 a 600 Ω enquanto no ponto de murcha é de 60000 a 75000 Ω . Deste modo obtém-se uma faixa de resistência elétrica facilmente mensurável, pois o princípio físico de funcionamento do sensor é a variação da resistência elétrica entre os eletrodos, de acordo com a variação da umidade no bloco de gesso e conseqüentemente da variação da umidade do solo, pois os mesmos ficam enterrados nos locais onde se deseja medir e controlar a água disponível.

-Descrição Física dos Eletrodos

Eletrodo Externo

$$d_{EE} = 20 \text{ mm (diâmetro do eletrodo externo)}$$

$$r_{EE} = 10 \text{ mm (raio do eletrodo externo)}$$

$$h_{EE} = 40 \text{ mm (altura do eletrodo externo)}$$

$$n_{FEE} = 84 \text{ (número de furos do eletrodo externo)}$$

$$r_{FEE} = 1 \text{ mm (raio de um furo do eletrodo externo)}$$

$$d_{FEE} = 2 \text{ mm (diâmetro de um furo do eletrodo externo)}$$

$$A_{FEE} = \pi(r_{FEE})^2 = 3,14 \text{ mm}^2 \text{ (área de um furo do eletrodo externo)}$$

$$A_{TEE} = 2\pi r_{EE} \cdot h_{EE} - 84 \cdot A_{FEE} = 2250 \text{ mm}^2 \text{ (área total do eletrodo externo)}$$

Eletrodo Interno

$$d_{EI} = 10 \text{ mm (diâmetro do eletrodo interno)}$$

$$r_{EI} = 5 \text{ mm (raio do eletrodo interno)}$$

$$h_{EI} = 40 \text{ mm (altura do eletrodo interno)}$$

$n_{FEI} = 42$ (número de furos do eletrodo interno)

$r_{FEI} = 1\text{ mm}$ (raio de um furo do eletrodo interno)

$d_{FEI} = 2\text{ mm}$ (diâmetro de um furo do eletrodo interno)

$A_{FEI} = \pi(r_{FEI})^2 = 3,14\text{ mm}^2$ (área de um furo do eletrodo interno)

$A_{TEI} = 2\pi \cdot r_{EI} \cdot h_{EI} - 42 \cdot A_{FEI} = 1125\text{ mm}^2$ (área total do eletrodo interno)

Na Figura 4.2 mostra-se um corte do bloco de absorção de gesso, onde se vê os eletrodos tubulares externo e interno.

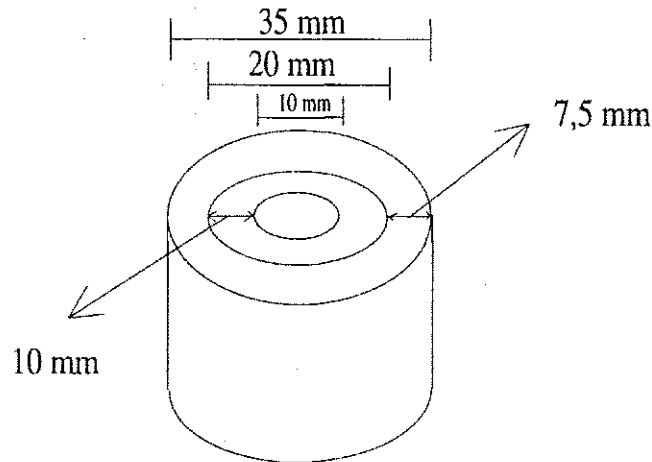


Figura 4.2: Corte do bloco de absorção de gesso onde se vê os eletrodos externo e interno

4.7 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura utilizado para ser um componente do sensor, por motivos já reportados anteriormente, foi o circuito integrado LM35C da NATIONAL. Alguns fatores considerados importantes para esta escolha foram: dimensões reduzidas, linearidade, precisão, larga faixa de tensão de alimentação e larga faixa de medição para a finalidade proposta. Para cada $^{\circ}\text{C}$ o LM35C fornece 10 mV em sua saída; sendo que para 0°C tem-se 0 mV em sua saída, e para 25°C tem-se 250 mV .

Observa-se que este sensor de temperatura que tem como finalidade principal contribuir para que se faça as correções nos valores das resistências elétricas fornecidas pelo sensor (bloco de absorção de gesso); o mesmo pode ser utilizado externamente ao bloco, isto é, enterrado ao lado do sensor, com fiação independente. Este fato o tornaria muito mais barato pois o tempo de vida útil do sensor de temperatura é muito superior ao do bloco de gesso.

4.8 Conclusão

O sensor como apresentado neste capítulo, foi confeccionado, e sua caracterização efetuada no que se refere a relação entre sua resistência elétrica, temperatura e umidade do solo. Os detalhes dos experimentos realizados para que o sensor fosse devidamente caracterizado serão relatados no capítulo seguinte.

Capítulo 5

CARACTERIZAÇÃO DO SENSOR

5.1 Introdução

Os experimentos realizados em laboratório para a caracterização do sensor, são descritos neste capítulo. São apresentados os dados e curvas referentes a **temperatura versus resistência elétrica ($T \times R$)** e **umidade absorvida versus resistência elétrica ($U \times R$)** e os valores de resistência correspondentes ao conteúdo máximo e mínimo de água disponível para as plantas, isto é, na capacidade de campo e no ponto de murcha (permanente). Foram realizados três tipos de experimentos distintos, aos quais foram denominados **experimento 1**, **experimento 2** e **experimento 3**.

5.2 Experimento 1

A finalidade deste experimento foi comprovar o fato de que a resistência elétrica do bloco de gesso varia com a variação da temperatura, isto para um mesmo teor de umidade, e, quantificar esta variação. Também neste experimento foram obtidos valores normalizados da resistência elétrica do bloco em toda faixa de temperatura na qual o mesmo poderá ser utilizado. Com estes valores normalizados pode-se sempre referir-se a uma temperatura padrão, por exemplo $25^{\circ}C$, caso em que se faça uma implementação de um sistema de medição e controle utilizando o sensor interligado a um microcontrolador, por exemplo. Deste modo, sempre que o sensor apresentar um valor de resistência elétrica o valor correto será aquele corrigido de acordo com a temperatura medida. Os fatores de correção encontram-se na Tabela 5.5. Neste experimento foi observado que se a temperatura aumentava a resistência elétrica diminuía

e vice-versa. Na condução eletrônica (metálica), a resistência cresce com o aumento da temperatura; na condução iônica, dá-se o inverso segundo Ohlweiler(1981) [21].

Isto confirmou a necessidade de se ter no próprio sensor, uma forma de dar suporte para correções referentes às flutuações de temperatura, normalmente, existentes nos solos, e, eliminar calibrações e consultas a tabelas e, por outro lado, obter-se a temperatura correta durante o experimento.

O método utilizado neste experimento foi o seguinte:

Foram realizadas medições da resistência elétrica na faixa de temperatura que vai de $0^{\circ}C$ até $50^{\circ}C$, mantendo-se sempre a umidade absorvida pelo sensor constante. As temperaturas na faixa de $25^{\circ}C$ a $50^{\circ}C$ foram obtidas com auxílio de uma estufa, já para a faixa de $0^{\circ}C$ a $25^{\circ}C$ o método é descrito posteriormente neste capítulo. Os níveis de umidade absorvida pelo sensor utilizados neste experimento foram 100%, 73%, 55% e 37%. Para a umidade absorvida de 100% o sensor foi imerso em água destilada, ao passo que para os outros níveis (73, 55 e 37%), o sensor era secado em estufa, e com um *spray* de água destilada o mesmo era umedecido uniformemente, controlando-se o seu peso em uma balança de precisão até se conseguir a porcentagem de umidade absorvida desejada. Após isto, o sensor era acondicionado em um saco plástico e bem envolvido por fita adesiva para garantir a estanqueidade e que umidade não fosse perdida durante o experimento.

Neste experimento foram utilizados os seguintes instrumentos além do sensor já confeccionado:

- Medidor RLC, marca Ando Electrica, mod: AG-430 IB
- Estufa de secagem e esterilização, marca Fanem, mod:315 SE
- Multímetro digital marca: Icel
- Fonte de alimentação estabilizada de 5V.

Dados adicionais :

- Frequência do medidor RLC, $f_P = 1020 Hz$
- Umidade absorvida pelo sensor com relação ao seu peso seco, $U_a = 26,46\%$
- Porcentagem equivalente da umidade absorvida, $U \% = 100\%$
- Peso do sensor seco $P_{SS} = 85,90 g$
- Peso da água retida na saturação, $P_{AS} = 22,73 g$

- Peso total do sensor saturado, $P_{TSS} = 108,63\text{ g}$

Na Tabela 5.1 encontram-se os valores da resistência elétrica do sensor e as temperaturas para as quais estes valores da resistência foram adquiridos. A umidade absorvida pelo sensor era de 100%, isto é, o sensor estava imerso em água destilada. Na Figura 5.1 apresenta-se a curva TxR utilizando-se os dados da Tabela 5.1 para $U\% = 100\%$.

TEMPERATURA °C	RESISTÊNCIA Ω	TEMPERATURA °C	RESISTÊNCIA Ω
25	64,38	38	48,51
26	62,70	39	47,69
27	61,25	40	46,84
28	59,78	41	46,03
29	58,33	42	45,14
30	57,01	43	44,60
31	55,72	44	43,92
32	54,57	45	43,30
33	53,44	46	42,65
34	52,31	47	42,04
35	51,35	48	41,48
36	50,37	49	40,88
37	49,42	50	40,32

Tabela 5.1: Dados relacionando Resistência elétrica do sensor x Temperatura com $U=100\%$

A Tabela 5.2 contém dados referentes à resistência elétrica do sensor e às temperaturas correspondentes para cada valor de resistência, para 73% de umidade absorvida. Na Figura 5.2 apresenta-se a curva TxR levando-se em consideração os dados da Tabela 5.2.

A Tabela 5.3 contém valores da resistência elétrica do sensor com as respectivas temperaturas. Nesta Tabela os valores da resistência foram adquiridos com 55% de umidade absorvida pelo sensor. Na Figura 5.3 mostra-se a curva TxR para os dados da Tabela 5.3.

Finalmente a Tabela 5.4 contém os valores da resistência elétrica do sensor e as temperaturas correspondentes, valores estes, adquiridos com 37% de umidade absorvida pelo sensor. Na Figura 5.4 tem-se a curva TxR onde os dados da Tabela 5.4 foram utilizados.

Na Figura 5.5 apresentam-se todas as curvas do experimento (umidades de 100%,

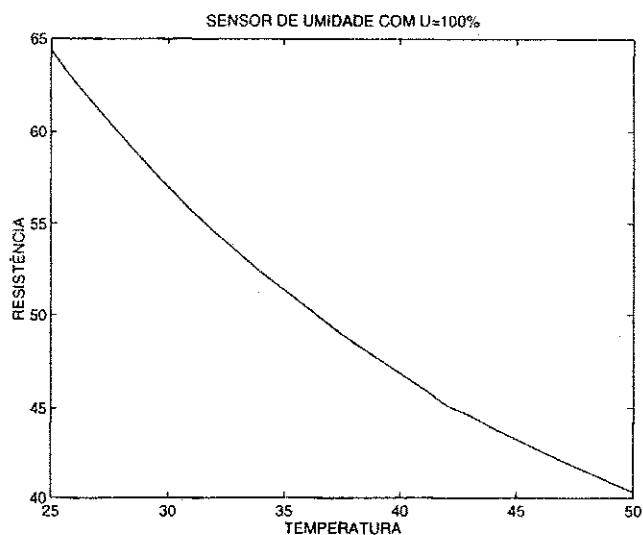


Figura 5.1: Curva da temperatura versus resistência elétrica (T x R) para U=100 %

TEMPERATURA °C	RESISTÊNCIA Ω	TEMPERATURA °C	RESISTÊNCIA Ω
25	88,99	38	67,43
26	86,95	39	66,12
27	84,93	40	64,92
28	83,04	41	63,77
29	81,21	42	62,63
30	79,38	43	61,53
31	77,05	44	60,49
32	75,88	45	59,45
33	74,45	46	58,49
34	72,96	47	57,56
35	71,52	48	56,65
36	70,09	49	55,72
37	68,74	50	54,93

Tabela 5.2: Dados relacionando Resistência elétrica do sensor x Temperatura com U=73 %

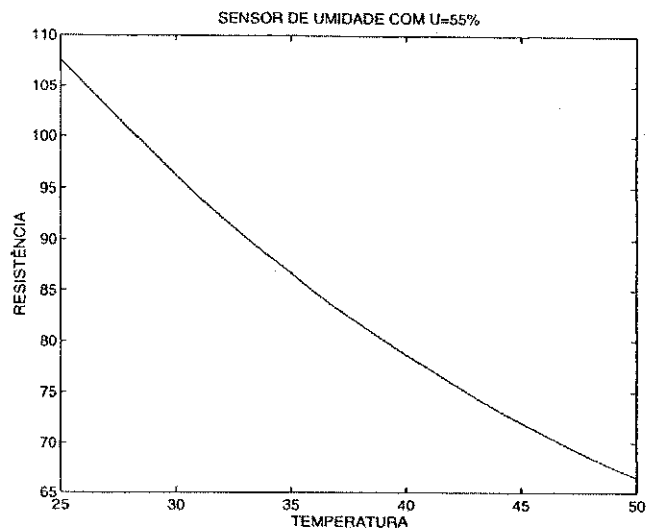


Figura 5.3: Curva da temperatura versus resistência elétrica (T x R) para U=55 %

TEMPERATURA °C	RESISTÊNCIA Ω	TEMPERATURA °C	RESISTÊNCIA Ω
25	161,00	38	122,63
26	157,22	39	120,41
27	153,72	40	118,33
28	150,29	41	116,25
29	147,07	42	114,31
30	143,85	43	112,42
31	140,91	44	110,58
32	137,78	45	108,84
33	135,11	46	107,14
34	132,45	47	105,53
35	129,90	48	103,96
36	127,31	49	102,48
37	124,92	50	101,02

Tabela 5.4: Dados relacionando Resistência elétrica do sensor x Temperatura com U=37 %

T	R1	R2	R3	R4	RM	T	R1	R2	R3	R4	RM
25	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	38	0,753	0,757	0,759	0,761	0,757
26	0,974	0,977	0,977	0,976	0,976	39	0,740	0,743	0,744	0,747	0,743
27	0,951	0,954	0,956	0,954	0,954	40	0,727	0,729	0,731	0,735	0,730
28	0,928	0,933	0,934	0,933	0,932	41	0,715	0,716	0,718	0,722	0,718
29	0,906	0,912	0,914	0,913	0,911	42	0,701	0,703	0,705	0,710	0,705
30	0,885	0,892	0,894	0,893	0,891	43	0,692	0,691	0,692	0,698	0,693
31	0,865	0,865	0,874	0,875	0,870	44	0,682	0,679	0,680	0,686	0,682
32	0,847	0,852	0,856	0,855	0,852	45	0,672	0,668	0,670	0,676	0,671
33	0,830	0,836	0,838	0,839	0,836	46	0,662	0,657	0,658	0,665	0,660
34	0,812	0,820	0,821	0,822	0,819	47	0,653	0,646	0,647	0,655	0,650
35	0,797	0,803	0,805	0,806	0,803	48	0,644	0,636	0,636	0,645	0,640
36	0,782	0,787	0,788	0,790	0,787	49	0,635	0,626	0,626	0,636	0,631
37	0,767	0,772	0,773	0,775	0,772	50	0,626	0,617	0,617	0,627	0,622

Tabela 5.5: Valores normalizados da resistência elétrica do sensor com relação a temperatura

73%, 55% e 37%) em um único gráfico, onde as curvas têm características idênticas, apenas deslocadas pelo efeito da diferença de umidade entre cada uma delas. Observa-se na Figura, que quanto maior o nível de umidade absorvida pelo sensor, menor o valor da resistência elétrica do mesmo.

Nos dados da Tabela 5.5 tem-se as resistências normalizadas e as respectivas temperaturas adquiridas com as umidades absorvidas de 100% ($R1$), 73% ($R2$), 55% ($R3$) e 37% ($R4$); além das médias das resistências normalizadas as quais foram denominadas de R_M . A temperatura T é dada em $^{\circ}C$.

Ainda neste experimento foram realizadas medições com temperaturas de $20^{\circ}C$, $15^{\circ}C$, $10^{\circ}C$, $5^{\circ}C$ e $0^{\circ}C$. Utilizando-se um recipiente com água destilada e uma razoável quantidade de gelo, conseguiu-se a temperatura de $0^{\circ}C$; após isto, a água foi tendo sua temperatura elevada naturalmente, de forma que as medições da resistência elétrica do sensor foram determinadas, o processo foi repetido para os níveis de 100%, 73%, 55% e 37% da umidade absorvida pelo sensor.

O processo para se adquirir os níveis de umidade absorvida foi o mesmo utilizado para as temperaturas de $25^{\circ}C$ a $50^{\circ}C$.

Na Tabela 5.6 apresentam-se os valores da resistência elétrica obtidos para temperaturas abaixo de $25^{\circ}C$, isto é, temperaturas de $20^{\circ}C$, $15^{\circ}C$, $10^{\circ}C$ e $0^{\circ}C$. Também apresentam-se os níveis de umidade absorvida e os valores da resistência elétrica cor-

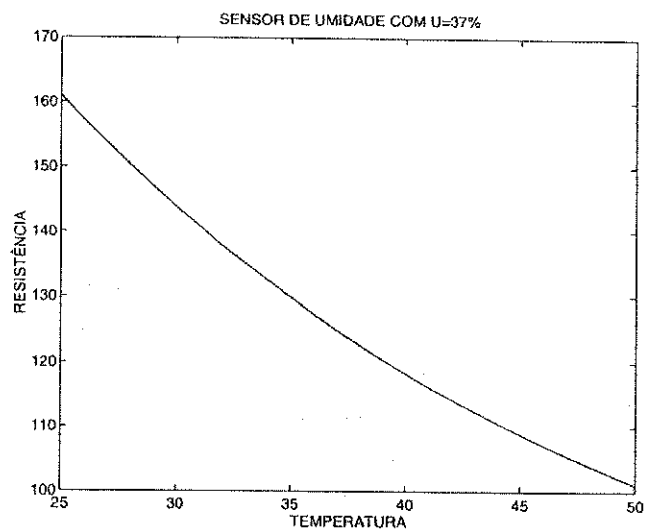


Figura 5.4: Curva da temperatura versus resistência elétrica (T x R) para U=37 %

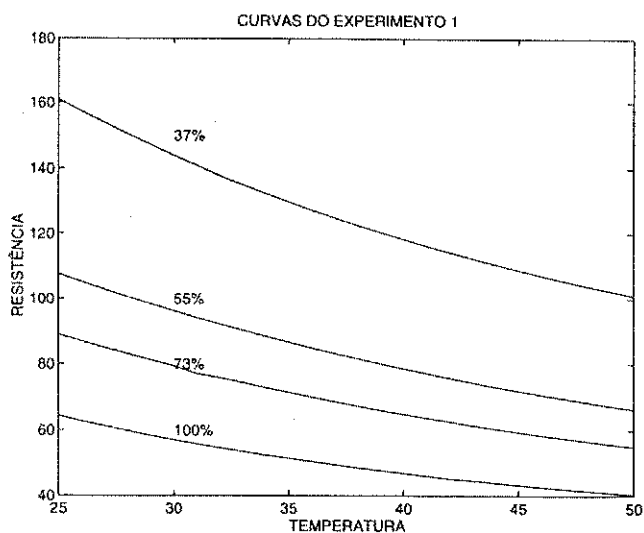


Figura 5.5: Curvas da resistência elétrica do sensor versus temperatura obtidas no experimento 1

U (%)	T (°C)	R (Ω)	R (T = 25°C)	U (%)	T (°C)	R (Ω)	R (T = 25°C)
100	0	103,80	64,56	55	10	147,60	107,74
73	0	143,60	89,32	37	10	221,00	161,33
55	0	173,20	107,73	100	15	80,40	64,48
37	0	259,10	161,16	73	15	111,10	89,10
100	5	96,00	64,51	55	15	134,70	108,02
73	5	132,20	88,83	37	15	200,90	161,12
55	5	160,00	107,52	100	20	72,40	64,50
37	5	240,00	161,28	73	20	100,00	89,10
100	10	88,30	64,45	55	20	121,10	107,90
73	10	122,10	89,13	37	20	180,80	161,09

Tabela 5.6: Valores de R para temperaturas abaixo de 25 graus centígrados e respectivos valores normalizados

rigidos para a temperatura de 25°C utilizando-se os valores de RM encontrados na Tabela 5.5

Observando os resultados da Tabela 5.6 conclui-se que os valores corrigidos da resistência elétrica para a faixa de 25°C a 0°C são praticamente os mesmos para a faixa entre 25°C a 50°C apresentados nas Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4. Por exemplo, a resistência de 103,80 Ω medida a uma temperatura de 0°C com 100% de umidade absorvida pelo sensor, corrigida para a temperatura de 25°C ($103,80 \times 0,622 = 64,56$ Ω) apresenta um valor muito próximo do valor da resistência de 40,32 Ω medida a uma temperatura de 50°C (ver tabela 5.1) também com 100% de umidade absorvida pelo sensor, o valor corrigido é $40,32 \div 0,622 = 64,84$ Ω.

Com os valores de temperatura levados em consideração neste experimento, praticamente toda faixa de temperatura dos solos utilizados para irrigação fica inserida, no sentido de se efetuar as devidas correções referentes à variação da resistência elétrica do sensor de umidade com relação à dependência da temperatura.

Segundo trabalho realizado por Alfonsi et al [26], a temperatura média de 24 horas em um solo da região de Campinas-SP, à uma profundidade de 20 cm, em períodos distintos do ano (Janeiro, Abril, Julho e Outubro), não ultrapassou a temperatura de 30°C, com isto pode-se utilizar o bloco na faixa de 0°C até 50°C com segurança, sem possibilidades de erros na determinação dos valores da resistência elétrica do sensor.

5.3 Experimento 2

Neste experimento foi observado o comportamento da resistência elétrica do sensor com relação à variação da umidade do mesmo, mantendo-se a temperatura constante. Neste experimento foram levadas em consideração temperaturas de 25, 30 e 35°C.

Os instrumentos utilizados neste experimento foram os mesmos utilizados no experimento 1. O método utilizado consistiu em saturar o sensor, mantendo-o à temperatura constante e esperar que o mesmo fosse perdendo umidade (secagem natural). A umidade era determinada através de pesagens.

O fenômeno da histerese na curva de retenção da umidade do sensor, não foi levada em consideração, visto que este fenômeno tem influência significativa na curva de retenção da umidade do solo, mas como pode-se observar na Figura 5.6 do livro de Klar(1984) [1] e na Figura 5.7 do livro de Reichardt(1985) [14], os valores do potencial matricial é que são diferentes para as curvas de molhamento e secamento, mas o teor de umidade do solo permanece o mesmo. Como a característica de funcionamento do sensor que utiliza o bloco de absorção de gesso é a troca de umidade entre sensor/solo e solo/sensor o efeito da histerese não terá efeito significativo.

Segundo Reichardt(1985) [14] a relação entre o potencial matricial Ψ_m e a umidade do solo θ não é geralmente unívoca. Esta relação pode ser obtida de duas maneiras distintas: a-) por "secamento", tomando-se uma amostra de solo inicialmente saturada de água e aplicando-se gradualmente tensões maiores, fazendo medidas sucessivas de tensão (Ψ_m em energia por volume) em função de θ ; b-) por "molhamento, tomando-se uma amostra de solo inicialmente seca ao ar e permitindo-se o seu molhamento gradual por redução de tensão. Cada método fornece uma curva contínua, mas as duas, em geral, serão diferentes. O fenômeno é denominado de **histerese**. A umidade do solo θ na condição de equilíbrio, a uma dada tensão, é maior na curva de "secamento" do que na curva de "molhamento", como é apresentado na Figura 5.7. Como se pode verificar, θ_s é o mesmo pois, sendo o mesmo solo quando saturado, deve ter sempre o mesmo teor de umidade. Se uma curva de retenção é obtida por molhamento a partir de um solo seco e, por exemplo, para o valor de Ψ_m em A, indicado pelo ponto A na Figura 5.7, o solo é novamente seco aumentando-se a tensão, obtém-se outra curva, representada por AB na Figura 5.7. Estas curvas intermediárias são denominadas "scanning curves" e as duas curvas completas são designadas como ramos principais da histerese.

Ainda segundo Reichardt(1985) estudos básicos de histerese da água do solo foram realizados extensivamente por vários pesquisadores. Segundo estes estudos, a histerese é atribuída à não-uniformidade dos poros individuais com relação a fenômenos capilares,

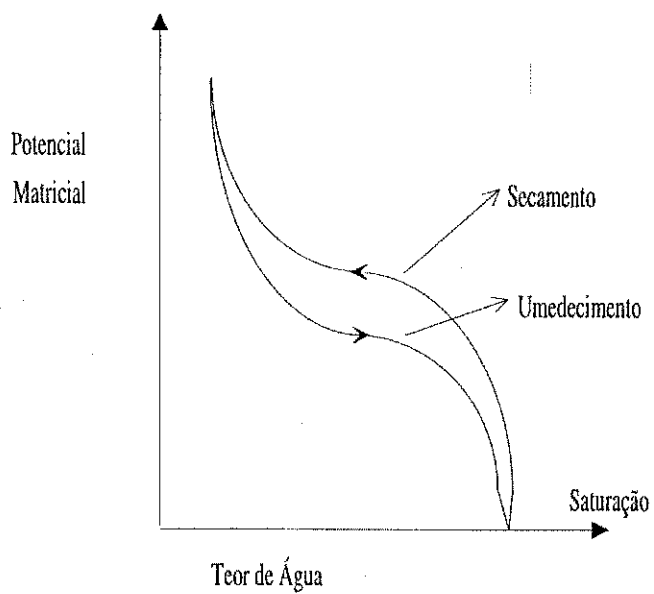


Figura 5.6: Representação esquemática do fenômeno da histerese

bolhas de ar que permanecem fixas dentro dos macroporos e contração e expansão de argilas durante secamento e molhamento.

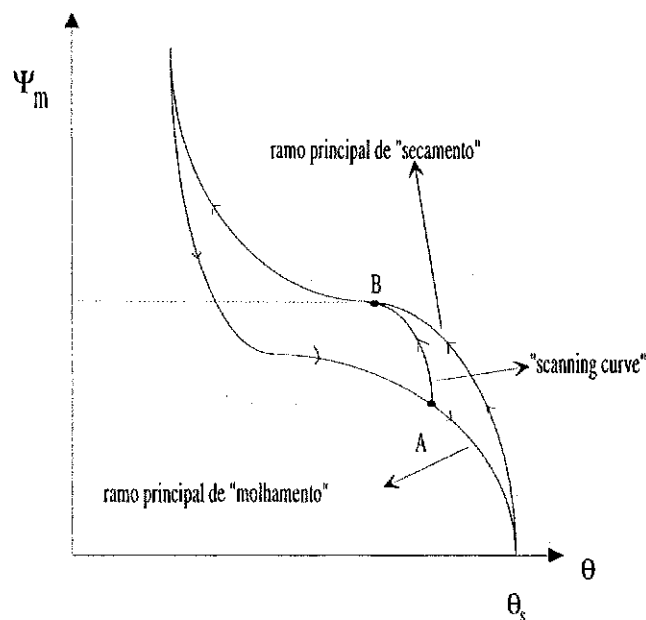


Figura 5.7: Histerese da curva de retenção da água do solo

Segundo Hanks(1992) [22], se todos os poros do solo têm o mesmo raio, a curva de molhamento e secamento será como a mostrada na Figura 5.8.

O bloco de absorção de gesso utilizado como sensor de umidade, tem suas características bem definidas desde sua confecção, inclusive os seus poros, de forma que se pode aplicar a curva idealizada mostrada na Figura 5.8.

No primeiro ciclo de medições realizado os dados da Tabela 5.7 foram obtidos a uma temperatura de $25^{\circ}C$ enquanto na Figura 5.9 apresenta-se a curva UxR onde os dados da tabela 5.7 foram utilizados.

Os dados da Tabela 5.8 e a curva da Figura 5.10 referem-se a uma temperatura $T = 30^{\circ}C$.

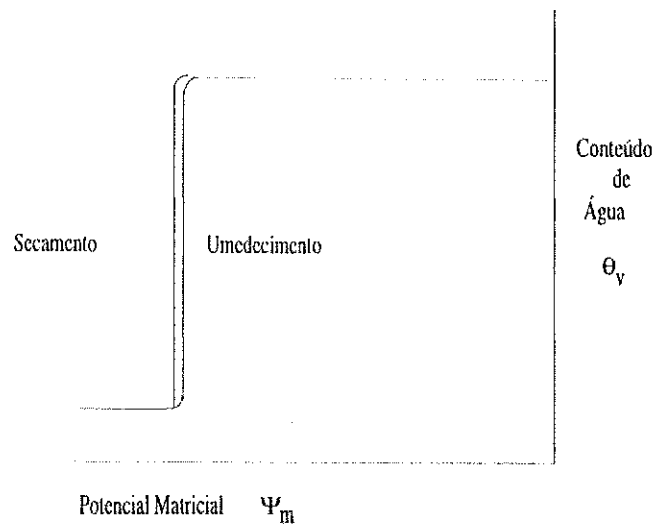


Figura 5.8: Curva característica idealizada para secamento e umedecimento de uma placa cerâmica com capilaridade uniforme onde os poros têm raios iguais.

UMIDADE %	RESISTÊNCIA Ω	UMIDADE %	RESISTÊNCIA Ω
100,00	66,76	38,76	181,44
91,51	75,58	34,00	202,00
87,90	81,68	29,96	237,40
81,03	89,88	27,40	265,40
75,80	101,52	23,49	322,20
70,39	109,40	18,69	409,20
51,95	139,35	15,00	507,00
49,05	145,90	11,00	650,00
45,58	157,48	8,00	850,00
43,68	159,68	0,50	1698,00

Tabela 5.7: Dados relacionando a resistência elétrica do sensor e sua umidade absorvida para uma temperatura de 25 graus centígrados

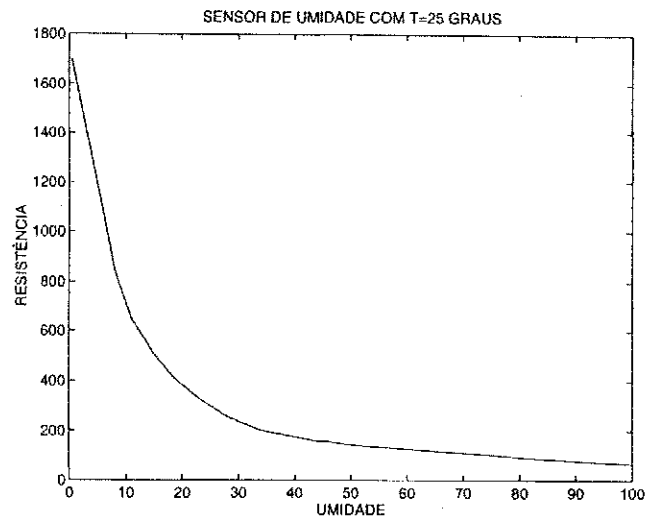


Figura 5.9: Curva umidade versus resistência elétrica (U x R) com T=25 graus centígrados

UMIDADE %	RESISTÊNCIA Ω	UMIDADE %	RESISTÊNCIA Ω
100,00	57,32	23,44	288,80
84,00	75,06	20,00	356,40
81,74	78,68	16,41	410,00
76,37	88,70	14,00	481,14
66,25	100,25	10,79	588,20
42,78	146,02	9,00	699,43
37,65	166,20	0,69	1358,00
32,00	199,58		

Tabela 5.8: Dados relacionando a resistência elétrica do sensor e sua umidade absorvida para uma temperatura de 30 graus centígrados

Os dados da Tabela 5.9 e a curva da Figura 5.11 referem-se aos valores da resistência elétrica e da umidade absorvida pelo sensor para uma temperatura $T = 35^{\circ}C$.

UMIDADE %	RESISTÊNCIA Ω	UMIDADE %	RESISTÊNCIA Ω
100,00	52,20	27,80	210,60
92,47	58,80	23,22	259,00
88,32	62,50	17,99	330,10
80,29	72,40	13,19	462,20
73,73	84,80	5,00	842,40
60,00	108,60	1,50	1082,70
38,45	145,80	0,79	1204,00

Tabela 5.9: Dados relacionando a resistência elétrica do sensor e sua umidade absorvida para uma temperatura de 35 graus centígrados

Na Figura 5.12 apresentam-se todas as curvas deste experimento em um único gráfico, onde pode-se observar como no experimento 1, que as curvas têm características idênticas, diferindo apenas por causa da diferença de temperatura existente para cada uma delas.

Os valores de resistência elétrica das Tabelas 5.8 e 5.9 foram corrigidos para $T = 25^{\circ}C$, utilizando-se os parâmetros da Tabela 5.5, e juntamente com os valores da Tabela 5.7 a Tabela 5.10 foi montada de modo que se tenha um número maior de dados. Com os dados da Tabela 5.10 a Figura 5.13 foi implementada apresentando o comportamento da resistência do sensor em função da umidade absorvida pelo mesmo em toda sua faixa de umidade.

Obs: Abaixo de 0,5% de umidade absorvida pelo sensor os valores da resistência elétrica do mesmo tornaram-se muito altos, e, para umidade igual a 0% o valor da resistência é infinito.

5.4 Experimento 3

Este experimento consistiu em envolver o sensor com amostras de solo e colocar no Ceramic Plate Extrator do LIS - Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola da UFPb. O solo era colocado em um cilindro de pvc e, o sensor ficava completamente enterrado na amostra de solo. O método utilizado é o da membrana/placa de pressão referido no item 3.1.7 do capítulo 3. Para cada pressão imposta à "panela de pressão" era utilizada uma nova amostra do solo que era completamente saturada e, esperava-se o equilíbrio, isto é, quando não havia mais saída de

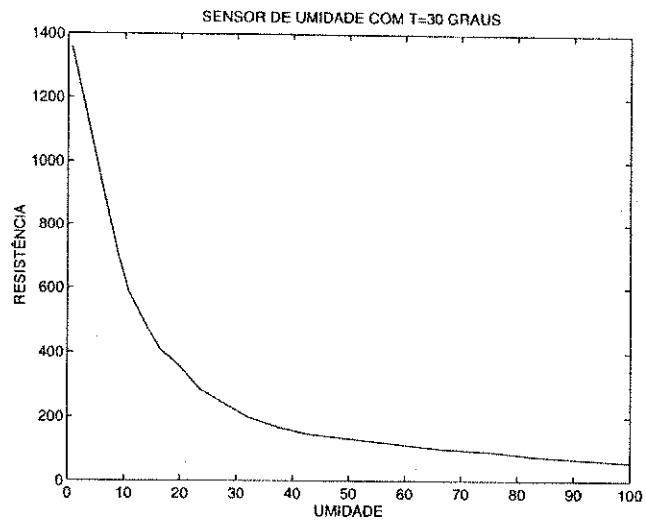


Figura 5.10: Curva umidade versus resistência elétrica (U x R) com T=30 graus centígrados

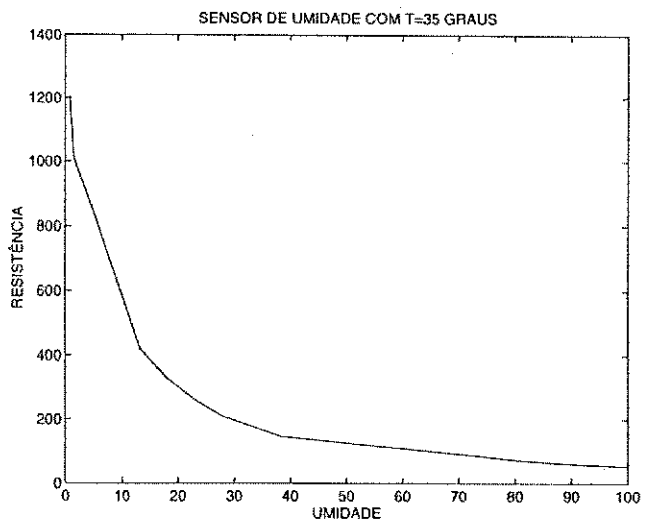


Figura 5.11: Curva umidade versus resistência elétrica (U x R) com T=35 graus centígrados

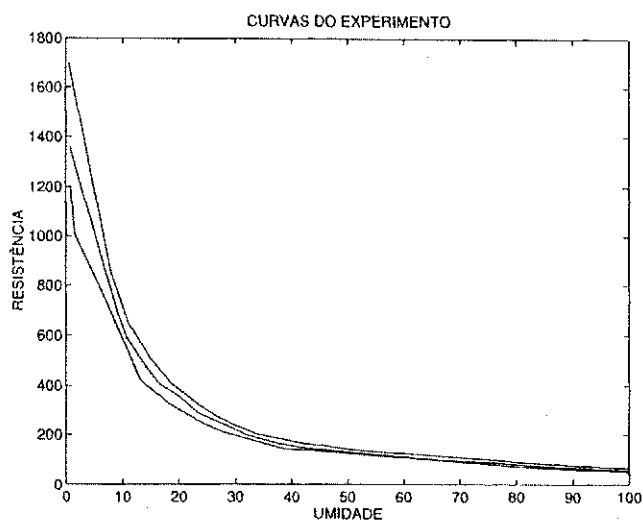


Figura 5.12: Curvas da umidade versus resistência elétrica (U x R) obtidas no experimento 2

U %	R(Ω)	U %	R(Ω)	U %	R(Ω)
100,00	66,76	49,05	145,90	17,99	411,59
92,47	73,31	45,58	157,48	16,41	460,15
91,51	75,58	43,68	159,68	15,00	507,00
88,32	77,93	42,78	163,88	14,00	540,00
87,90	81,68	38,76	181,44	13,19	576,43
84,00	84,24	38,45	181,79	11,00	650,00
81,74	88,30	37,65	186,53	10,79	660,15
81,03	89,88	34,00	202,00	9,00	785,00
80,29	90,27	32,00	224,00	8,00	850,00
76,37	99,55	29,96	237,40	5,00	1050,00
75,80	101,52	27,80	262,59	1,50	1350,00
73,73	106,00	27,40	265,40	0,79	1501,00
70,39	109,40	23,49	322,20	0,69	1524,00
66,25	112,51	23,44	324,13	0,50	1698,00
60,00	131,22	20,00	400,00		
51,95	139,35	18,69	409,20		

Tabela 5.10: Dados relacionando R e U para T=25 graus centígrados

água da panela para aquela pressão imposta. Foram realizadas medições da resistência do sensor e também da umidade do solo para diversas pressões, desde a saturação (0 *atm*) até o ponto relativo ao PM(P) (-15 *atm*) com o objetivo de se determinar principalmente os valores limites da resistência elétrica do sensor correspondentes a faixa de água disponível para as plantas; e também obter dados para o levantamento das curvas **pressão versus resistência elétrica do sensor, pressão versus umidade do solo e umidade do solo versus resistência elétrica do sensor.**

Foram utilizados 02 (dois) tipos de solo diferentes (franco e franco-arenoso) e areia da região de Picuí-Pb. Os solos e a areia foram classificados no LIS-Laboratório de Irrigação e Salinidade através do seu corpo técnico especializado.

Os referidos solos tiveram suas umidades determinadas para pressões correspondentes a CC e o PM(P). O valor de 0,33 *atm* referente a CC foi o escolhido de acordo com a citação de Reichardt(1985) [14] referida no item 2.3.3 do capítulo 3, já que a meta do trabalho é a caracterização de um sensor, que possa ser utilizado interligado a um sistema para determinar a água disponível para as plantas nos solos.

Os valores encontrados estão na Tabela 5.11, os valores devem ser entendidos como valores percentuais. Para o solo franco e a areia apenas uma determinação do teor de umidade foi realizada, para cada pressão (0,33 *atm* e 15 *atm*). Para o solo franco-arenoso foram realizadas duas determinações da umidade nas pressões de 0,33 *atm* e 15 *atm*. Uma vez sem utilizar o sensor inserido na amostra do solo (valores encontrados na Tabela 5.11) e outra vez utilizando-se o sensor inserido na amostra de solo conforme valores encontrados na Tabela 5.12 para $P = 0,33 \text{ atm}$ e $P = 15 \text{ atm}$.

	Solo Franco	Solo Franco-arenoso	Areia
Umidade à 0,33 atm	26,81%	10,46%	2,37%
Umidade à 15 atm	16,71%	5,14%	2,31%
AD	10,10%	5,32%	0,06%

Tabela 5.11: Valores percentuais da umidade determinados na CC e PMP para os solos franco, franco-arenoso e arenoso

5.4.1 Solo Franco-Arenoso

Com este tipo de solo foram realizadas 16 medições da resistência elétrica do sensor para diferentes pressões através do método referido anteriormente. Neste experimento, a umidade do solo para cada pressão imposta ao conjunto sensor/amostra do solo foi determinada pelo método termogravimétrico, isto é, retirava-se a amostra do solo

úmido, pesava-se, secava-se em estufa e depois pesava-se seco.

Na Tabela 5.12 apresentam-se os dados obtidos, com os valores da resistência já normalizados para $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

P(atm)	R(Ω)	U(%)	P(atm)	R(Ω)	U(%)
0,00	72,00	Sat	3,00	507,00	6,20
0,10	87,38	18,34	3,50	540,00	6,09
0,20	92,00	13,62	5,00	650,00	5,88
0,33	106,00	10,46	7,00	785,00	5,72
0,50	131,22	8,86	8,00	850,00	5,67
0,70	202,15	7,64	10,00	1050,00	5,46
1,00	224,00	7,43	13,00	1350,00	5,25
2,00	400,00	6,52	15,00	1500,00	5,14

Tabela 5.12: Dados relacionando a pressão aplicada a uma amostra de solo franco-arenoso com a resistência elétrica do sensor e a umidade do solo

Com os dados da Tabela 5.12 foram implementadas as curvas **pressão versus resistência elétrica do sensor** (ver Figura 5.14), **pressão versus umidade do solo** (ver Figura 5.15) e **umidade do solo versus resistência elétrica do sensor** (ver Figura 5.16).

5.4.2 Solo Franco

Com o solo franco foi medida a resistência elétrica do sensor na pressão de $0,33\text{ atm}$ equivalente a CC e, a resistência medida foi $R = 111\ \Omega$, e no equivalente ao PM(P) (15 atm), a medição da resistência foi $R = 1525\ \Omega$. O fato de ser sido utilizada a pressão de $0,33\text{ atm}$ foi explicado no item anterior.

Estas medições vieram confirmar a afirmativa de Bouyoucos e Mick [8] de que leituras de resistência devem ser interpretadas diretamente em termos de água disponível no solo; em todos os solos, a porcentagem de água disponível é aproximadamente a mesma para um dado valor de resistência. Deve-se levar em consideração que o manômetro do aparelho utilizado no experimento é analógico, fato que de certa forma compromete a precisão das medições, portanto não foram obtidos valores perfeitamente idênticos para os dois solos testados, isto é, franco e franco arenoso.

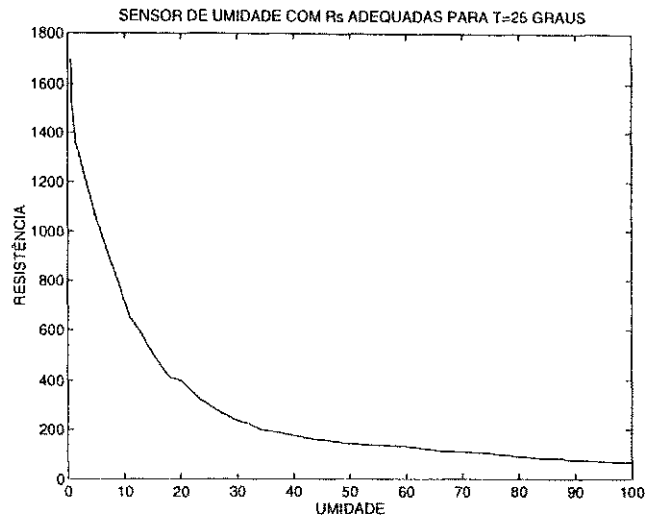


Figura 5.13: Curva umidade versus resistência elétrica (U x R) com valores de R normalizados para T=25 graus centígrados

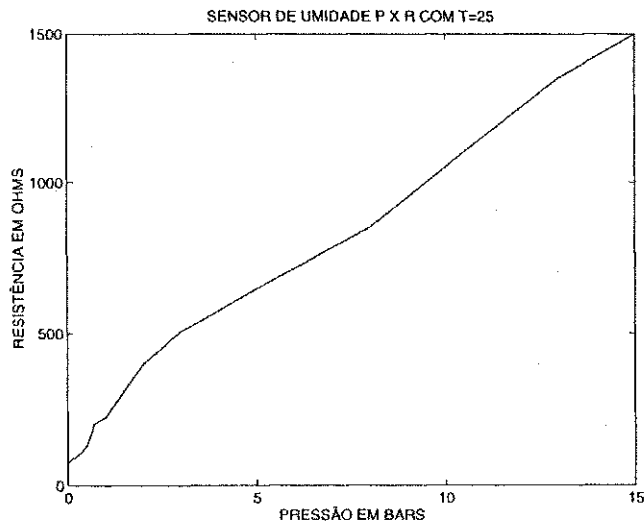


Figura 5.14: Curva da pressão aplicada a amostras de solo franco-arenoso versus resistência elétrica do sensor (P x R)

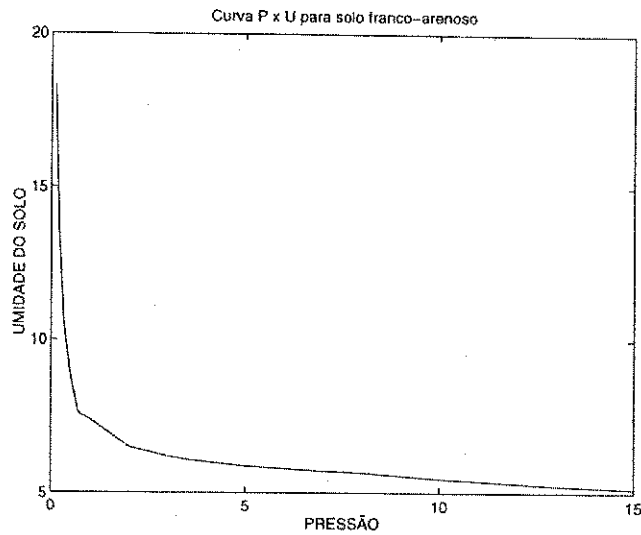


Figura 5.15: Curva da pressão aplicada a amostras de solo franco-arenoso versus umidade do solo (P x U)

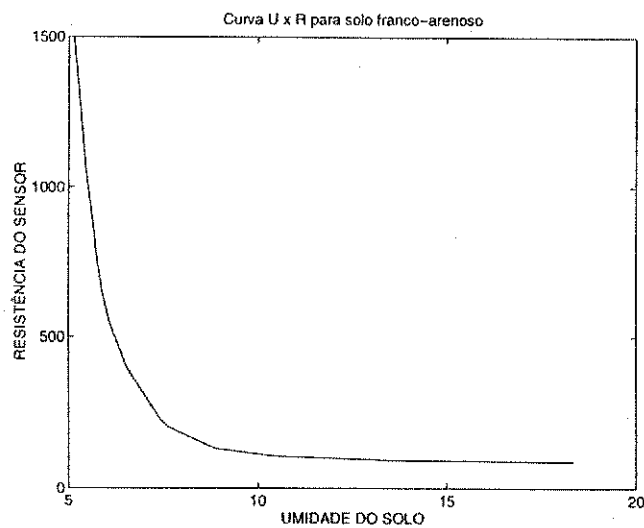


Figura 5.16: Curva da umidade de amostras de solo franco-arenoso versus resistência elétrica do sensor (U x R)

5.4.3 Areia

O valor da resistência elétrica do sensor, encontrado à pressão de 0,33 *atm* foi de 117 ohms ao passo que para 15 *atm* este valor não se modificou, demonstrando assim, como já era previsto, que a quantidade de água disponível para esta areia é praticamente 0 (*zero*), em concordância com os valores da unidade determinados pelo método termogravimétrico e a afirmativa de Bouyoucos e Mick citada no item anterior.

Com a areia completamente saturada, a resistência medida foi de 73 *ohms*.

5.5 Conclusão

Os experimentos realizados e consequentemente os resultados obtidos, demonstraram perfeitamente o modo como a determinação da relação AD x R poderia ser implementada, já que o sensor estava praticamente caracterizado; faltando apenas se determinar a equação da curva U x R e desta forma relacionar-se a água disponível para as plantas com a resistência elétrica do sensor, já que a faixa de água disponível está inserida na faixa de unidade absorvida pelo sensor. No capítulo seguinte esta relação é determinada.

Capítulo 6

RELAÇÃO $AD \times R$ DO SENSOR

6.1 Introdução

A determinação da relação entre a água disponível no solo (AD) e a resistência elétrica (R) do sensor foi o passo final para que a caracterização do sensor fosse definitivamente concluída e para que um provável sistema de medição e controle de água disponível possa ser implementado com o auxílio do mesmo.

Com os dados (U, R) obtidos na prática, os quais são mostrados na Tabela 5.10, foi possível encontrar uma equação para a curva da **umidade versus resistência**; como os dados (AD, R) estão inseridos na curva $U \times R$, foi possível determinar os valores de resistência elétrica correspondentes aos níveis de água disponível no solo e construir a curva $AD \times R$.

6.2 Determinação de $AD \times R$

De acordo com o experimento 3 do capítulo anterior, no ponto de máxima água disponível para as plantas ($-0,33 \text{ atm}$), a resistência do sensor indicou um valor de 106 ohms , enquanto que para o ponto de mínima água disponível (-15 atm), a resistência foi de 1500 ohms , de forma que, observando-se os dados da Tabela 5.10, para 100 % de água disponível a umidade absorvida pelo sensor é $U = 73,73 \%$, e, para 0 % temos $U = 0,79 \%$.

Desta forma, o intervalo de AD de 100 % a 0 % fica inserido na curva $U \times R$ mostrada na Figura 5.13 do sensor entre $73,73 \%$ e $0,79 \%$.

Como um dos princípios básicos do bloco de absorção de gesso é a troca de umidade com o solo e sua adequação às condições de umidade do solo, é correto implementar o sistema relacionando a água disponível para as plantas com os respectivos níveis de

umidade determinados no sensor de umidade e seus valores de resistência.

De posse dos dados da Tabela 5.10 foi determinada uma equação polinomial com o auxílio do MATLAB [28] que descreve o comportamento do sensor de umidade, no que diz respeito a relação entre umidade absorvida e a resistência elétrica.

A equação polinomial encontrada é mostrada abaixo:

$$\begin{aligned}
 R = & -0,00000000102.U^7 + 0,00000040016.U^6 - 0,00006415196.U^5 \\
 & + 0,00547471378.U^4 - 0,27280483741.U^3 + 8,28062708986.U^2 \\
 & - 154,65822054297.U + 1651,17365275634
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

Na Figura 6.1 mostra-se a resistência efetivamente medida na prática (ver valores da Tabela 5.10), na qual os pontos são mostrados através de pequenos círculos vazios, enquanto a resistência estimada (R_{est}) através do polinômio da equação (6.1) é mostrada na curva com linha cheia. Na figura também apresenta-se a curva da diferença entre os valores encontrados nos experimentos e os valores obtidos através da equação polinomial ($R - R_{est}$), estes valores são na realidade o erro ocasionado pela utilização da equação polinomial, esta curva encontra-se na parte mais abaixo da Figura 6.1.

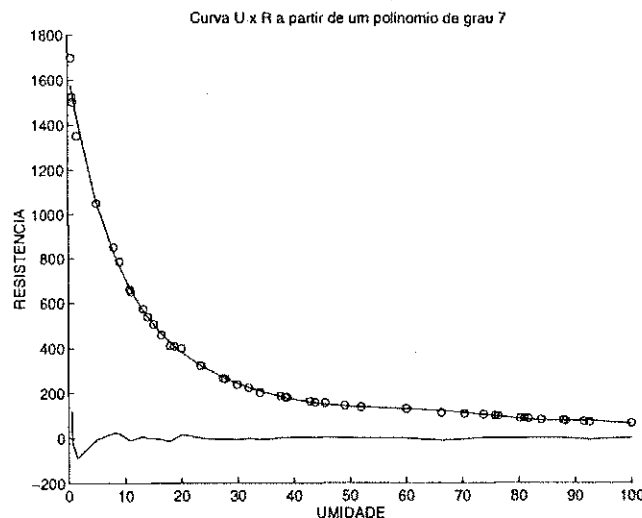


Figura 6.1: Curvas umidade absorvida pelo sensor versus resistência elétrica (U x R), umidade versus resistência estimada (U x Rest) e o erro (R- Rest)

O polinômio da equação 6.1 foi utilizado para identificar a curva U x R porque foram testados outros com graus menores e isto acarretava erros consideráveis que não refletiam a realidade prática.

Na Tabela 6.1 são apresentados os valores da resistência medidos na prática, os valores encontrados utilizando a equação polinomial, além do erro ocasionado entre a

diferença destes valores; os valores das resistências estão em ohms e o erro em percentual.

R	Rest	Erro	R	Rest	Erro	R	Rest	Erro
66,76	64,45	+3,46	149,90	144,05	+3,90	411,59	425,96	-3,49
73,31	79,18	-8,00	157,48	151,60	+3,73	460,15	465,72	-1,21
75,58	78,94	-4,44	159,68	157,27	+1,51	507,00	506,55	+0,08
77,93	78,60	-0,85	163,88	160,38	+2,13	540,00	539,10	+0,16
81,68	78,69	+3,66	181,44	178,21	+1,78	576,43	567,97	+1,46
84,24	81,80	+2,89	181,79	179,87	+1,05	650,00	659,29	-1,42
88,30	85,49	+3,18	186,53	184,35	+1,16	660,15	669,21	-1,37
89,88	86,90	+3,31	202,00	208,63	-3,28	785,00	763,44	+2,74
90,27	88,48	+1,98	224,00	224,81	-0,36	850,00	824,61	+2,98
99,55	98,18	+1,37	237,40	243,63	-2,62	1050,0	1054,02	-0,38
101,52	99,70	+1,79	262,59	266,41	-1,45	1350,0	1436,92	-6,43
106,00	105,27	+0,68	265,40	270,98	-2,10	1501,0	1534,02	-2,19
109,40	113,88	-4,09	322,20	322,65	-0,13	1524,0	1548,31	-1,59
112,51	122,82	-9,16	324,13	323,41	+0,22	1698,0	1575,88	+7,19
131,22	131,79	-0,43	400,00	382,79	+4,30			
139,35	139,82	-0,33	409,20	410,07	-0,21			

Tabela 6.1: Tabela mostrando a resistência medida nos experimentos (R), a resistência estimada através da equação polinomial (Rest) e o erro(R-Rest)

Por intermédio da equação polinomial, os valores da resistência do sensor referentes a umidade de 100 % a 1 %, em incrementos de 1 %, foram determinadas.

Estes valores estão inseridos na Tabela 6.2. A unidade é dada em (%) e a resistência elétrica em (Ω). Na Figura 6.2 é mostrada a curva umidade versus resistência.

A seguir apresentam-se na Tabela 6.3 os valores de água disponível com os valores correspondentes da umidade. Tanto a água disponível como a umidade são dadas em percentuais (%).

O sensor confeccionado e caracterizado neste trabalho deve fornecer informações da porcentagem de água disponível no solo, informações estas, na forma de variação de resistência elétrica entre os eletrodos; de forma que na Tabela 6.4 estão os dados percentuais de água disponível e os respectivos valores da resistência elétrica do sensor.

A água disponível é dada em percentual (%) enquanto a resistência em ohms (Ω). Na Figura 6.3 mostra-se a curva água disponível versus resistência elétrica do

U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R
100	64,57	83	83,28	66	123,28	49	144,14	32	224,81	15	506,55
99	70,18	82	85,00	65	125,04	48	146,00	31	233,73	14	539,10
98	74,10	81	86,96	64	126,65	47	148,12	30	243,24	13	575,10
97	76,68	80	89,12	63	128,12	46	150,51	29	253,37	12	614,99
96	78,24	79	91,46	62	129,46	45	153,20	28	264,16	11	659,29
95	79,05	78	93,93	61	130,67	44	156,23	27	275,67	10	708,57
94	79,34	77	96,51	60	131,79	43	159,59	26	287,94	9	763,44
93	79,29	76	99,17	59	132,82	42	163,33	25	301,06	8	824,61
92	79,07	75	101,86	58	133,79	41	167,46	24	315,10	7	892,85
91	78,80	74	104,55	57	134,72	40	172,00	23	330,17	6	969,01
90	78,60	73	107,22	56	135,64	39	176,95	22	346,37	5	1054,02
89	78,53	72	109,84	55	136,58	38	182,35	21	363,86	4	1148,90
88	78,66	71	112,37	54	137,55	37	188,20	20	382,79	3	1254,78
87	79,04	70	114,81	53	138,60	36	194,52	19	403,34	2	1372,88
86	79,68	69	117,14	52	139,76	35	201,33	18	425,72	1	1504,52
85	80,60	68	119,33	51	141,04	34	208,63	17	450,20		
84	81,80	67	121,38	50	142,49	33	216,45	16	477,03		

Tabela 6.2: Tabela mostrando toda faixa de umidade absorvida pelo sensor e suas resistências correspondentes

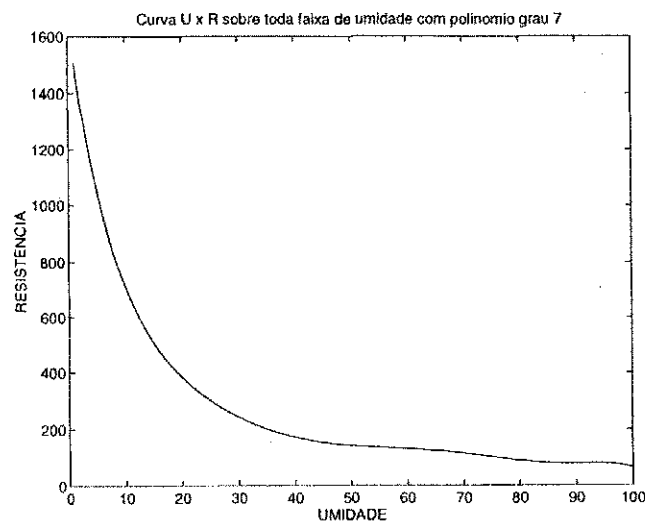


Figura 6.2: Curva U x R para toda faixa de umidade

AD	U	AD	U	AD	U	AD	U	AD	U	AD	U
100	73,73	83	61,32	66	48,90	49	36,48	32	24,07	15	11,65
99	73,00	82	60,58	65	48,17	48	35,75	31	23,34	14	10,92
98	72,27	81	59,85	64	47,44	47	35,02	30	22,61	13	10,19
97	71,54	80	59,12	63	46,71	46	34,29	29	21,88	12	9,46
96	70,81	79	58,39	62	45,98	45	33,56	28	21,15	11	8,73
95	70,08	78	57,66	61	45,25	44	32,83	27	20,42	10	8,00
94	69,35	77	56,93	60	44,52	43	32,10	26	19,69	9	7,27
93	68,62	76	56,20	59	43,79	42	31,37	25	18,96	8	6,54
92	67,89	75	55,47	58	43,06	41	30,64	24	18,23	7	5,81
91	67,16	74	54,74	57	42,33	40	29,91	23	17,50	6	5,08
90	66,43	73	54,01	56	41,60	39	29,18	22	16,77	5	4,35
89	65,70	72	53,28	55	40,87	38	28,45	21	16,04	4	3,62
88	64,97	71	52,55	54	40,14	37	27,72	20	15,31	3	2,89
87	64,24	70	51,82	53	39,41	36	26,99	19	14,58	2	2,16
86	63,51	69	51,09	52	38,68	35	26,26	18	13,85	1	1,43
85	62,78	68	50,36	51	37,95	34	25,53	17	13,12		
84	62,05	67	49,63	50	37,22	33	24,80	16	12,38		

Tabela 6.3: Dados relacionando a água disponível no solo com a umidade absorvida pelo sensor

sensor.

AD	R	AD	R	AD	R	AD	R	AD	R	AD	R
100	105,27	83	130,30	66	144,31	49	191,43	32	314,09	15	629,97
99	107,22	82	131,15	65	145,67	48	196,18	31	324,92	14	663,04
98	109,14	81	131,95	64	147,15	47	201,19	30	336,35	13	698,79
97	111,01	80	132,70	63	148,78	46	206,46	29	348,40	12	737,46
96	112,85	79	133,42	62	150,56	45	212,01	28	361,15	11	779,30
95	114,62	78	134,11	61	152,50	44	217,83	27	374,65	10	824,61
94	116,34	77	134,79	60	154,61	43	223,95	26	388,97	9	873,68
93	117,99	76	135,46	59	156,90	42	230,36	25	404,19	8	926,85
92	119,56	75	136,13	58	159,38	41	237,08	24	420,40	7	984,45
91	121,06	74	136,82	57	162,06	40	244,13	23	437,68	6	1046,87
90	122,48	73	137,54	56	164,94	39	251,50	22	456,15	5	1114,50
89	123,83	72	138,30	55	168,03	38	259,22	21	475,91	4	1187,78
88	125,09	71	139,11	54	171,34	37	267,31	20	497,09	3	1267,15
87	126,28	70	139,98	53	174,87	36	275,79	19	519,83	2	1353,11
86	127,39	69	140,92	52	178,63	35	284,68	18	544,27	1	1446,17
85	128,42	68	141,95	51	182,63	34	294,00	17	570,58		
84	129,39	67	143,08	50	186,88	33	303,79	16	599,34		

Tabela 6.4: Dados relacionando os percentuais de água disponível no solo com a resistência (R) do sensor

6.3 Conclusão

A curva e os dados relacionando a água disponível no solo com a resistência elétrica do sensor foram obtidos a partir da equação polinomial determinada para identificar a curva umidade absorvida pelo sensor *versus* resistência elétrica do mesmo. Como foi visto, a faixa denominada água disponível para as plantas, está inserida na faixa de umidade absorvida pelo sensor. Deste modo, a partir destes resultados um sistema de medição e controle de água disponível no solo pode ser implementado fazendo-se uso do sensor ora desenvolvido, tirando proveito das características do mesmo, isto é, ser utilizável em toda faixa de água disponível para as plantas existente nos solos.

No capítulo seguinte apresenta-se a proposta de um sistema para medição e controle de água disponível no solo.

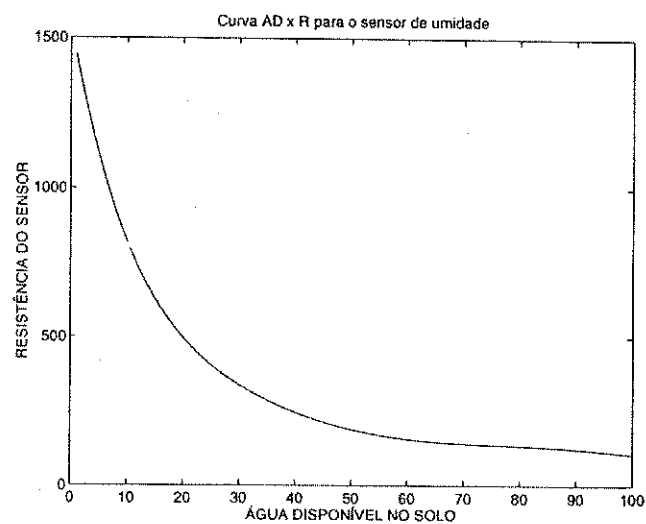


Figura 6.3: Curva água disponível nos solos versus resistência elétrica do sensor (AD x R)

Capítulo 7

SISTEMA PARA MEDIÇÃO/CONTROLE DE AD

7.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma proposta teórica de um sistema para medição de água disponível no solo. Inicia-se com o sistema proposto e o seu diagrama de blocos e posteriormente descreve-se cada um dos blocos que simbolizam os diversos circuitos, fazendo-se a análise de cada um deles e da necessidade de cada um no sistema.

7.2 Sistema Proposto

O sistema proposto para que o sensor de água disponível no solo tenha uma utilização prática de imediato, deve apresentar as seguintes características:

- Medir a água disponível no solo, informando continuamente o nível de AD através de um *display* interligado ao sistema. A medição de água disponível tem por base a variação da resistência elétrica do sensor de acordo com a variação da umidade do solo.
- Medir a temperatura do solo e também informando esta temperatura através do *display* referido anteriormente. O sinal de temperatura é proveniente do sensor de temperatura incorporado no bloco de absorção como foi explanado no capítulo quatro.
- Controlar a porcentagem de água disponível no solo, para efeito de irrigação, mantendo no solo a quantidade de água suficiente para o perfeito desenvolvimento das espécies cultivadas. Este controle deve ser efetuado automaticamente pelo sistema. A quantidade de água disponível desejada deve ser passada para o sistema, através de uma entrada de dados que pode ser um teclado comum de doze teclas, por exemplo. Quando a porcentagem de água disponível no solo for imediatamente menor que a porcentagem

desejada o sistema colocará em sua saída um sinal que servirá para acionar o sistema de irrigação, e quando a porcentagem de AD atingir o valor desejado, com base na informação da resistência elétrica do sensor enterrado no solo, então o sistema retirará o sinal de acionamento do sistema de irrigação.

7.3 Diagrama de Blocos do Sistema Proposto

Nesta proposta de um sistema para medição e controle de água disponível utilizando o sensor de água disponível, para efetuar medições e controle em campo, sugere-se um sistema como o apresentado no diagrama de blocos mostrado na Figura 7.1.

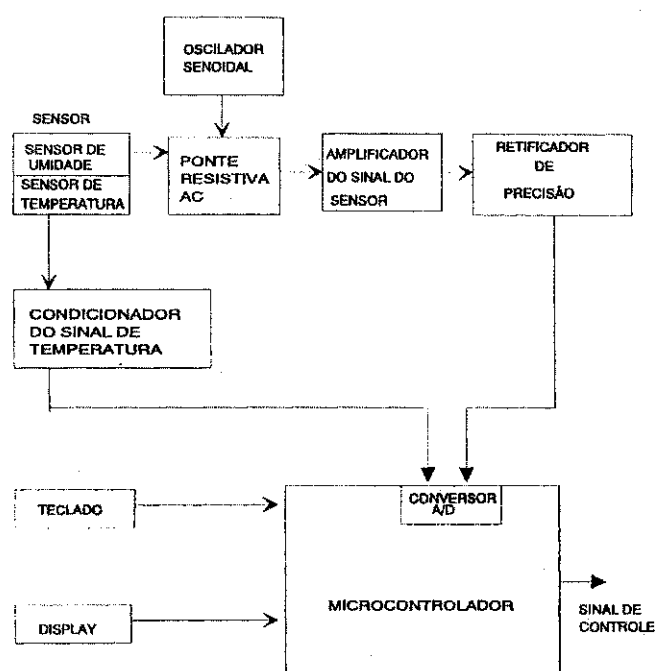


Figura 7.1: Diagrama de blocos de um possível sistema a ser implementado

Uma descrição dos blocos do diagrama é apresentada a seguir:

7.3.1 Ponte Resistiva ac

A ponte resistiva ac é conveniente de ser utilizada pois é um modo prático e tradicional de se realizar medições de resistência elétrica em circuitos eletro-eletrônicos. Como foi referido ao longo deste trabalho, o princípio básico do sensor é a variação da sua resistência elétrica face a variação da umidade do solo; de forma que a resistência elétrica do sensor deve ser um dos ramos da ponte. Esta ponte deve ser uma ponte de Wheatstone alimentada através de um oscilador senoidal, visto que o bloco de absorção

(gesso) mantém uma concentração eletrolítica constante correspondente a uma solução saturada de sulfato de cálcio, e desta forma não se tem desgastes nos eletrodos e polarização da corrente, fato que influenciará nas medições com o decorrer do tempo.

Na Figura 7.2 mostra-se a ponte resistiva ac na qual um dos ramos é a resistência do sensor.

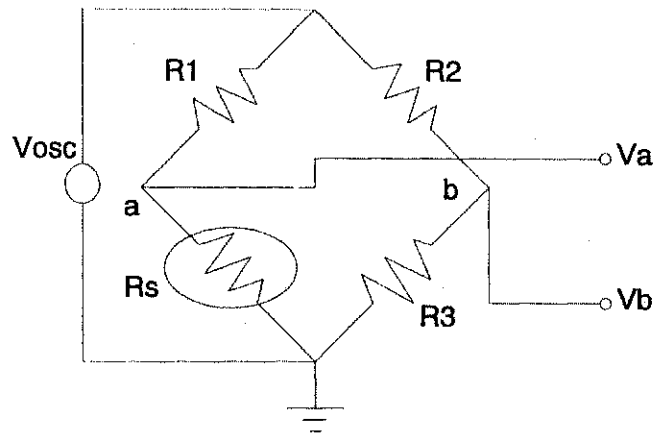


Figura 7.2: Ponte resistiva ac onde um dos elementos é a resistência do sensor

Na ponte tem-se:

$$R1 = 100 \, \Omega$$

$$R2 = 100 \, \Omega$$

$$R3 = 120 \, \Omega \text{ (Trimpot para ajuste)}$$

$$R_s = 106 \, \Omega \text{ a } 1500 \, \Omega$$

$V_a \rightarrow$ Tensão no ponto a

$V_b \rightarrow$ Tensão no ponto b

$V_{osc} \rightarrow$ Tensão de saída do oscilador, que será descrito no item a seguir

7.3.2 Oscilador Senoidal

O oscilador senoidal tem a função de alimentar a ponte resistiva ac; os motivos já foram explicados no item anterior. Os osciladores senoidais são circuitos bastante referidos na literatura específica ver Millman e Halkias(1981) [13] e Sedra e Smith(1991)[3], e largamente utilizados na prática. Sugere-se um oscilador em ponte de Wien com controle não-linear de ganho, onde os critérios de Barkausen são observados, isto é, o deslocamento de fase do ganho de malha deve ser nulo e o ganho de malha unitário.

O circuito sugerido para o oscilador senoidal é mostrado na Figura 7.3.

No circuito do oscilador para que se tenha a frequência de oscilação igual a 1020 Hz e a amplitude pico a pico igual a 650 mV as referências e valores dos componentes

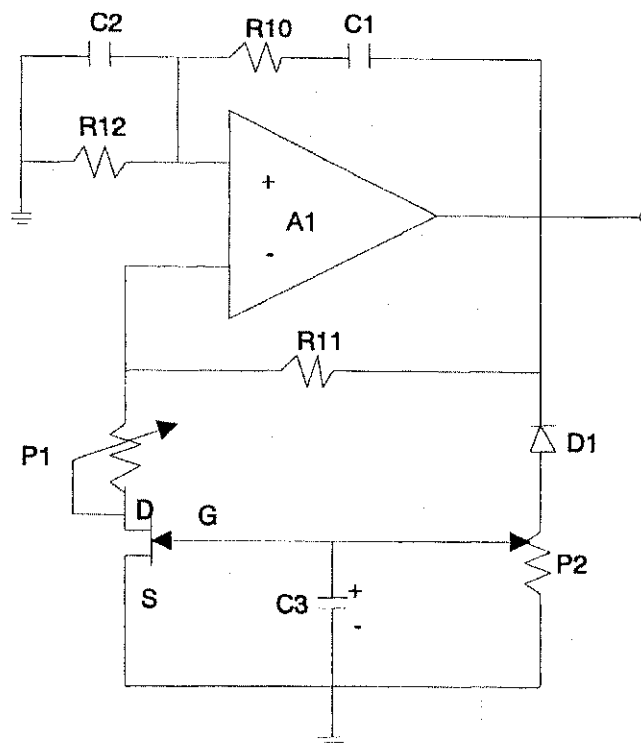


Figura 7.3: Esquema do oscilador senoidal

são:

$$R10 = 68 \text{ K}\Omega - \frac{1}{4}W ; R12 = 120 \text{ K}\Omega - \frac{1}{4}W ; R11 = 10 \text{ K}\Omega - \frac{1}{4}W$$

$$C1 = 1,2 \text{ nF} ; C2 = 2,2 \text{ nF} ; C3 = 1,0 \text{ }\mu\text{F} - 16V$$

$$P1 = 4,7 \text{ K}\Omega ; P2 = 50 \text{ K}\Omega$$

$$A1 \rightarrow TL084$$

$$JFET \rightarrow 2N3819$$

$$D1 \rightarrow 1N4937$$

Obs: A frequência de 1020 Hz e a amplitude pico a pico de 650 mV devem-se ao fato de serem estes parâmetros os utilizados no medidor RLC que foi utilizado para as medições nos experimentos 1, 2 e 3 do capítulo cinco.

7.3.3 Condicionador do Sinal de Temperatura

O condicionador do sinal de temperatura deve ser um amplificador de ganho tal que condicione o sinal do sensor de temperatura (0 a 500 mV) a níveis de tensão coerentes com as tensões máxima e mínima do conversor A/D do microcontrolador.

O circuito deve ser projetado para um ganho igual a 10, se o microcontrolador MC68HC11 da Motorola(1990) [18] for utilizado. O circuito utilizado é o do amplificador não-inversor, mostrado na Figura 7.4.

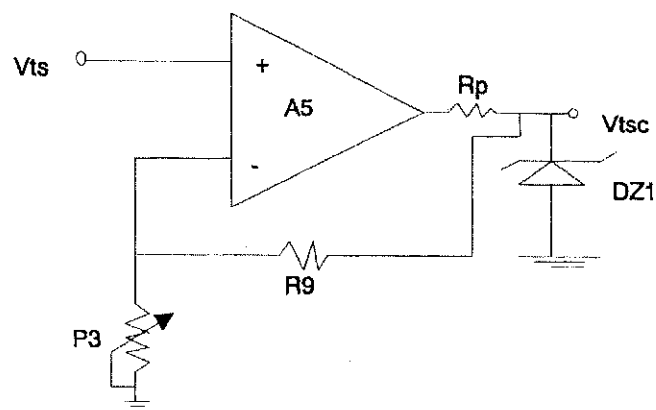


Figura 7.4: Esquema do condicionador do sinal do sensor de temperatura

A seguir tem-se as referências existentes no circuito e os valores dos componentes:

$V_{ts} \rightarrow 0$ a 500 mV (Tensão referente à temperatura do sensor)

$V_{tsc} \rightarrow 0$ a $5V$ (Tensão referente à temperatura do sensor condicionada)

$R9 = 82\text{ K}\Omega - \frac{1}{4}W$

$Rp = 3,3\text{ K}\Omega$ (resistor de proteção)

$P3 = 10\text{ K}\Omega$

$A3 \rightarrow TL084$

$D_{Z1} \rightarrow 1N5676$

$Ganho = 10$

7.3.4 Amplificador do Sinal do Sensor

O amplificador do sinal do sensor tem a função de condicionar o sinal oriundo da ponte resistiva ac. A medida que a umidade no solo varia, a resistência elétrica do sensor também varia, variando o sinal de saída da ponte. O ganho deste amplificador deve ser definido de forma que o seu sinal seja adequado para o conversor A/D do microcontrolador; tanto para o valor mais baixo da resistência elétrica do sensor (correspondente a 100 % de água disponível no solo) quanto para o mais alto (correspondente a 0 % de água disponível). Na Figura 7.5 mostra-se o circuito do amplificador do sinal do sensor.

Abaixo tem-se as referências dos dispositivos e sinais do circuito:

V_a e V_b (tensões de entrada provenientes da ponte)

V_{sa} (tensão do sensor amplificada)

$R4 = 1K\Omega$; $R5 = 18K\Omega$; $R6 = 0,1R7$; $R7 = 1K\Omega$; $R8 = 1K\Omega$;

$A2, A3, A4 \rightarrow TL084$

7.3.5 Retificador de Precisão

Um circuito retificador de precisão é necessário visto que o sinal do sensor proveniente da ponte resistiva ac deve ser condicionado para uma das entradas do conversor A/D do microcontrolador. Como os conversores A/D aceitam comumente tensões contínuas, então o sinal da ponte deve ser retificado sem perdas substanciais. Segundo Graeme(1973) [12], o retificador de precisão proporciona retificação com alta precisão, esta retificação é conseguida sem sacrificar parte significativa do sinal para polarizar os diodos retificadores e a perda do sinal é altamente reduzida pelo alto ganho do amplificador operacional utilizado. Juntamente com o retificador de precisão, deve-se utilizar um filtro na saída do retificador, para que se tenham níveis de tensão o mais próximo possível de tensões puramente dc para serem reconhecidas sem erro pelo conversor A/D do microcontrolador.

O circuito do retificador de precisão sugerido é o da Figura 7.6, o mesmo utiliza um número reduzido de resistores casados, somente dois, e é composto por um inversor e um seguidor de voltagem com gatilhamento na saída o qual seleciona a voltagem positiva na saída.

No esquema do retificador tem-se como tensão de entrada V_{sa} proveniente do amplificador do sinal do sensor, e na saída V_{sra} que é a tensão do sensor retificada e amplificada.

A seguir são apresentados os valores e referências dos componentes do retificador de precisão:

$$R14 = 2,4K\Omega; R13 = 1,2K\Omega$$

$$D2, D3, D4, D5 \rightarrow 1N4937$$

$$A6, A7 \rightarrow TL084$$

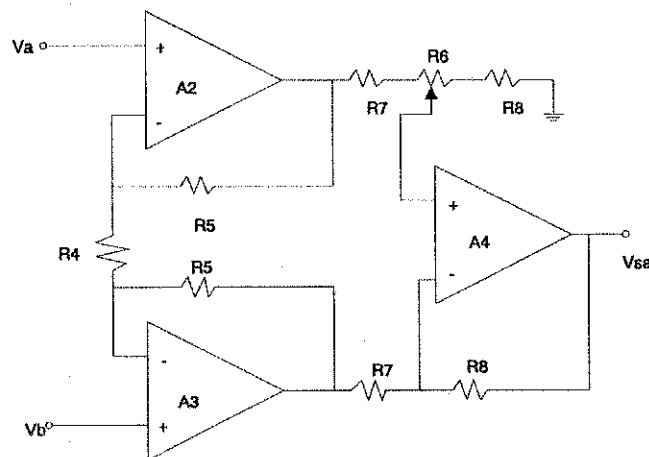


Figura 7.5: Esquema do amplificador do sinal do sensor

$V_{sa} \rightarrow$ (Tensão do sensor amplificada)

$V_{sra} \rightarrow$ (Tensão do sensor retificada e amplificada)

Obs: Supondo-se que apenas um estágio de amplificação não seja suficiente para que o conversor capte todos os níveis de tensão referentes a todos os níveis de água disponível, então outros estágios de amplificação devem ser utilizados, formando-se assim um sistema de amplificação com ganho programável.

7.3.6 Microcontrolador

Na configuração final do sistema implementado, o microcontrolador deverá funcionar no modo single-chip, isto é, sem estar conectado a nenhum microcomputador nem placa de avaliação. Um programa específico deve comandar todas as tarefas de conversão analógico-digital dos sinais do sensor, tanto do sinal decorrente da variação da resistência do sensor de umidade (neste caso, água disponível no solo) quanto do sinal referente às variações da temperatura. Este programa deve fazer as correções da temperatura para um determinado padrão assim como enviar as informações (medições) acerca da água disponível e da temperatura do solo para um *display*. Também, deve comparar valores da água disponível que se deseja controlar, estes valores devem dar entrada no microcontrolador através do teclado, e causar um sinal de saída que será o sinal de controle para acionar o sistema de irrigação que estiver sendo utilizado. Este controle deve ser acionado quando o valor da água disponível atingir um valor imediatamente inferior ao valor que se deseja no solo, mais especificamente, no local onde o sensor estiver enterrado.

Sugere-se usar o microcontrolador MC68HC11 da Motorola, por ser um circuito integrado já bastante utilizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle - LIEC.

7.3.7 Teclado e Display

O teclado deverá ser um teclado comum de doze teclas, facilmente encontrado no mercado e de baixo custo.

O *display* a ser utilizado deve ser um dispositivo também encontrado com facilidade no mercado nacional, como por exemplo, os fabricados pela Alfacom S.A, denominados comercialmente de módulos LCM multi-matrix.

7.4 Fluxograma do Processo de Medição e Controle de AD

Na Figura 7.7 apresenta-se o fluxograma do processo de medição e controle dos percentuais de água disponível no solo através do microcontrolador. Mostra-se também no fluxograma o processo de medição da temperatura do solo.

7.4.1 Descrição do Fluxograma

Como observa-se no fluxograma, os sinais referentes à resistência elétrica do sensor e da temperatura do solo, dão entrada no microcontrolador através das portas PE1 e PE2 do conversor A/D. Estes sinais são armazenados nos registradores ADR1 e ADR2, onde a partir daí os valores da água disponível e temperatura do solo são calculados.

A temperatura é calculada através de uma tabela de dados existente em memória, que relacionam a tensão de entrada em PE2 com o valor correspondente da temperatura.

O valor medido da temperatura além de ser mostrado no *display*, ele é utilizado para fazer as correções nos valores da resistência elétrica do sensor, isto se o valor for diferente de 25 °C; pois, como foi referido neste trabalho, a resistência elétrica do sensor é dependente da temperatura, e os valores da resistência do sensor foram normalizados para uma temperatura de 25 °C. Uma tabela com os coeficientes que são utilizados na correção do valor da resistência elétrica é também implementada na memória.

O percentual da água disponível é calculado, levando-se em consideração o valor do sinal de entrada em PE1, convertido e colocado em ADR1, e a correção do valor da resistência levada a efeito mediante a medição da temperatura. Aqui também é utilizada uma tabela de dados implementada em memória, onde os valores calculados são correlacionados com os valores percentuais de água disponível da tabela. Após isto, o valor percentual da água disponível é mostrado no *display*.

Além da medição do percentual de água disponível e temperatura do solo, em que os valores são mostrados no *display*, no fluxograma apresenta-se, também, o processo de controle do percentual de água disponível no solo.

O percentual de água disponível no solo calculado é comparado com um percentual de água disponível que se deseja efetivamente. Se o percentual de água disponível no solo estiver menor que o percentual a ser controlado (ADc), então o microcontrolador emitirá um sinal de saída, através de uma de suas portas. Este sinal será utilizado para efetuar o acionamento do sistema de irrigação.

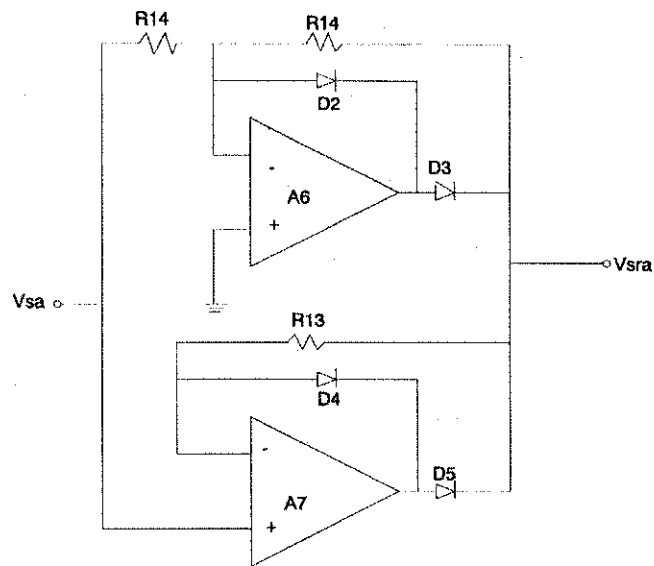


Figura 7.6: Esquema do retificador de precisão

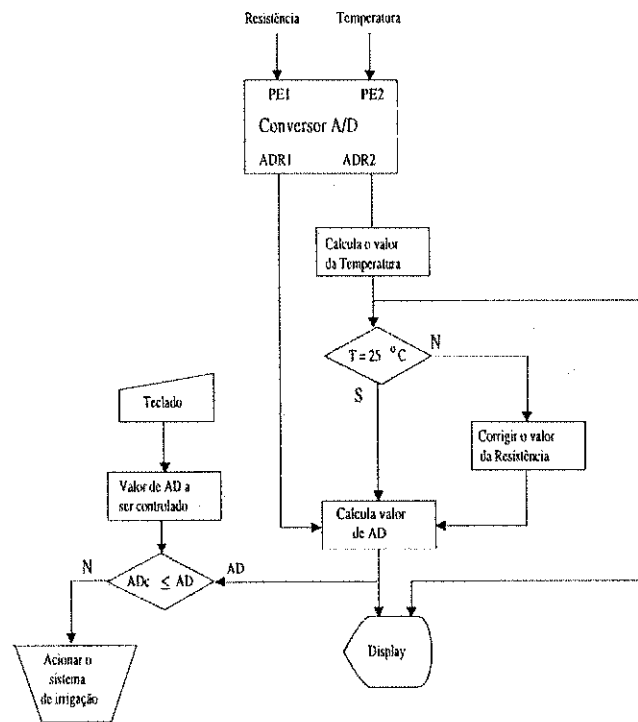


Figura 7.7: Fluxograma do processo de medição e controle da água disponível e medição da temperatura do solo

7.5 Conclusão

Conforme o exposto neste capítulo, entende-se que um sistema como o proposto pode perfeitamente ser implementado e utilizado com significativos benefícios advindos da sua utilização especialmente no que se refere a agricultura irrigada.

O capítulo seguinte refere-se as perspectivas futuras para desenvolvimento de novos trabalhos que façam uso do sensor caracterizado neste trabalho e outras aplicações além da utilização na irrigação.

Capítulo 8

PERSPECTIVAS FUTURAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 Introdução

Neste capítulo final são apresentadas as possíveis aplicações práticas reais do sensor, em áreas como agricultura irrigada, pesquisas agronômicas e hidrologia. Também são colocadas as perspectivas futuras para trabalhos que visem utilizar o sensor como dispositivo básico para sistemas de medição e controle de água disponível nos solos além da proposta do capítulo anterior.

Sugere-se um sistema com diversos sensores fornecendo informações pontuais à um único sistema de medição e controle, onde um módulo multiplexador faria a entrada das múltiplas informações oriundas dos sensores.

Outra possibilidade para o aperfeiçoamento do sistema é a transmissão/recepção das informações dos diversos sensores através de um sistema de telemetria, onde as ligações físicas dos sensores ao sistema de medição e controle seriam dispensadas.

8.2 Perspectivas Futuras

Entende-se que o trabalho desenvolvido, pode ser um passo importante para o desenvolvimento de outras pesquisas e projetos relacionados ao sistema solo-planta-atmosfera, e, mais especificamente no desenvolvimento de práticas e técnicas que visem o desenvolvimento da agricultura irrigada em nossa região, com ênfase na melhoria da produtividade das culturas, minimização dos custos operacionais e racionalização do consumo de água e energia.

Sugere-se pelo menos três trabalhos que podem ser levados a efeito futuramente,

além do já proposto no capítulo anterior:

- Expandir o número de sensores que seriam interligados ao sistema, de modo que um controle mais preciso fosse realizado, já que encontra-se áreas de cultivo onde o solo não tem características físicas idênticas e os sistemas de irrigação muitas vezes não cobrem a área irrigada com dotações hídricas uniformes. Os sensores forneceriam informações de cada ponto, estrategicamente selecionados, de acordo com a análise do solo, e estas informações dariam entrada no sistema de medição e controle central através de um multiplexador.
- Utilizar os vários sensores referidos anteriormente, através de sistema de telemetria; a partir dos sensores ter-se-ia transmissores telemétricos e no sistema central de medição e controle, utilizar-se-ia um receptor telemétrico. Na recepção as informações dos diversos sensores seriam tratadas apropriadamente, de forma que as medições e o controle fossem realizados.
- Fazer uso de microcomputador(es) interligado(s) com os sistemas referidos anteriormente, para monitoramento e controle mais preciso das condições de campo, no que diz respeito a água disponível e temperatura; podendo-se desenvolver softwares específicos para este fim.

8.3 Considerações Finais

De acordo com o trabalho realizado no desenvolvimento deste projeto e com os resultados obtidos, pode-se afirmar com relação ao sensor de umidade que utiliza o bloco de absorção de gesso, que o mesmo é perfeitamente viável tanto técnica como economicamente.

A viabilidade técnica deve-se ao fato de que o bloco de gesso funciona como um transdutor, convertendo a umidade absorvida pelo mesmo (que tem relação direta com a umidade do solo), em resistência elétrica. A variação da resistência elétrica do sensor, como foi tratada na caracterização do mesmo, confirma experiências relatadas na literatura, de ser possível a sua utilização em medição e controle da umidade do solo ou mais especificamente, para medir e controlar a água disponível no solo, em sistemas de irrigação.

A viabilidade econômica é por demais clara, visto que o gesso é um material extremamente barato, fato que torna o custo do sensor muito baixo.

Em se tratando de implementar-se um sistema como um todo, os benefícios que o mesmo pode trazer para os possíveis usuários (levando-se em consideração que um

sistema deste tipo é perfeitamente utilizável na prática) são de inestimável valor, já que o mesmo pode ser utilizado nas seguintes áreas:

8.3.1 Agricultura Irrigada

No setor da agricultura irrigada, determinando quando necessário irrigar e aplicando só a quantidade necessária de água, fato que é de grande proveito especialmente para regiões áridas e semi-áridas onde a escassez de água é fator complicador para o desenvolvimento da irrigação.

Será utilizável em toda faixa de água disponível para as plantas, fato que não ocorre com o tensiômetro, que é o instrumento mais popularmente utilizado para medições em campo; com isto um sistema com estas características dará condições de se racionalizar a água em casos onde a disponibilidade da água para a irrigação não é suficiente para concluir o ciclo da cultura, então manterá o solo com um nível de umidade abaixo do ideal para o melhor desenvolvimento da cultura, de modo que mesmo não se conseguindo a produtividade ideal, não se perde completamente a colheita.

Outro ponto muito importante na agricultura irrigada é que pesquisas têm sido realizadas no sentido de se determinar o nível de umidade ideal para determinadas culturas, com a meta de se obter a melhor produtividade para as mesmas; o sistema proposto será capaz de proporcionar esta umidade ideal durante todo ciclo da cultura, bastando para isso controlar os níveis de umidade requeridos.

Deve-se salientar também que os custos de operação da irrigação são minimizados, visto que o sistema dispensará mão de obra, e, o consumo de energia também será racionalizado pois o sistema de irrigação só funcionará quando for realmente necessário.

8.3.2 Pesquisas Agronômicas

Um sistema que venha ser desenvolvido pode manter um controle preciso da água disponível do solo durante experimentos que visem observar o desenvolvimento de plantas no sentido de auxiliar mesmo que indiretamente, a se conseguir melhores variedades e de se conseguir o desenvolvimento ideal de culturas tradicionais, como foi referido anteriormente. Pode-se com este sistema, identificar fatores (umidade, água disponível do solo e temperatura) que podem acarretar mudanças fisiológicas nas plantas.

O tempo que um determinado solo leva desde a saturação até a capacidade de campo pode ser determinado através deste sistema; para isto basta medir o tempo decorrido entre a saturação do solo, até quando a medição atingir 100 % de água disponível.

Pode-se correlacionar o desenvolvimento das plantas com a temperatura do solo,

além das condições de umidade; isto pode ser auxiliado através deste sistema pois o sensor de umidade fornece também informações concernentes à temperatura do solo.

8.3.3 Hidrologia

Pode-se determinar os níveis de umidade do solo em camadas inferiores à superfície do solo e isto é importante em estudos hidrológicos. Verificar as condições de umidade adequadas, quando se faz análise da água do solo, em zonas de água subterrânea acima do nível hidrostático, vital no controle da poluição e proporcionar dados essenciais no relacionamento de modelos computacionais com as condições reais de campo.

8.4 Conclusão

Neste capítulo foram abordadas as considerações finais e as perspectivas para desenvolvimento de futuros trabalhos, os quais esperamos se tornem medidas práticas, contribuindo de forma decisiva para o desenvolvimento técnico-científico de uma área carente em nossa região, e, porque não dizer no nosso país. Imagina-se um vasto campo de pesquisas e realizações neste setor e espera-se que isto realmente se concretize.

Bibliografia

- [1] A.E.Klar. *A Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera*, volume 1. Livraria Nobel S.A, Brasil, 1984.
- [2] A.E.Klar, N.A.Villanova, Z.Z.Marcos, and A.Cervellini. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. In *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, pages 15–30, S.Paulo, 1966.
- [3] A.S.Sedra and K.C.Smith. *Microelectronic Circuits*, volume 1. Oxford University Press., New York, third edition, 1991.
- [4] E.A.Coleman and T.M.Hendrix. Fiberglass electrical soil moisture instrument. *Soil Science*, 1(67):425–438, 1949.
- [5] E.Buckingham. Studies of the movement of soil moisture. *U.S.Dept. of Agric.Bur. of Soils. Tech Bull*, 1(38):17, 1907.
- [6] F.J.Veihmeyer and A.H.Hendrickson. Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soils. *Soil Science*, 1(68):75–94, 1949.
- [7] G.J.Bouyoucos and A.H.Mick. An electrical resistance method for the continuous measurement of soil moisture under field conditions. *Tech.Bull.Michigan.Agric.Exp.Stn*, 1(172):18, April 1940.
- [8] G.J.Bouyoucos and A.H.Mick. Improvements in the plaster of paris absorption block electrical resistance method for measuring soil moisture under field conditions. *Tech.Bull.Michigan.Agric.Exp.Stn*, 1:455–465, December 1946.
- [9] G.J.Bouyoucos and A.H.Mick. A fabric absorption unit for continuous measurement of soil moisture in the field. *Tech.Bull.Michigan.Agric.Exp.Stn*, 1:217–232, April 1948.
- [10] H.O.Buckman and N.C.Brady. *Natureza e Propriedades dos Solos*, volume 1. McMillan, Rio de Janeiro, 1976.

- [11] H.P.Gomes. *Engenharia de Irrigação*, volume 1. Editora Universitária UFPb, Campina Grande, 1994.
- [12] J.G.Graeme. *Applications of operational amplifiers*, volume 1. McGraw-Hill., Tokio, international student edition, 1973.
- [13] J.Millman and C.C.Halkias. *Eletrônica*, volume 1. McGraw-Hill., S.Paulo, 1981.
- [14] K.Reichardt. *Processos de Transferência no Sistema Solo Planta Atmosfera*, volume 1. Fundação Cargill., Campinas, 1985.
- [15] K.Reichardt. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1(12):211-216, 1988.
- [16] L.A.Richards. Methods of measuring moisture tension. *Soil Science*, 1(68):95-112, 1949.
- [17] N. M.Resende and D.P.Santana. *Pedologia e fertilidade do solo: Interações e aplicações*, volume 1. MEC/ESAL/POTAFOS., Brasília, 1988.
- [18] M.S.T.Data. *MC68HC11 Reference Manual*, volume 1. Motorola Inc., USA, second edition, 1990.
- [19] P. M.T.Paolinelli, P.M.Oliveira and V.Leandro. Aplicação direta de fosfogêso. In *Seminário sobre o uso do fosfogêso na agricultura-Anais Embrapa*, pages 197-207, Brasilia, 1986. Embrapa.
- [20] N.E.Edfelsen and A.B.C.Anderson. Thermodynamics of soil moisture. *Hilgardia*, 1(15):31-298, 1943.
- [21] O.A.Ohlweiler. *Fundamentos de Análise Instrumental*, volume 1. Livros Técnicos e Científicos Editora SA., Rio de Janeiro, 1981.
- [22] R.J.Hanks. *Applied Soil Physics- Soil water and temperature applications*, volume 1. Springer-Verlag, USA, second edition, 1992.
- [23] R.J.Miller, R.B.Smith, and J.W.Biggar. Soil water content: microwave oven method. *Soil Science Society American*, 1(38):535-537, 1974.
- [24] R.K.Schofield. The pf of the water in the soil. In *International Congress of Soil Science*, page 3, Oxford, 1935.

- [25] J. R.N.Shreve. *Indústrias de Processos Químicos*, volume 1. Editora Guanabara Dois., Rio de Janeiro, 1977.
- [26] R.R.Alfonsi. Estimativa da temperatura média diária do solo através das observações convencionais em posto meteorológico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 5(1):150-152, 1981.
- [27] S.L.Rawlins. *Measurement of water content and the state of water in the soils*, volume 1. Academic Press, New York, water deficits and plant growth edition, 1976.
- [28] T.M.Inc. *Matlab - High performance numeric computation and visualization software*, volume User's Guide. The Mathworks Inc, USA, 1994.
- [29] W.Gardner. The capillary potential and its relation to soil moisture constants. *Soil Science*, 1(10):357-359, 1920.