

ROGÉRIO DA COSTA

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE ÁGUA MAGNÉTICAMENTE CONDICIONADA  
PARA FINS DE IRRIGAÇÃO EM FLORICULTURA DE LARGA ESCALA

Dissertação apresentada a Escola de Engenharia Mauá  
do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia  
para obtenção do título de Mestre em Engenharia de  
Processos Químicos e Bioquímicos

Linha de pesquisa: Projeto de Processos Químicos

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Jermolovicius

São Caetano do Sul  
2006

Costa da, Rogério

Estudo da aplicação de água magneticamente condicionada para fins de irrigação em floricultura de larga escala / Rogério da Costa. —São Caetano do Sul, SP : CEUN-EEM, 2006.

p. 139

Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia – Linha de pesquisa:

Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, São Caetano do Sul, SP, 2006.

Orientador: Luiz Alberto Jermolovicius

1. Condicionamento magnético - água I. 2.

Condicionamento magnético – irrigação II. 3.

Condicionamento magnético – vegetais III - Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Escola de Engenharia

Mauá. IV. Título.



Dedico este trabalho a toda minha família  
principalmente a minha mãe Maria dos Anjos  
por tudo o que sou e por ter fé...

Agradeço à Professora Dra. Vera Belova (*in memoriam*) pelos artigos, ensinamentos e detalhes sobre magnetismo.

Agradeço ao Prof. Joaquim Frommer (*in memoriam*) pelo material fornecido e pela a técnica.

Agradeço ao meu Avô Francisco Morgado (*in memoriam*) por me ensinar a não ter medo do novo e do estranho.



## AGRADECIMENTOS

*Agradeço ao Sr. Luis Henrique Reijers - **GRUPO REIJERS** (Sítio Dallas) por todo os materiais, suporte e fornecimento das instalações .*

*Agradeço ao Sr. Luis Henrique Bussab – **Hidrolink Sistemas Hidráulicos Ltda** – pelo fornecimento dos materiais magnéticos .*

*Agradeço a Sra. Elisabeth Ruiz – **Scaltech Ltda** – pelo fornecimento dos materiais magnéticos .*

*Agradeço a Sra Emilia Hemura - **Global Mag** – pelo fornecimento dos equipamentos de medição .*

*Agradeço aos Srs. Luis , Washington e Marcelo (Grupo Reijers) pelo acompanhamento e suporte do estudo.*



*Agradeço ao Prof. Dr. Luiz Alberto Jermolovicius por toda a orientação e por confiar e ampliar minha capacidade.*

*Agradeço ao amigo Wanderley da Costa pelas idéias, pelo apoio e pelas conversas sobre o assunto.*

## RESUMO

O condicionamento magnético da água é uma técnica de tratamento de água, onde ela é submetida a um campo magnético antes da sua aplicação.

O enfoque do presente trabalho concentra-se no condicionamento de água para uso em fertirrigação de cultivares de rosa sp. Consiste na comparação de dois universos com as mesmas características de variedade de rosas, substrato de cultivo, solução de irrigação, condições climáticas e de cultivo. A única diferença foi o fato de uma metade da população estudada foi tratada com solução nutriente magneticamente condicionada, enquanto que a outra sem este tratamento.

Os resultados obtidos permitem aceitar com alto nível de confiança estatística que o universo tratado com água condicionada magneticamente apresentou maior produtividade e melhor qualidade das rosas.

Palavras-chave: Condicionamento magnético da água. Irrigação. Crescimento de vegetais.

## **ABSTRACT**

The focus of this dissertation is to evaluate the magnetic conditioning of a nutrient solution used in irrigation of greenhouses for the growing of roses. This technology consists in exposing the nutrient solution to a magnetic field before its application.

The fulfillments between two universes of greenhouses were compared; both with the same subtract, nutrient solution, weather and cultivation conditions, but only one of them with nutrient solution magnetically treated.

The results allow us to accept with high level of confidence that the magnetic treatment applied to the nutrient solution induces a higher productivity and a better quality of the produced roses.

Word-key: Magnetic conditioning of the water. Irrigation. Growth of vegetables.

## SUMÁRIO

<b>Resumo .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>7</b>
<b>I - Lista de figuras .....</b>	<b>11</b>
<b>II - Lista de tabelas .....</b>	<b>14</b>
<b>III - Lista de símbolos .....</b>	<b>15</b>
 <b>1- Introdução .....</b>	 <b>17</b>
 <b>2- Floricultura no Brasil .....</b>	 <b>20</b>
2.1 - Panorama geral.....	20
2.2 - Regiões produtoras.....	22
2.3 - Rosas no Brasil.....	25
2.4 - A cultura da rosa.....	26
 <b>3 – Estrutura e propriedades da água.....</b>	 <b>29</b>
 <b>4 - Fisiologia vegetal.....</b>	 <b>33</b>
4.1 - Estrutura geral.....	33
4.1.1 – Fisiologia estomática.....	36
4.1.2 – Células guarda.....	37
4.2 - Água e célula vegetal – Transporte de água e solutos.....	39
4.2.1 – O movimento da água do solo para o xilema da raiz.....	42
4.2.2 – O movimento radial radicular da água.....	44
4.2.3 – O movimento ascensional da água.....	46
4.2.4 – Características do xilema.....	46
4.2.5 – A teoria da coesão – tensão para ascensão da água.....	48
4.2.6 – A teoria da pressão radicular.....	52
4.2.7 – Conceito de movimento contínuo solo-planta-água-atmosfera (SPAC).....	53
4.2.8 – A condução extrafascicular da água.....	57
4.3 - Nutrição vegetal – Nutrição mineral.....	59
4.3.1 – Deficiências minerais o funcionamento e metabolismo vegetal.....	60
4.3.2 – Solo, raízes e microorganismos.....	66
 <b>5 - Magnetismo.....</b>	 <b>68</b>
5.1 - Momento de dipolo magnético orbital.....	72
5.2 – Momento magnético intrínseco.....	73

5.3 – Momento magnético atômico.....	73
5.4 – Diamagnetismo.....	75
5.5 – Paramagnetismo.....	75
5.6 – Magnetização espontânea.....	76
5.7 – Fontes de campo magnético.....	76
5.7.1 – Espira circular.....	77
5.7.2 – Bobina chata.....	78
5.7.3 – Solenóide.....	79
5.8 – Campo magnético.....	80
5.9 – Campo magnético uniforme.....	82
5.10 – Eletroímã.....	82
5.11 – Indução eletromagnética.....	83
5.12 – Correntes induzidas.....	85
<b>6 - Sistema de cultura hidropônico .....</b>	<b>87</b>
6.1 – Irrigação.....	89
6.1.1 – Sistemas de irrigação.....	90
6.1.2 – Problemas das águas de irrigação .....	91
6.1.3 – Manutenção em sistemas de irrigação .....	94
<b>7 – Materiais e Métodos.....</b>	<b>96</b>
7.1 – Estufa de cultivo.....	97
7.2 – Rua de cultivo.....	99
7.3 – Substrato de plantio.....	101
7.4 – Plantio e colheita.....	103
7.5 - Condicionamento magnético da solução de irrigação.....	105
7.6 – Parâmetros e métodos de controle .....	111
7.6.1 – Desenvolvimento de vegetais – captação e tratamento de dados.....	111
7.6.2 – Parâmetros de controle .....	112
7.7 - Métodos estatísticos.....	118
<b>8 – Resultados Gerais.....</b>	<b>119</b>
8.1 – Dimensões da rosas e produtividade.....	119
8.1.1 – Produtividade .....	120
8.1.2 - Comprimento de haste .....	121
8.1.3 - Espessura de haste .....	121
8.1.4 - Comprimento de botão .....	122
8.1.5 - Largura de botão .....	122
8.1.6- Comprimento de folha.....	123
8.1.7 - Largura de folha .....	123
8.2 – Medições da solução de irrigação.....	124

8.2.1 - pH da solução de irrigação .....	124
8.2.2 - Condutividade da solução de irrigação .....	125
8.2.3 - Temperatura da solução de irrigação .....	125
8.3 - Observações gerais.....	126
8.3.1 – Sistema de irrigação .....	126
8.3.2 - Sistema radicular da roseira.....	128
<b>9 - Análise de resultados.....</b>	<b>129</b>
9.1 – Dimensões da rosa e produção.....	129
9.2 – Água de irrigação.....	130
<b>10 - Conclusão.....</b>	<b>131</b>
<b>11 - Referências bibliográficas .....</b>	<b>132</b>

## I – LISTA DE FIGURAS:

Cap. 2	- Figura 1 – Foto de rosa sp. – detalhe de botão.....	27
Cap. 2	- Figura 2 – Foto rosa sp. completa.....	28
Cap. 3	- Figura 3 – Diagrama da molécula de água.....	29
Cap. 3	- Figura 4 – Ligações de hidrogênio entre moléculas de água.....	30
Cap. 3.1	- Figura 5 – Demonstração esquemática de tensão superficial.....	32
Cap. 4	- Figura 6 – Visão geral de uma célula vegetal.....	35
Cap. 4	- Figura 7 – Concepção tridimensional de uma célula vegetal.....	36
Cap. 4.1	- Figura 8 - Estomas.....	37
Cap. 4.1.1	- Figura 9 – Célula guarda.....	38
Cap. 4.1.1	- Figura 10 – Deformação da célula guarda.....	38
Cap. 4.2	- Figura 11 – Água em solos – saturados e arejados.....	40
Cap. 4.2	- Figura 12 – Membranas celular .....	41
Cap. 4.2.1	- Figura 13 – Pelos radiculares.....	43
Cap. 4.2.2	- Figura 14 – Raiz primária.....	44
Cap. 4.2.4	- Figura 15 – Traqueídeos e traquéias.....	47
Cap. 4.2.5	- Figura 16 – Bolhas de ar no xilema.....	51
Cap. 4.2.6	- Figura 17 – Representação de pressão radicular .....	53
Cap. 4.2.7	- Figura 18 – Representação de resistência hidráulica.....	55
Cap. 4.2.7	- Figura 19 – Representação de potencial hídrico.....	56
Cap. 4.2.8	- Figura 20 – Vias para o movimento da água em tecidos vegetais.....	58
Cap. 5	- Figura 21 – Relação entre pólos magnéticos e geográficos.....	69
Cap. 5	- Figura 22 – Representação esquemática de campo magnético.....	70
Cap. 5	- Figura 23 – Linhas de campo magnético.....	71
Cap. 5.7.1	- Figura 24 – Espira circular.....	77
Cap. 5.7.2	- Figura 25 – Bobina chata.....	78
Cap. 5.7.3	- Figura 26 – Solenóide.....	79

Cap. 5.7.3 - Figura 27 – Linhas de campo de um solenóide.....	79
Cap. 5.8 - Figura 28 – Campo magnético de uma espira.....	80
Cap. 5.8 - Figura 29 – Campo magnético de um ímã fixo.....	80
Cap. 5.8 - Figura 30 – Campos magnéticos distribuídos em um material.....	81
Cap. 5.8 - Figura 31 – Campos magnéticos distribuídos e alinhados.....	81
Cap. 5.9 - Figura 32 – Campo magnético em um solenóide.....	82
Cap. 5.10 - Figura 33 – Eletroímã.....	83
Cap. 5.11 - Figura 34 – Indução eletromagnética – objetos planos.....	83
Cap. 5.11 - Figura 35 - Indução eletromagnética – objetos irregulares.....	84
Cap. 6.3.1 – Figura 36 – Foto de incrustação em tubulação plástica de irrigação....	95
Cap. 7.1 – Figura 37 – Foto do detalhe da estrutura de uma estufa de cultivo.....	97
Cap. 7.1 – Figura 38 – Foto do teto de estufa com cortina térmica .....	98
Cap. 7.1 - Figura 39 – Foto do detalhe do sistema de circulação de ar de uma estufa de cultura.....	99
Cap. 7.2 - Figura 40 – Esquema de uma rua de cultivo.....	100
Cap. 7.2 - Figura 41 – Foto de ruas de cultivo - fase inicial de produção .....	100
Cap. 7.2 - Figura 42 - Foto de rua de cultivo – detalhe mangueira de retorno....	101
Cap. 7.3 - Figura 43 – Foto da pré mistura do substrato de plantio.....	102
Cap. 7.3 - Figura 44 – Foto da mistura final – substrato de cultivo.....	102
Cap. 7.4 - Figura 45 – Foto da estufa em fase inicial de manejo de mudas.....	103
Cap. 7.4 - Figura 46 – Foto da estufa em estágio de alta produtividade.....	104
Cap. 6.5 - Figura 47– Esquema de uma estufa de cultivo – solução condicionada magneticamente.....	106
Cap. 6.5 - Figura 48 – Esquema de uma estufa de cultivo – solução usual .....	107
Cap. 7.5 - Figura 49 – Foto da válvula de controle de irrigação.....	108
Cap. 7.5 - Figura 50 - Foto da montagem do condicionador magnético.....	109
Cap. 7.5 - Figura 51– Foto da montagem do reservatório (secundário) de solução da célula condicionada.....	110



Cap. 7.6	- Figura 52 - Foto da Primeira quinta folha.....	113
Cap. 7.6	- Figura 53 – Foto da medição da espessura de haste.....	114
Cap. 7.6	- Figura 54 – Foto da medição do comprimento de haste.....	114
Cap. 7.6	- Figura 55 – Foto da medição da largura do botão.....	115
Cap. 7.6	- Figura 56 – Foto da medição do comprimento do botão.....	115
Cap. 7.6	- Figura 57 – Foto da medição do comprimento da folha .....	116
Cap. 7.6	- Figura 58 – Foto da medição da largura da folha.....	116
Cap. 8.1.1	- Figura 59 – Gráfico da Produtividade – haste colhidas.....	120
Cap. 8.1.2	- Figura 60 - Gráfico do Comprimento de haste.....	121
Cap. 8.1.3	- Figura 61 - Gráfico da Espessura de haste.....	121
Cap. 8.1.4	- Figura 62 – Gráfico do Comprimento de botão.....	122
Cap. 8.1.5	- Figura 63 - Gráfico da Largura de botão.....	122
Cap. 8.1.6	- Figura 64 – Gráfico do Comprimento de folha .....	123
Cap. 8.1.7	- Figura 65 – Gráfico da Largura de folha.....	123
Cap. 8.2.1	- Figura 66 – Gráfico do pH da água de irrigação.....	124
Cap. 8.2.2	- Figura 67 – Gráfico da Condutividade de água $\mu\text{S}/\text{cm}$ .....	125
Cap. 8.2.3	- Figura 68 – Gráfico da Temperatura de água de irrigação.....	125
Cap. 6.6	- Figura 69 – Foto da tubulação de irrigação – incrustada.....	127
Cap. 6.6	- Figura 70 – Foto da tubulação de irrigação – desincrustada.....	127
Cap. 6.6	- Figura 71 – Foto da comparação entre as raízes .....	128

#### IV – LISTA DE TABELAS:

Cap. 3 –	Tabela 1 – Ponto de fusão da água e de outros hidretos de massa atômica .....	29
Cap. 3 –	Tabela 2 - Propriedades físicas da água pura.....	30
Cap. 6.1 –	Tabela 3 - Composição de uma solução de Hoagland.....	88
Cap. 6.2 –	Tabela 4 - Parâmetros de água para sistemas de irrigação.....	92
Cap. 8.1 -	Tabela 5 - Médias de produtividade e dimensões das rosas.....	119
Cap. 8.2 -	Tabela 6 - Médias de medições da solução de irrigação.....	124
Cap. 9.1 -	Tabela 7 - Resultados gerais / finais – produtividade e dimensões das rosas.....	130
Cap. 9.1 -	Tabela 8 - Resultados gerais / finais – medições da solução de irrigação.....	130

## V – LISTAS DE SIMBOLOS E ABREVIACÖES

$A$	peso atômico	[kg/mol]
$ac$	campo magnético aplicado (dinâmico)	[A/m]
$A_{er}$	campo eletromagnético da radiação	[Hz]
$B$	indução magnética	[A/m]
$c$	velocidade da luz	[m/s]
$dc$	campo magnético aplicado (estático)	[A/m]
$e$	carga do elétron	[coulombs]
$E$	energia potencial	[J]
$F$	força	[kgm/s <sup>2</sup> ]
$g$	fator de Lande	---
$H$	intensidade campo magnético (força magnetizante)	[A/m]
$H_H$	intensidade campo magnético (Hamiltoniano)	[A/m]
$H_J$	intensidade campo magnético (quantizado)	[A/m]
$H_W$	intensidade campo magnético interno	[A/m]
$J$	momento angular atômico	---
$J_{ij}$	integral de troca	---
$k$	constante	$3,6 \cdot 10^{14}$ [A/m.s]
$l$	comprimento	[m]
$l_e$	corrente que passa pelas espiras	[A]
$L_j$	momento angular total de uma única molécula	---
$M$	magnetização	[A/m]
$m, m_1, m_2$	pólos magnéticos	---
$m_e$	massa do elétron	[g]
$M_{SAT}$	magnetização de saturação	[A/m]
$N_o$	número de Avogrado	[mol <sup>-1</sup> ]
$r$	raio do elemento	[cm]
$S_i$ e $S_j$	estado atômico e estado molecular	---
$T$	temperatura	[K]
$\Gamma$	torque	[N m]
$T_C$	temperatura crítica	[K]
$V$	volume	[m <sup>3</sup> ]
$Z$	número atômico	[u.m.a]
$\chi$	susceptibilidade magnética	---
$\chi_{ac}$	susceptibilidade magnética dinâmica	---
$\chi_{CW}$	susceptibilidade magnética de Curie-Weiss	---
$\chi_{dc}$	susceptibilidade magnética estática	---
$\chi_P$	susceptibilidade paramagnética	---
$\Delta H$	variação da entalpia	[kcal/mol]

$\varepsilon$	constante dielétrica	[K]
$\eta$	densidade linear de espiras	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\lambda$	interação de cada momento magnético atômico	---
$\rho$	peso específico do elemento	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu$	momentos magnéticos	[H/m]
$\mu_B$	magnétons de Bohr	[A/m <sup>2</sup> ]
$\mu_J$	momentos magnéticos atômicos ou moleculares	[H/m]
$\mu_i$	momentos magnéticos nucleares	[H/m]
$\mu_o$	permeabilidade no vácuo	[henry/m]
$\mu_p$	permeabilidade magnética	[henry/m]
$\Sigma\mu_i$	soma de todos os momentos magnéticos	[H/m]

## 1 - INTRODUÇÃO

A água é uma das substâncias mais comuns e mais importantes na superfície da Terra. Foi nela que a vida evoluiu e é nela que se processam os principais processos bioquímicos (Taiz e Zeiger, 1998). Os tecidos moles das plantas são constituídos de uma fração de água de 90% a 95%. Apesar de terem de garantir uma porcentagem tão elevada de água em seus corpos, as plantas não podem se deslocar em busca deste suprimento (Steudle, 2001).

A água tem um papel fundamental, sendo ela, em resumo, responsável pela hidratação e pelo transporte de sais minerais importantes para o crescimento e a manutenção dos vegetais (Steudle, 2001). A importância da água para a vida provém das suas características físicas e químicas, que por sua vez resultam da sua estrutura molecular (Costa, 2001).

Muitas são as tecnologias envolvidas em sistemas de irrigação e cultivo na agricultura de larga escala. Entre elas está o tratamento químico do solo (adição de adubos e fertilizantes), tecnologia esta que dispõe sais minerais e nutrientes no solo ou que apenas corrige suas concentrações e que demanda uma quantidade enorme de recursos (maquinário, agroquímicos). Estes recursos são necessários para que se atinja uma alta produção. Por outro lado, outras pesquisas foram desenvolvidas considerando tecnologias alternativas para melhorar o rendimento e o crescimento de culturas vegetais, como o condicionamento magnético de água (Sala, 1999).

As primeiras pesquisas com aplicação de campos magnéticos na água tiveram início em Israel e Rússia, com estudos iniciados nos anos 80 abrangendo tanto a irrigação de vegetais como nutrição animal.

(Lin e Yotvat, 1990) relataram surpreendentes resultados obtidos em algumas fazendas de Israel, com diversos animais – bois, cabras, ovelhas, galinhas, gansos e perus – e plantio de vegetais e frutas. Em geral, os animais tratados com água exposta a um campo magnético apresentam uma melhora nas condições gerais e um aumento em sua produtividade específica. Por exemplo um grupo de bezerros tratados com água exposta ao campo magnético teve um aumento de 12% no crescimento em relação ao grupo de controle. Um outro grupo de bezerros machos, além do ganho de peso, continha 30 a 40kg a menos de gordura em suas carnes após 10 a 12 meses, em relação ao grupo de controle. Os gansos tratados com água exposta ao campo

magnético tiveram um maior aumento de peso diário em relação aos tratados com a água sem esta exposição. As ovelhas apresentaram aumentos consideráveis na produção de leite, carne e lã. As frutas, de um modo geral, tiveram um aumento no tamanho quando irrigadas com água condicionada magneticamente. Devido aos excelentes resultados obtidos, foram implantados mais de 270 unidades de condicionamento magnético de água nas fazendas locais (Lin e Yotvat, 1990, 1990a).

Estudos conduzidos por (Harari e Lin, 1989) no crescimento de melões mostram que o tamanho, o número de frutas e o conteúdo de açúcar nos melões irrigados com água condicionada magneticamente foram significativamente maiores do que aqueles irrigados com água (sem condicionamento magnético). (Levy et al., 1990); também demonstraram que nutrindo bezerros machos com água condicionada magneticamente resulta em carnes com menos gordura e maior retenção de nitrogênio. Os testes foram realizados em sete grupos diferentes de bezerros com resultados bastante significativos.

(Porto, 1998) também realizou alguns experimentos na área da biologia utilizando água condicionada em campos magnéticos. Os campos magnéticos são obtidos por meio de ímãs fixos com valores nominais variando entre 0,005T e 0,045T (Tesla). A água é deixada por algumas horas dentro de um recipiente de vidro colocado sob um dos pólos do ímã. Posteriormente, esta água condicionada magneticamente é utilizada para germinação e irrigação de sementes de trigo em escala de bancada. Os resultados são comparados com lotes padrão, sob as mesmas condições experimentais, tratados com água comum (sem tratamento magnético). Observa-se que as sementes tratadas com a água exposta ao campo magnético absorvem maior quantidade de água (maior entumescimento dos grãos), há um aumento da quantidade de sementes germinadas (superior a 80%) e a planta tem um maior crescimento em relação ao lote padrão. Entretanto, as condições experimentais relacionadas a intensidade do campo, tempo de exposição ao mesmo, entre outras, parecem ser muito críticas.

Os resultados obtidos em plantações de Israel usando o condicionamento magnético da água para irrigação se mostraram positivos e contribuíram efetivamente para o aumento de produção e crescimento de diversas culturas, implicando um aumento de produtividade ou diminuição no número de intervenções químicas no solo por fertilização, pois tal tratamento melhora o aproveitamento dos fertilizantes (Lin e Yotvat, 1990).

O presente estudo tem como finalidade contribuir para o conhecimento da aplicação do

condicionamento magnético da água em cultivares de regiões tropicais, visando confirmar as informações da literatura sobre o efeito desta tecnologia inovadora. Para tanto foi realizado um estudo comparativo da produção de rosas (*rosa* sp.) entre dois sistemas, um com irrigação usando água condicionada magneticamente e outro usando água sem condicionamento.

## **2 – FLORICULTURA NO BRASIL**

### **2.1- PANORAMA GERAL**

A floricultura, em seu amplo sentido, abrange o cultivo de flores e plantas ornamentais com variados fins, que incluem desde as culturas de flores para o corte até a produção de mudas arbóreas.

Segundo o IBRAFLOR (Instituto Brasileiro de Floricultura, 2001), a área total da produção de flores e plantas ornamentais no Brasil chegou a 4.850 ha em 1999. Segundo o referido Instituto, essa produção ocorre, com expressão econômica, principalmente nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e do Rio de Janeiro, que responderam por cerca de 75% da produção nacional em 1999.

O comércio intercontinental de flores e plantas ornamentais tem crescido significativamente nas últimas décadas, tendo como maiores consumidores mundiais os Estados Unidos da América, o Japão e os países da Comunidade Européia. Coincidentemente, a maioria destes países se encontra em regiões de clima temperado ou no Mediterrâneo. A expansão da floricultura se deve, em grande parte, à diminuição das barreiras tecnológicas e políticas, ao melhoramento da infra-estrutura e ao reconhecimento, por parte de muitos países em desenvolvimento, do valor comercial das flores e plantas ornamentais. Por sua vez, os países produtores de flores na maioria, estão localizados em regiões de clima tropical, onde muitas plantas exóticas são nativas. Essas plantas exercem grande atração e interesse sobre os consumidores exigentes e de alto poder aquisitivo dos países ricos. Na América do Sul, a Colômbia é o país que mais exporta flores tropicais, principalmente para os EUA, e apresenta penetração paulatina no Japão, cujo maior fornecedor de plantas tropicais, atualmente, é a Tailândia. A Europa, por sua vez tem como maiores fornecedores de flores e plantas ornamentais tropicais a Colômbia, a Costa Rica, o Quênia, as Ilhas Canárias e a Tailândia (Gorsel, 1994).

O Brasil é um país promissor para a expansão da floricultura, pois há uma diversificação de climas e solos, o que permite a implantação de diversas culturas, o que não acontece, por exemplo, em países da Europa, onde o inverno é rigoroso, o que exige a utilização de estufas climatizadas encerrando o produto final. As espécies de flores exóticas tipicamente tropicais são cobiçadas pelo mercado externo e aqui podem ser cultivadas com maior facilidade e menor custo. Sendo um país em desenvolvimento, ainda contamos com uma grande disponibilidade de mão-de-obra que emprega inclusive mulheres e



adolescentes, o que contribui para a fixação do homem no meio rural (Castro, 1992). A floricultura nacional tem como desafios para entrar no mercado mundial competitivo o emprego de tecnologias avançadas, conhecimentos e capacitação específica e profissionalismo gerencial e comercial (FRUPEX, 1994).

De modo geral, a comercialização e distribuição de flores e plantas ornamentais ocorrem através de centrais de comercialização. Segundo (Castro, 1998), existem centrais onde somente entram produtos dos próprios produtores, como é o caso do Veiling Holambra e do MERCAFLOR-SC (Mercado do Profissional da Floricultura e do Paisagismo); existem aquelas onde entram produtos de produtores e atacadistas, como a CEAGESP-SP e a CEASA-Campinas (Central de Abastecimento S/A); e, ainda, aquelas onde somente se comercializam produtos de atacadistas, como o CADEG-Rio de Janeiro (Companhia de Abastecimento do Estado da Guanabara) e a CEASA-Porto Alegre.

(Arruda et al., 1996) ao comentarem sobre o mercado de flores da CEAGESP-SP, localizado na cidade de São Paulo, destacaram que tal entreposto concentra a produção de várias regiões, facilitando a atividade dos compradores. Porém, a falta de padrão de classificação e o longo período de comercialização prejudicam a aparência dos produtos, atributo essencial no comércio de flores. As espécies de flores e plantas ornamentais cultivadas no Brasil são bastante diversificadas e até contempla a introdução de novas espécies principalmente japonesas e européias .

Em pesquisa realizada pelo IBRAFLOR em 1995, publicada por (Arruda et al. ,1996), constatou-se que 53% da comercialização de flores no Brasil é realizada pelo CEAGESP-SP e CEASA-Campinas.

Quanto ao consumo, vários autores têm ressaltado que o Brasil apresenta uma demanda sazonal por flores e plantas ornamentais. Segundo (Almeida e Aki, 1995), a orientação da produção concentra-se nas épocas de maior demanda, como Dia das Mães, Finados e Natal. (Claro, 1998) complementou que, atualmente, outras datas foram inseridas no calendário: Dia Internacional da Mulher, Dia dos Namorados, Dia das Avós, Dia dos Pais, etc.

Outro fato interessante é que existe aumento no consumo de flores e plantas ornamentais no Brasil, visto que foi observado uma média de despesas de US\$ 4,00 *per capita* com flores em 1994, enquanto esse valor médio chegou a US\$ 7,00 *per capita* em 1998, de acordo com (Castro,1998).

Os produtores de rosas acreditam que a demanda por flores no mundo, nos próximos anos, tende a aumentar e que a produção crescerá mais rapidamente que o consumo, o que perpetuaria uma competição por melhores preços, e acreditam também que a demanda dos consumidores por flores e plantas ornamentais sempre irá exceder a produção e que o mercado por esses produtos terá uma expansão cada vez mais rápida à medida que forem incorporados métodos mais eficientes de *marketing*.

De acordo com trabalho realizado por (Gatti, 1988), a oferta com comportamento mais regular de produtos no transcorrer do ano é objetivo importante não apenas para os consumidores, mas também para os produtores. No caso dos consumidores, a oferta regular, eliminando os períodos de escassez dos produtos, resultaria em preços mais acessíveis, com menor amplitude de variação. No caso dos produtores, a oferta regular em vez da busca de preços elevados na entressafra resultaria em preços e renda mais estáveis.

O mercado de produtos agrícolas caracteriza-se por apresentar maior grau de sensibilidade no que se refere às oscilações de preços comparativamente ao mercado de bens industriais. Isso se deve às características intrínsecas que regem as condições de produção do mercado agrícola, as quais não somente proporcionam elevado grau de instabilidade, como também grande amplitude de variação nos preços de seus produtos.

A sazonalidade da produção e demanda de flores dificulta a comercialização. Uma solução de caráter técnico seria a implantação de estufas climatizadas para viabilizar uma produção contínua, de forma a uniformizar a oferta de produto, que, como resultado, refletiria em uma demanda permanente de mercado.

(Pino et al., 1994) ressaltaram que a sazonalidade de mercado de flores resulta de duas causas: a existência das estações do ano; e as comemorações especiais ao longo do calendário. Estas últimas se devem a fatores culturais, podendo afetar variáveis como a demanda por flores específicas em determinadas épocas do ano.

## 2.2- REGIÕES PRODUTORAS

A localização da produção e dos centros de comercialização é fator importante nesta atividade agrícola. Algo em torno de 90% da produção e do consumo de flores e plantas ornamentais acontece em um raio de 500 km entre eles, dado que os custos de transporte e distribuição de produtos altamente perecíveis como esses limitam as distâncias para

comercialização. Para a produção destinada à exportação faz-se necessário o uso de acondicionamento e transporte refrigerado.

O cultivo de flores e plantas ornamentais em escala comercial no Brasil foi iniciado pela colônia portuguesa, e manteve-se inexpressivo até meados de 1950. A atividade começou a se destacar com os novos fluxos migratórios de japoneses, holandeses, alemães e italianos. A fundação da Cooperativa Agropecuária Holambra, por imigrantes holandeses, foi decisiva para o desenvolvimento organizado da floricultura no Brasil. Em 1969 foi inaugurado o Mercado de Flores na Companhia de Entrepósitos no CEAGESP, na cidade de São Paulo, que continua sendo o maior terminal de distribuição de flores, plantas ornamentais, mudas e acessórios de floricultura do país. Em 1991 foi aberto o Veiling, na Cooperativa Agropecuária Holambra, que consiste em um sistema de comercialização moderno e transparente que contribui para o desenvolvimento da floricultura brasileira. Em 1995 foi inaugurado o Mercado Permanente de Flores no Ceasa de Campinas. Nesse mesmo ano começou também a funcionar o Mercado Livre do Produtor de Flores, no Ceasa de Belo Horizonte, atendendo a região Centro-Oeste, que, até então tinha que se abastecer em São Paulo.

Os estados produtores de plantas ornamentais, em ordem crescente são: São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Pernambuco. Paraná e Goiás. Em São Paulo, a maioria dos produtores se encontra em regiões próximas a capital, mas aos poucos, agricultores de cidades distantes também iniciaram atividades neste ramo.

As espécies de flores e plantas ornamentais cultivadas no Brasil são bastante diversificadas, compreendendo principalmente rosas, crisântemos, gipsofilas, gladiolos, lírios, estrelicias, boca-de-leão e outras. Apesar da introdução de novas espécies, principalmente européias e japonesas (em decorrência da origem dos produtores que são, na maioria descendentes de holandeses e japoneses), as flores tropicais brasileiras estão recebendo atenção cada vez maior, pois representam um produto exótico, de interesse para os países da Europa, América do Norte e Japão.

As pesquisas na área da floricultura realizaram-se em grande parte, no estado de São Paulo em alguns institutos de pesquisa e universidades. Nos outros estados as pesquisas se restringem quase que totalmente às universidades. Dentro da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo destacam-se o Instituto Agrônomo de Campinas e o Instituto

Biológico, onde são desenvolvidas pesquisas nas áreas de introdução, seleção e melhoramento vegetal, técnicas culturais, fisiologia vegetal, tecnologia pós-colheita, utilização de plantas ornamentais em paisagismo e fitossanidade. O instituto de Botânica se dedica ao estudo de espécies nativas com potencial ornamental, com destaque para as orquídeas, além de espécies das famílias das Gesneriáceas, Cactáceas, Palmáceas, Bromeliáceas, Aráceas, Amarilidáceas e outras.

A disciplina Floricultura foi incluída no currículo como disciplina optativa das Faculdades de Agronomia do país, desde 1986, por meio de Portaria do Ministério da Educação. As seguintes universidades oferecem disciplinas e cursos de pós-graduação: USP - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; UNESP - Campus de Jaboticabal; UNESP Campus de Botucatu; Universidade de Campinas - UNICAMP e Universidade Federal de Viçosa.

Em 1992 foi criada a Câmara Setorial de Flores e Plantas Ornamentais pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento de São Paulo, reunindo as iniciativas privadas, representantes das instituições oficiais de ensino e pesquisa e representantes de agências financeiras. A Câmara Setorial tem como função viabilizar o desenvolvimento da floricultura no estado por meio da produção, comercialização interna, exportação, pesquisa, assistência técnica, serviços e insumos. A criação de Câmaras Setoriais em outros estados esta ocorrendo aos poucos, o que possibilitara trabalhar-se de forma harmoniosa para atender-se aos interesses coletivos do Setor da Floricultura. A floricultura também foi incorporada ao FRUPEX, que passou a se denominar Programa de Apoio a Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais, ligado ao Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária.

A floricultura no Brasil tem um grande potencial para participar de forma mais intensa do mercado externo. Existem atualmente, em nosso país, mais de 5.000 produtores, espalhados pelo estado de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Pernambuco, Rio Grande do Sul e Goiás que respondem anualmente por cerca de US\$150 milhões (FRUPEX, 1994). Em 1992, a exportação chegou a US\$16 milhões (FRUPEX, 1994), ocupando o 20º lugar no mercado mundial de exportação de flores e plantas ornamentais. O crescimento anual na última década foi de 12% (Gatti, 1992). Entre 1988-1990, contribuíram para a exportação brasileira as seguintes flores e plantas ornamentais: rosas cortadas (19,1%), flores secas (19,1%), folhagens (10,2%), bulbos (8,9%), outras flores (3,0%), mudas de orquídeas (2,9%) , gladiólos (2,0%), mudas de dracenas (1,0%) e outras mudas (33,8%) (Gatti, 1992).

### 2.3 – ROSAS NO BRASIL

O cultivo de rosas ocupa lugar de especial destaque na produção de flores no Brasil. A comercialização de rosas na CEAGESP-SP, embora apresente grandes volumes mensais, diminuiu de abril de 1992 a outubro de 1999. Em se tratando do comportamento dos preços praticados mensalmente no mesmo período, observou-se aumento em valores reais.

A diminuição do movimento de venda de rosas deveu-se, em parte, à competição com outras flores de corte que surgiram no mercado ou até mesmo preferências por flores envasadas, as quais têm como características, em sua maioria, maior durabilidade e praticidade de seu uso como arranjos. Pode-se citar, particularmente na CEAGESP-SP, que, dentre suas flores e plantas ornamentais com maior demanda, houve aumento no volume comercializado de violetas, lírios, antúrios e gérbias no mesmo período. Quanto ao comportamento desses dados, percebeu-se que os preços tiveram picos em junho ou julho de cada mês, indicando um provável comportamento sazonal.

Conhecendo os picos sazonais, o produtor pode organizar sua produção de forma a intercalar os maiores picos e, nesse sentido, conseguir sincronizar os picos de comercialização, de maneira que estes ocorram várias vezes durante um ano. Aumentando os picos de comercialização durante um ano, a receita anual, conseqüentemente, crescerá e, ainda, poderá ser mais bem distribuída ao longo do ano. Lucros mais altos e mais regulares significam segurança para o produtor, além de contribuírem para melhorias no sistema de produção, gerando benefícios como: maior regularidade de mão-de-obra empregada, maior gerenciamento de riscos, melhor controle de custos e implementação de novas tecnologias.

Rosas, crisântemos e violetas são passíveis de produção induzida em estufas, e, portanto, sua oferta pode vir a se tornar mais regular se a demanda do consumidor brasileiro também aumentar sua regularidade. Além disso, o conhecimento do período, unido à disponibilidade de tecnologia, viabilizando produções mais constantes, pode ampliar os negócios do produtor, aumentando, inclusive, suas exportações. Por exemplo, a partir do conhecimento dos picos de demanda em diferentes países, podem-se intercalar ofertas tanto voltadas para o abastecimento interno quanto para as exportações.

## 2.4 – A CULTURA DA ROSA

O gênero *rosa* sp. (figura 1 e 2) tem origem na Ásia, e está disseminada pela Europa e América. Todas as roseiras (*rosa* sp), tanto as cultivadas como as silvestres são arbustos e como tais possuem caules lenhosos como as árvores; diferem delas pela falta de um caule principal (tronco ou estipe). Possuem vários caules de igual desenvolvimento. Taxonomicamente, pertence à Classe das Angiospermas, Subclasse Dicotiledônea, Ordem Rosales e Família Rosácea (Urcullu, 1953).

Por interferência humana, isto é, pela poda, é muitas vezes possível transformar um vegetal arborescente em arbustivo. Por apresentar grande facilidade de cruzamentos, possibilitando gerar híbridas, a grande aceitação e comercialização fizeram com que houvesse interesse pela realização de vários cruzamentos artificiais, obtendo-se culturas de alto valor comercial (Urcullu, 1953). No mundo, estima-se que haja em torno de 30 mil variedades de rosas, produzidas através de cruzamentos artificiais.

Os países que mais investem em pesquisas para obtenção de novas variedades são: Holanda, Alemanha, Estados Unidos e Colômbia. Estas pesquisas são patrocinadas, geralmente, por empresas privadas. Atualmente, as variedades de rosas são distinguidas principalmente pela coloração das pétalas, forma do botão, tamanho das hastes, produtividade (hastes /m<sup>2</sup>) e resistência às doenças.

Em relação à radiação solar, (Mastalerz, 1987) cita que a luminosidade em ambiente protegido é um fator limitante para a produção de rosas. Quanto maior a disponibilidade de luz, maior a fotossíntese. No entanto, quando as folhas atingem o máximo em absorção de luminosidade não há mais incremento na fotossíntese, permanecendo estável. Com isto, quanto maior o número de folhas, maior será a área foliar para realização de fotossíntese, elevando a produtividade e a qualidade das hastes de rosas.



Figura 1 : foto da rosa sp. – detalhe de botão

A faixa ótima de temperatura para a produção de rosas esta entre 17° C e 26° C. Temperaturas muito acima de 25° C aceleram florescimento, deixando as flores pequenas e de coloração pálida, enquanto que temperaturas baixas podem atrasar o crescimento e floração (Salinger, 1991).



Figura 2: foto da rosa sp. - completa

Vários estudos relacionando temperatura e radiação solar comprovaram que temperaturas abaixo de 15°C e baixa intensidade de radiação solar acarretou em diminuição de assimilados nas plantas acarretando em brotos cegos. Com isto, a planta perde sua capacidade de fornecer hastes florais de valor comercial devido à diminuição da produtividade da cultura (Moe, 1971); (Mastalerz, 1987).

Segundo alguns produtores, a umidade relativa ideal do ar para a cultura da roseira, esta entre 70 - 75%, sendo que para o período de brotação das gemas e crescimento dos brotos é aconselhável entre 80 - 90%. A permanência de alta umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido pode provocar doenças como podridão e a umidade relativa baixa do ar (60%) pode provocar distúrbios fisiológicos.



### 3 - A ESTRUTURA E AS PROPRIEDADES DA ÁGUA

A água é uma substância encontrada abundantemente na Terra podendo assumir vários estados físicos como gás, líquido e sólido. A molécula de água é composta por 2 átomos de hidrogênio e 1 de oxigênio com massa molecular próxima a 18g (figura 3). Na temperatura ambiente a água pura é um líquido transparente, incolor, insípida e inodora.

A água possui valores de tensão superficial e polaridade que lhe permitem atuar como solvente e meio de transporte de nutrientes para as células. Tais propriedades derivam primariamente da estrutura polar da molécula de água. É importante examinar como a formação de ligações de hidrogênio contribui para aquelas propriedades da água que são necessárias a vida.

A água é uma substância tão comum que suas propriedades físicas nem sempre são devidamente consideradas. Não há dúvida de que a água é líquida na temperatura ambiente, mas possui desvios se comparada com outros hidretos. Seus pontos de fusão e de ebulição quando comparados com os de outras substâncias de tamanho molecular similar (Tabela 1) destoam completamente .

Dessa comparação, torna-se evidente que a água tem pontos de fusão e congelamento elevados e apresenta uma molécula polarizada. Isto é atribuído a associação de moléculas de água através das pontes de hidrogênio (tabela 2).

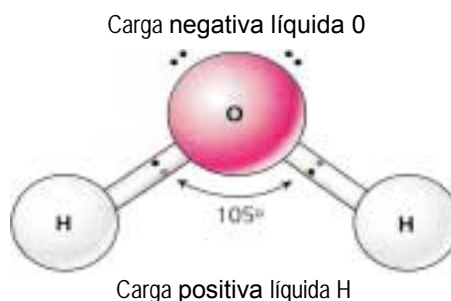


Figura 3 - Diagrama esquemático da molécula de água. As duas ligações intramoleculares hidrogênio - oxigênio formam um ângulo de 105°. As cargas parciais opostas (0- e 0+) na molécula de água levam a formação das ligações de hidrogênio com outras moléculas de água. O oxigênio tem seis elétrons nos orbitais externos; cada hidrogênio tem um. (Taiz e Zeiger, 1998).

Tabela 1 – Ponto de fusão da água e de outros hidretos de massa semelhante.

Substancia		Massa molecular	Ponto de Fusão	Ponto de Ebulição
Metano	CH <sub>3</sub>	16	-184	-161
Amônia	NH <sub>3</sub>	17	-78	-33
Água	H <sub>2</sub> O	18	0	+100
Fluoreto de hidrogênio	HF	20	- 92	+19
Sulfeto de hidrogênio	H <sub>2</sub> S	34	-86	- 61

Tabela 2 - Propriedades físicas da água pura.

Calor específico	(J.g-1)	4,18	
Calor latente de fusão	(J.g-1)	334	
Calor de vaporização	(J.g)	2462	(15°C)
		2253	(100°C)
Pressão de saturação de vapor (Pa)		1,7x10	(15°C)
Densidade	(kg dm-3)	0,9991	(15°C)
		1,0000	(4°C)
		0,9999	(0°C)
Densidade de vapor saturado	(kg dm-3)	12,85x10 <sup>-6</sup>	
Tensão superficial	(Nm-1)	7,34 x 10 <sup>-2</sup>	
Viscosidade	(Pa s - 1 )	1,0	(20°C)
Força de coesão	(Nm-2)	28 x 109	
Condutividade térmica	(Jm-1 S-1 K-1)	0,595	
Constante dielétrica		80,2	(20°C)

As duas ligações OH formam um ângulo de 105° (figura 3). Por ser mais eletronegativo que o hidrogênio, o oxigênio tende a atrair os elétrons da ligação covalente. Essa atração resulta em uma carga negativa parcial na extremidade da molécula formada pelo oxigênio e em uma carga positiva parcial em cada hidrogênio. Essa separação de cargas parciais, juntamente com a forma da *molécula* de água, torna a água uma *molécula polar*, enquanto cargas parciais opostas entre moléculas de água vizinhas tendem a atraí-las mutuamente. A fraca atração eletrostática entre moléculas de água, conhecida como ligação de hidrogênio (figura 4), é responsável por muitas das propriedades físicas incomuns da água.

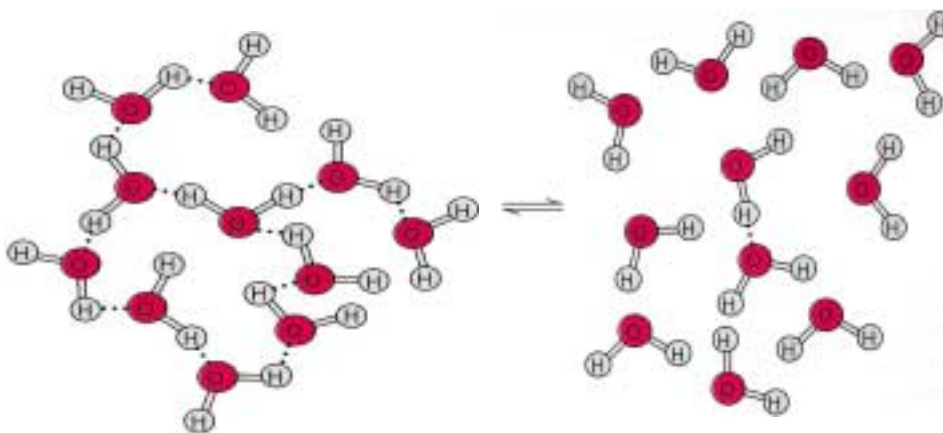


Figura 4 - As ligações de hidrogênio entre moléculas de água resultam em agregações locais de moléculas de água. Devido à agitação térmica contínua das moléculas de água, essas agregações têm vida curta; elas se quebram rapidamente, formando configurações muito mais aleatórias. (Taiz e Zeiger, 1998).

Entre a água e outras moléculas que contenham elementos eletronegativos (O ou N) também se podem formar ligações de hidrogênio. Em soluções aquosas, as ligações de hidrogênio entre moléculas de água geram agrupamentos ordenados locais de água, que, devido à agitação térmica contínua das moléculas de água, continuamente formam-se,

quebram-se e se refazem. A água é um excelente solvente: ela dissolve quantidades maiores de uma variedade mais ampla de substâncias que outros solventes correlatos. Essa versatilidade como solvente deve-se, em parte, ao pequeno tamanho da molécula de água e, em parte, a sua natureza polar.

As ligações de hidrogênio entre moléculas de água e íons e entre água e solutos polares em solução efetivamente reduzem a atração eletrostática entre substâncias carregadas e, portanto, aumentam a sua solubilidade. Além disso, as extremidades polares das moléculas de água podem orientá-las para perto de grupos carregados ou parcialmente carregados eletricamente de moléculas, formando capas de hidratação. As ligações de hidrogênio entre macromoléculas e água reduzem a interação entre as moléculas e ajudam a trazê-las para a solução.

As numerosas ligações de hidrogênio entre as moléculas de água resultam em propriedades térmicas incomuns, tais como o alto calor específico e o alto calor latente de vaporização. Calor específico é o calor necessário para aumentar a temperatura de uma substância em uma quantidade específica, em relação a outros compostos com peso molecular equivalente.

Quando a temperatura da água é aumentada, as moléculas vibram mais rapidamente e com maior amplitude. Para permitir essa movimentação, precisa ser adicionada energia ao sistema para quebrar as ligações de hidrogênio entre as moléculas de água. Assim, comparada com outros líquidos, a água requer uma adição de energia relativamente grande para aumentar a sua temperatura. Tal exigência de grande adição de energia é importante para as plantas, porque ajuda a tamponar as flutuações de temperatura.

O calor latente de vaporização é a energia necessária para separar as moléculas da fase líquida e levá-las para a fase gasosa à temperatura constante - um processo que ocorre durante a transpiração. Para água a 25 °C, o calor de vaporização é 44 kJ mol<sup>-1</sup>. A maior parte dessa energia é utilizada para quebrar as ligações de hidrogênio entre moléculas de água.

As moléculas de água na interface ar - água são mais fortemente atraídas às moléculas vizinhas que a fase gasosa em contato com a superfície da água. Conseqüência dessa atração desigual, a interface ar- água minimiza sua área superficial. Para aumentar a área de superfície de uma interface ar- água, ligações de hidrogênio precisam ser quebradas, o que requer um acréscimo de energia. A tensão superficial não apenas influencia a forma da

superfície, mas também pode gerar uma pressão sobre o restante do líquido (figura 5). A tensão superficial nas superfícies de evaporação das folhas gera as forças físicas que puxam a água pelo sistema vascular das plantas.

A grande formação de ligações de hidrogênio na água também origina a propriedade conhecida como coesão intermolecular, atração mútua entre moléculas. Uma propriedade relacionada, chamada de adesão, refere-se à atração da água a uma fase sólida, como a parede celular ou a superfície de um vidro. Coesão, adesão e tensão superficial originam um fenômeno conhecido como capilaridade, movimento da água ao longo de um tubo capilar.

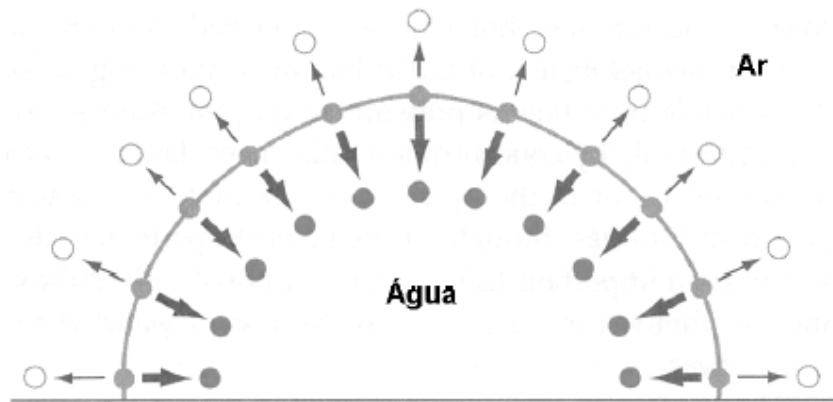


Figura 5: Demonstração esquemática da tensão de superfície. As forças de atração entre as moléculas de água adjacentes (setas mais espessas) são maiores que entre as moléculas de água e ar (setas mais finas). Esta diferença faz com que as moléculas à superfície tendam a serem puxadas para o interior da água líquida. (Hopkins, 1995).

Em um tubo capilar de vidro verticalmente orientado, o movimento ascendente de água é devido à atração da água a superfície polar do tubo de vidro (adesão) e a tensão superficial da água, que tende a minimizar a área da interface ar- água. Juntas, adesão e tensão superficial puxam as moléculas de água, fazendo com que elas subam pelo tubo até que a força de ascensão seja balanceada pelo peso da coluna de água. Quanto menor o diâmetro do tubo, maior a ascensão capilar.

A coesão proporciona à água uma grande resistência à tração, definida como a força máxima por unidade de área que uma coluna de água pode suportar antes de quebrar. Normalmente, não se pensa em líquidos como tendo força de tração; entretanto, tal propriedade deve existir para que uma coluna de água seja elevada em um tubo capilar.

## 4 – FISILOGIA VEGETAL

### 4.1 - ESTRURA GERAL

Apesar da grande diversidade em forma e tamanho, todos os vegetais realizam processos fisiológicos semelhantes. As plantas convertem a energia solar em energia química. Sendo privados de movimento, os vegetais devem crescer em direção da luz e possuir sistemas vasculares eficientes para o movimento da água, dos nutrientes minerais e dos produtos fotossintéticos por todo corpo da planta. As plantas terrestres verdes também devem apresentar mecanismos para evitar a desidratação. Os principais sistemas de órgãos vegetativos das plantas com sementes são a parte aérea e a raiz. A parte aérea consiste de dois tipos de órgãos: o caule e as folhas.

O termo célula deriva do latim *cella*, cujo significado é despensa ou câmara. Inicialmente, foi empregado na biologia em 1665, pelo botânico inglês Robert Hooke, para descrever as unidades individuais de uma estrutura do tipo favos de mel, que ele observou ao microscópio em cortiça. As "células" que Hooke observou eram, na verdade, espaços vazios de células mortas, delimitados por paredes celulares; mas a expressão é apropriada, pois as células são as unidades básicas que definem a estrutura vegetal.

A grande diversidade de tamanhos e de formas é notável no mundo vegetal. Os vegetais variam, em tamanho, de menos de 1 cm até mais do que 100 m de altura. A morfologia, ou a forma, é também surpreendentemente diversa. A primeira vista, a pequena planta lentilha d'água (*Lemna*) parece ter muito pouco em comum com o cacto gigante ou a sequóia. Mesmo assim, independente das suas adaptações específicas, todos os vegetais executam processos similares e estão baseados no mesmo plano estrutural. Os vegetais são organismos multicelulares, constituídos de milhões de células com funções especializadas. Na maturidade do vegetal, tais células podem diferir muito umas das outras quanto às suas estruturas. Entretanto, todas elas apresentam a mesma estrutura básica da organização eucariótica: possuem um núcleo, um citoplasma e organelas subcelulares, estando envoltas por uma membrana que define seus limites (figura 6). Determinadas estruturas, incluindo o núcleo, podem ser perdidas durante a maturação celular, porém todas as células vegetais iniciam com uma quantidade semelhante de organelas.

Um aspecto característico das células vegetais é que elas são delimitadas por uma parede celular celulósica. Todas as células são envolvidas por uma membrana que representa o seu limite, separando o citoplasma do ambiente externo. Essa membrana

plasmática (também chamada de plasmalema) permite que a célula absorva e retenha certas substâncias, enquanto exclui outras. Várias proteínas de transporte presentes na membrana plasmática são responsáveis pelo tráfego seletivo de solutos através da membrana. De acordo com o modelo do mosaico fluido, todas as membranas biológicas apresentam a mesma organização molecular básica. Elas consistem de uma dupla camada (*bicamada*) de fosfolipídios ou, no caso dos cloroplastos, de glicoglicerídeos, na qual proteínas estão embebidas. As proteínas são responsáveis por cerca de metade da massa da maioria das membranas. No entanto, a constituição dos componentes lipídicos e as propriedades das proteínas variam de membrana para membrana, conferindo características funcionais específicas a cada uma.

*Fosfolipídios.* Os fosfolipídios constituem uma classe de lipídios na qual dois ácidos graxos ligados ao glicerol, que, por sua vez, é unido a um grupo fosfato. Também ligado a esse grupo fosfato encontra-se um componente variável, denominado *grupo de cabeça*, como a serina, a colina, o glicerol ou o inositol. Ao contrário dos ácidos graxos, os grupos são altamente polares; conseqüentemente, as moléculas fosfolipídicas apresentam propriedades hidrofílicas e hidrofóbicas. As cadeias carbônicas não polares dos ácidos graxos formam a região que é exclusivamente hidrofóbica - ou seja, que exclui a água.

*Proteínas.* As proteínas associadas de bicamada lipídica são de três tipos: integrais, periféricas e ancoradas. As proteínas integrais são embebidas na bicamada lipídica. A maioria das proteínas integrais atravessa completamente a bicamada lipídica, de forma que uma parte da proteína interage com o meio extracelular, outra com o centro hidrofóbico e uma terceira parte interage com o interior da célula, o citosol. Aquelas que atuam como canais iônicos são sempre proteínas integrais de membrana, da mesma forma que certos receptores que participam nas rotas de transdução de sinal.

As células apresentam uma rede organizada de membranas internas, denominadas retículo endoplasmático (RE), cujas membranas são bicamadas lipídicas típicas com proteínas integrais e periféricas intercaladas. Tais membranas formam sáculos achatados ou tubulares, as cisternas. As células vegetais vivas e maduras apresentam grandes vacúolos centrais, que podem ocupar de 80 a 90% do seu volume total. Cada vacúolo é delimitado por uma membrana vacuolar ou tonoplasto. Muitas células também apresentam filamentos citoplasmáticos que atravessam o vacúolo, mas cada filamento transvacuolar é envolto pelo tonoplasto (figura 7).

O citosol está organizado em uma rede tridimensional de proteínas filamentosas, o citoesqueleto. Essa rede proporciona uma organização espacial para as organelas e serve como um arcabouço para os movimentos das organelas e de outros componentes do citoesqueleto. Também apresenta um papel fundamental nos processos de mitose, meiose, citocinese, depósito da parede, manutenção da forma celular e diferenciação celular.

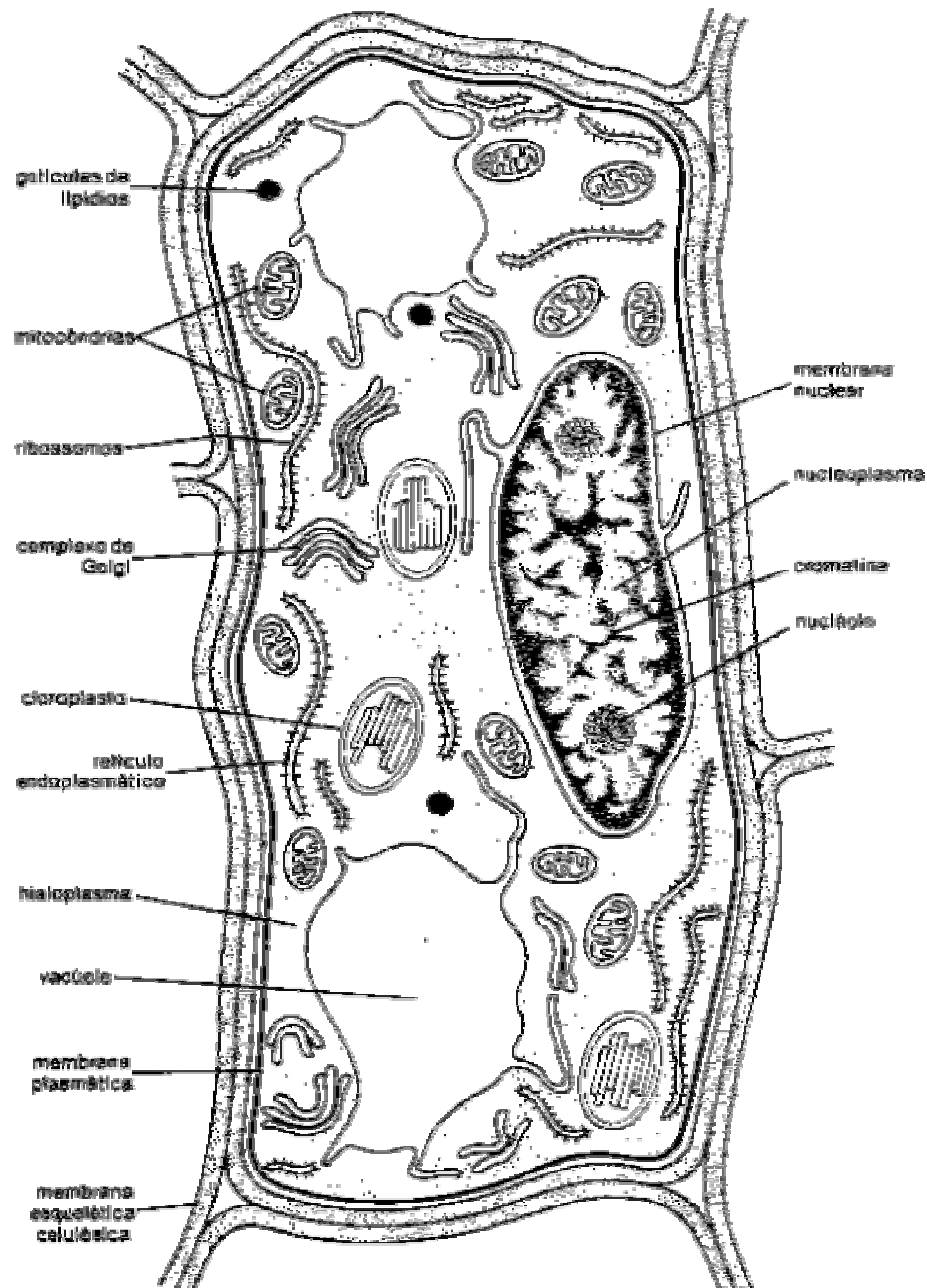


Figura 6: Visão geral de uma célula vegetal (www.herbatio.com.br - 2005)

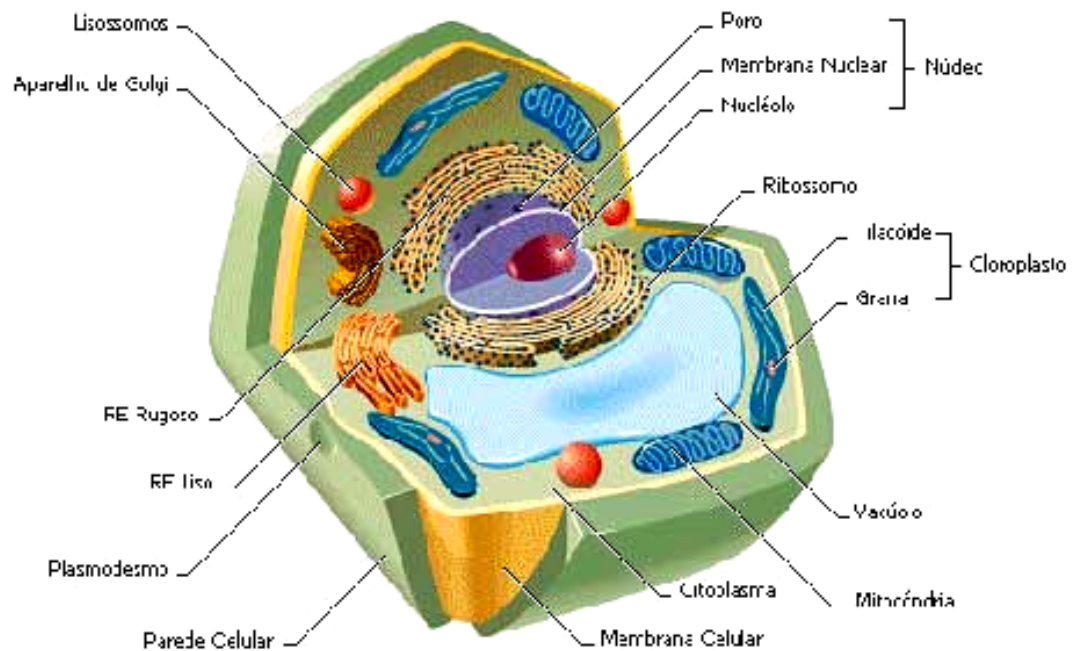


Figura 7: Concepção tridimensional de uma célula vegetal (www.herbario.com.br - 2005)

#### 4.1.1 - Fisiologia estomática

A palavra estoma é proveniente do grego e originalmente significa boca. O poro estomático é formado entre duas células guarda, que são células especializadas da epiderme. Estas células podem ser de dois tipos: elípticas (em forma de rim), e as do tipo gramíneas (em forma de alteres). Muitas vezes utiliza-se, incorretamente, o termo estoma para designar não apenas o poro, mas também as células guarda e outras células adjacentes que formam o complexo estomático. Se as células adjacentes são morfologicamente diferentes das restantes células da epiderme chamam-se células subsidiárias, se são semelhantes denominam-se células vizinhas (Weyers e Meidner, 1990). As células guarda só apresentam plasmodesmas entre elas e não apresentam qualquer tipo de conexão com as restantes células do complexo estomático. Assim, todos os compostos importados para o seu interior têm de atravessar a membrana plasmática. Esta característica do complexo estomático é extremamente importante em termos fisiológicos.

Além dos estomas a epiderme não apresenta espaços intercelulares. As paredes mais exteriores da epiderme e das células guarda apresentam cutícula que continua numa forma mais fina nas paredes ventral e laterais das células guarda, e nas paredes interiores das



células da epiderme que limitam uma câmara subestomática (Weyers e Meidner, 1990). A figura 8 mostra um modelo de células guarda elípticas em secção transversal e vistas à superfície.

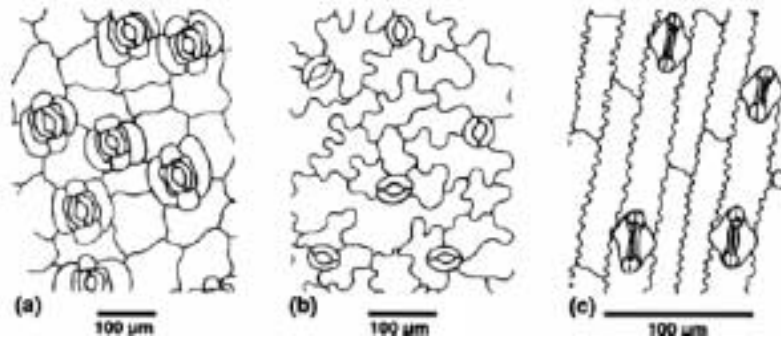


Figura 8 : Estomas das três espécies mais usadas em estudos de fisiologia estomática. a) *Commelina communis* que é uma monocotiledônea com um complexo hexacítico, isto é, apresenta seis células subsidiárias; b) *Vicia faba*, que é uma dicotiledônea sem células vizinhas morfologicamente especializadas; o complexo denomina-se anomocítico; c) *Zea mays*, que é uma monocotiledônea com células guarda do tipo das gramíneas e um par de células subsidiárias. ( Weyers e Meidner, 1990).

A frequência estomática (ou densidade estomática) de uma epiderme com estomas varia com as espécies, entre 20 e 2 000 poros  $\text{mm}^{-2}$ , sendo na maioria das plantas de 40 a 350. O número total de estomas numa folha pode ser calculado a partir do produto da frequência pela área foliar, embora a frequência não seja uniforme na superfície foliar.

#### 4.1.2 - Células guarda

As células guarda alteram a sua turgidez e o seu volume durante o movimento estomático. A sua deformação resulta do espessamento e extensibilidade das paredes não ser igual em todas. De uma visão superior, a abertura de um estoma elíptico deve-se essencialmente à expansão das células guarda nos pólos. A parte central das paredes dorsal e ventral também se estende e, como as paredes estão ligadas nos pólos, tendem a curvar-se para o exterior criando um poro elíptico entre as paredes ventrais. Estas deformações são facilitadas pela orientação das microfibrilhas das paredes (figura 9).

Nas células guarda que podemos observar na figura 9, a parte central é bastante rígida e é afastada quando os pólos se expandem, formando uma abertura quase retangular (Weyers e Meidner, 1990).

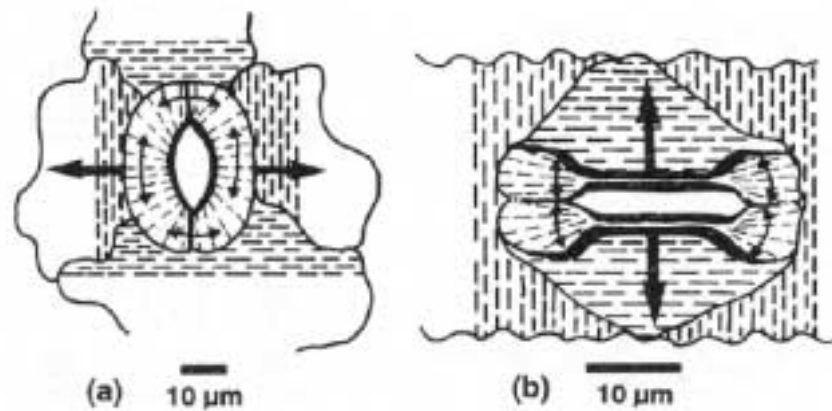


Figura 9: Alterações nas dimensões das células guarda, vistas de cima, e a influência da orientação das microfibrilas e da espessura das paredes. a) Orientação das microfibrilas nas paredes de um estoma elíptico (*Vicia faba*): as setas indicam a direção da expansão das células guarda e o movimento durante a abertura do estoma. b) Diagrama correspondente para as células de um estoma de gramíneas (*Zea mays*): os pólos bulbosos e de paredes finas das células parecem estar ligados por poros ao longo da parede comum. O alargamento das partes terminais das células causa o afastamento das paredes centrais rígidas, permitindo a abertura do poro que raramente excede 4 µm de largura. De notar as diferenças nas escalas. (Weyers e Meidner, 1990)

As formas, tamanhos, o arranjo espacial e as características das outras células do complexo estomático são importantes para que ocorram as mudanças de abertura dos estomas. A comparação dos complexos estomáticos antes e depois da abertura do poro mostra que o aumento de volume das células guarda é parcialmente compensado pelo decréscimo de volume das células vizinhas. A parede dorsal das células guarda em expansão faz uma protuberância para o interior das células vizinhas (figura 10). Estas mudanças no volume são devidas ao movimento osmótico da água que segue o aumento do conteúdo em solutos das células guarda, o que também modifica as relações de turgescência entre as células guarda e as vizinhas (Weyers e Meidner, 1990).



Figura 10 : Exemplo das deformações experimentadas pelas diferentes paredes das células guarda durante o movimento de abertura do poro estomático. ( Weyers e Meidner, 1990)

#### 4.2 – ÁGUA E CÉLULA VEGETAL – TRANSPORTE DE ÁGUA E SOLUTOS

A vida na atmosfera da terra apresenta um formidável desafio para as plantas. Por um lado, a atmosfera é um depósito de dióxido de carbono, necessário para a fotossíntese. As plantas, portanto, precisam de pronto acesso a atmosfera. Por outro lado, a atmosfera é relativamente seca e pode desidratar a planta. Para satisfazer as demandas contraditórias de maximizar a adsorção de dióxido de carbono enquanto limitam a perda de água, as plantas desenvolveram adaptações para controlar a perda de água das folhas e repor a água perdida para a atmosfera.

A água proveniente da precipitação penetra no solo e infiltra-se gradualmente até chegar ao lençol freático. Em solos altamente permeáveis a taxa de percolação é de vários metros por ano, em solos argilosos é de cerca de 1 – 2 m e, em solos muito compactos, pode ser de apenas alguns centímetros por ano. Uma parte da água infiltrada, a chamada água capilar, é retida e armazenada nos poros do solo. A quantidade de água retida como água capilar é aquela que se infiltra como água gravitacional depende da natureza do solo e das dimensões e distribuição dos seus poros. Poros com menos de 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro retêm a água por capilaridade, enquanto que os poros maiores (> 60  $\mu\text{m}$  de diâmetro) deixam a água infiltrar-se mais rapidamente (Larcher, 1995).

A capacidade de armazenamento da água em um solo, isto é, o conteúdo em água em saturação depois da água gravitacional ter se infiltrado para camadas mais profundas, constitui a chamada capacidade de campo de um solo e é expressa em g de  $\text{H}_2\text{O}$  por 100 g de solo (% peso seco). Os solos de granulado mais fino e os que são mais ricos em substâncias orgânicas armazenam mais água que os que têm um granulado mais grosso (Larcher, 1995).

A água que permanece em um solo depois da passagem da água gravitacional é retida nos poros por capilaridade; pode ficar presa aos colóides do solo e, no caso dos solos salinos, pode ficar osmoticamente ligada a íons. Assim, a energia livre da água no solo, tal como acontece no interior das plantas, é reduzida. Na maioria dos solos as contribuições para o potencial hídrico total dado pelo potencial osmótico, assim como pelo potencial de pressão, podem ser desprezadas. No potencial hídrico dos solos a componente crucial é o potencial mátrico ou “capilar” que é a energia com que a água capilar é retida por forças superficiais. Este potencial pode ter valores bastante consideráveis para solos com poros muito finos.

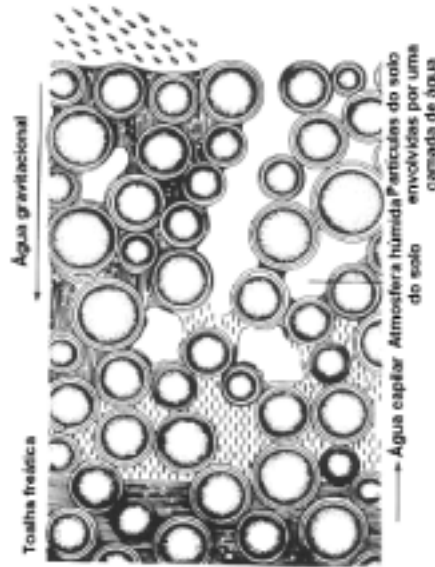


Figura 11: O estado da água em solos saturados (a parte esquerda do esquema) e em solos bem arejados (parte direita). (Larcher, 1995)

A água desempenha um papel fundamental na vida da planta. Para cada grama de matéria orgânica produzida pela planta, aproximadamente 500 g de água são absorvidos pelas raízes, transportados através do corpo da planta e perdidos para a atmosfera. Mesmo um pequeno desequilíbrio nesse fluxo de água pode causar déficits hídricos e mau funcionamento de inúmeros processos celulares (figura 12). Assim, toda planta deve realizar um balanço delicado de sua absorção e perda de água, o qual se constitui em um sério desafio para as plantas terrestres. Para fotossintetizar, elas precisam retirar dióxido de carbono da atmosfera, mas, ao fazê-lo, ocorre a perda de água e a ameaça de desidratá-la.

Uma característica fundamental das células vegetais é a presença da parede celular nas plantas, que lhes permite desenvolver grandes pressões hidrostáticas internas, chamadas de pressões de turgor, resultantes do processo normal de balanço hídrico. A pressão de turgor é essencial para muitos processos fisiológicos, incluindo expansão celular, traços gasosos nas folhas, transporte no floema e processos de transporte pelas membranas. A pressão de turgor também contribui para a rigidez e a estabilidade mecânica de tecidos vegetais não-lignificados. É considerada a maneira como a água movimenta-se para dentro e para fora das células vegetais, enfatizando as propriedades moleculares da água e as forças físicas que influenciam os seus movimento em meio celular.

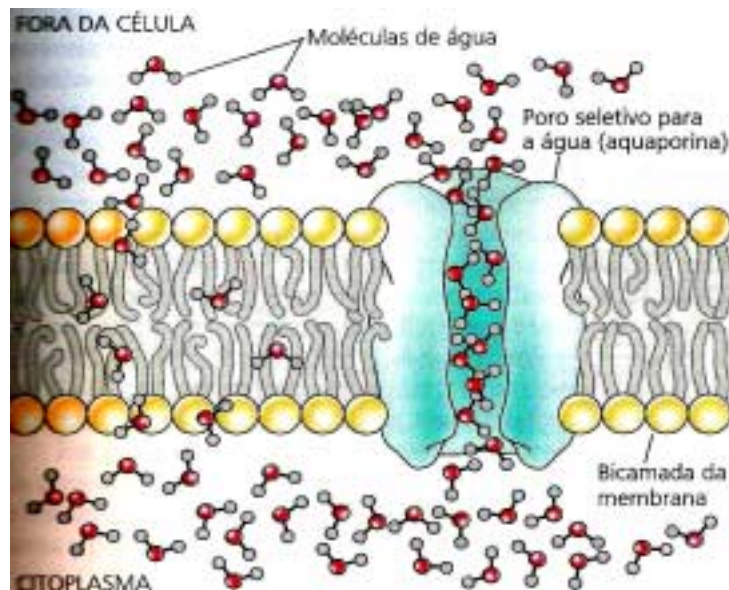


Figura 12 : A água pode atravessar membranas vegetais por difusão de suas moléculas individuais por meio da bicamada Lipídica da membrana, conforme mostrado a esquerda, ou por fluxo microscópico de massa de moléculas de água através de poros seletivos para a água, formados por proteínas integrais de membranas como a aquaporina. (Taiz e Zeiger, 1998).

A água compreende a maioria da massa de células vegetais, o que pode de imediato ser constatado se forem visualizadas ao microscópio seções de células vegetais maduras: cada célula contém um grande vacúolo cheio de água. Nessas células, o citoplasma compreende somente de 5 a 10% do volume celular, o restante é o vacúolo. A água tipicamente constitui de 80 a 95% da massa de tecidos vegetais em crescimento. Vegetais comuns, como cenoura e alface, por exemplo, contém de 85 a 95% de água.

A água como solvente, é o meio onde as moléculas movimentam-se dentro de células e entre elas as proteínas, ácidos nucleicos, polissacarídeos e outros constituintes celulares. A água forma o ambiente onde ocorre à maioria das reações bioquímicas celulares e participa diretamente em muitas reações químicas essenciais.

As plantas absorvem e perdem água continuamente. A maioria da água perdida pela planta evapora da folha a medida que o dióxido de carbono necessário a fotossíntese é absorvido da atmosfera. Em dias ensolarados, quentes e secos, uma folha renovará até 100% de sua água em apenas uma hora. Durante o período de vida da planta, uma quantidade de água equivalente a 100 vezes o peso fresco da mesma pode ser perdida através das superfícies foliares. Essa perda de água é chamada de transpiração.

A transpiração é uma forma eficiente de dissipar o calor proveniente do sol. O calor dissipa-se porque as moléculas de água escapam para a atmosfera, o que promove a quebra das ligações que as seguram no líquido. Quando tais moléculas escapam, elas

deixam para trás uma massa de moléculas com energia menor que a média e, portanto, um corpo líquido mais frio. Para uma folha típica, quase metade do ganho líquido de calor do sol é dissipada pela transpiração. Além disso, a corrente de água absorvida pelas raízes é uma importante via de condução dos minerais dissolvidos do solo até a superfície radicular, para absorção.

De todos os recursos de que a planta necessita para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e, ao mesmo tempo, o mais limitante para a produtividade agrícola. O fato de água ser limitante é o motivo pelo qual existem as práticas de irrigação de culturas. A disponibilidade de água igualmente limita a produtividade de ecossistemas naturais

Quando a água move-se do solo, através da planta, até a atmosfera, ela se move por diferentes meios como, parede celular, citoplasma, membrana, espaços de aeração e os mecanismos que a transportam também variam com a natureza do meio.

As moléculas de água em uma solução não são estáticas; elas estão em contínuo movimento, colidindo umas com as outras. As moléculas misturam-se devido à agitação térmica aleatória das mesmas. Este movimento aleatório é chamado de difusão. Desde que outras forças não estejam agindo sobre as moléculas, a difusão causa o movimento líquido de moléculas de regiões de alta concentração para regiões de baixa concentração - ou seja, ao longo de um gradiente de concentração.

#### 4.2.1 - O movimento da água do solo para o xilema da raiz

A planta pode retirar água do solo desde que o potencial hídrico das suas raízes mais finas seja mais negativo que o da solução do solo na rizosfera. Embora durante o período de crescimento as zonas mais velhas (proximais) fiquem com uma superfície suberizada (periderme), a área ativa vai sempre aumentando devido ao crescimento contínuo no ápice radicular.

As raízes normalmente apresentam potenciais hídricos de alguns décimos de MPa, o que é suficiente para absorver a maior parte da água capilar da maioria dos solos. Um valor de apenas -0,2 MPa nas raízes permite-lhes retirar dois terços da água armazenada em um solo arenoso; já um solo argiloso que consegue reter a água com mais firmeza devido aos seus poros serem finos, perde metade da sua água capilar para as raízes com um potencial hídrico de apenas -0,6 MPa. Até um certo ponto as plantas conseguem obter mais água dos solos diminuindo ativamente o potencial hídrico das suas raízes. As hidrófitas, isto é, as espécies

que vivem em locais de grande umidade podem diminuir o seu potencial hídrico para valores na ordem de  $-1$  MPa; as plantas de interesse agrícola de zonas úmidas podem baixá-lo até  $-1$  ou  $-2$  MPa; as mesófitas podem chegar aos  $-4$  MPa e as plantas de regiões secas (xerófitas) podem chegar aos  $-6$  MPa (Larcher, 1995).

O crescimento dos pêlos radiculares é aproximadamente de  $0,2$  a  $0,4$  mm por hora, isto é,  $5$  a  $10$  mm por dia (Sebanek, 1992). Pensa-se que a causa principal do grande crescimento dos pêlos radiculares é a imobilidade da água num solo parcialmente seco. A superfície total dos pêlos radiculares representa uma enorme área de absorção da água do solo (figura 13).

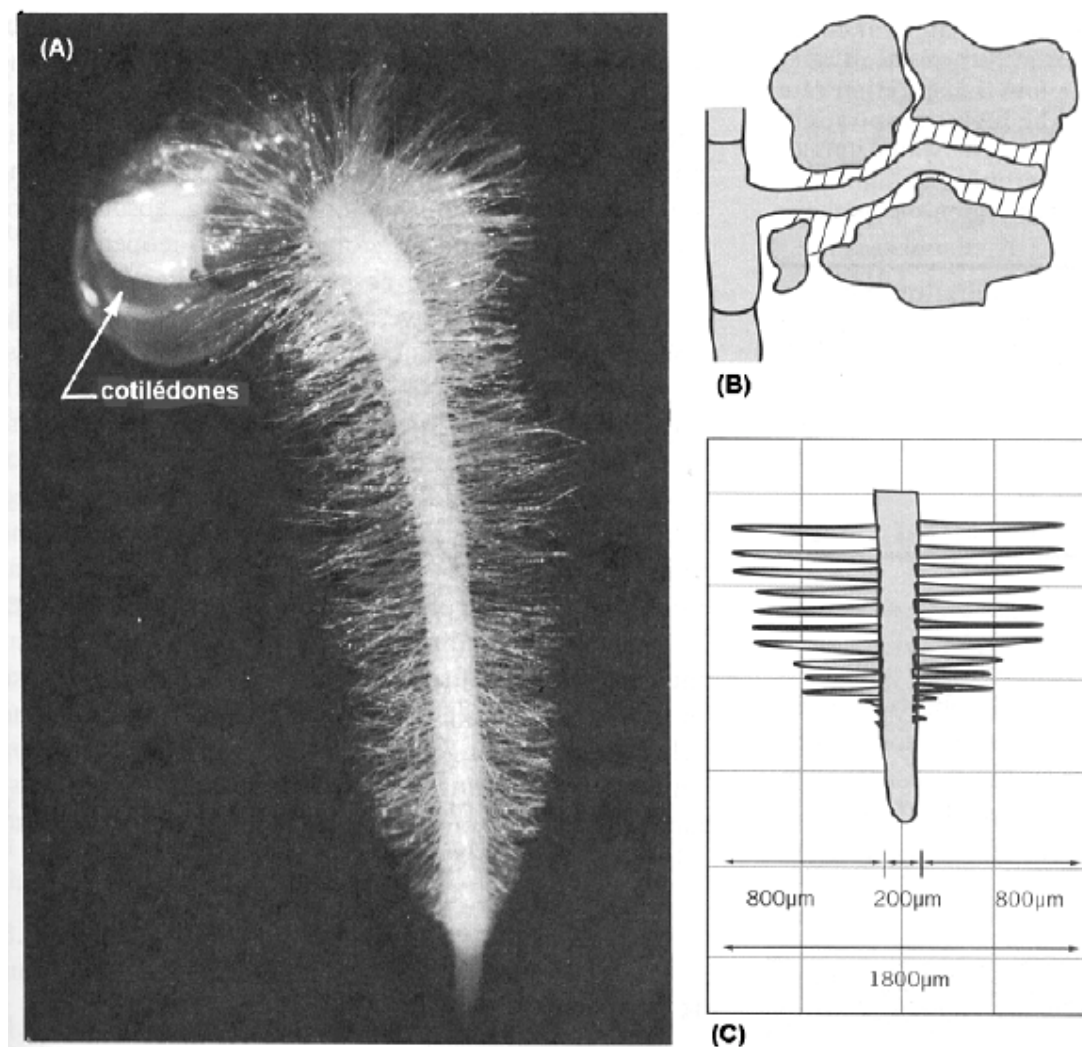


Figura 13: Os pêlos radiculares e a absorção da água. (A) Pêlos radiculares do rabanete (*Raphanus sativus*); (B) os pêlos radiculares aumentam a absorção da água pela capacidade de penetrar nos espaços capilares cheios de água entre as partículas de solo; (C) os pêlos radiculares aumentam várias vezes o volume do solo a partir no qual uma raiz pode extrair água. (Hopkins, 1995)



Devido à extração da água do rizosfera pelas raízes, a água vai movimentando-se a partir de zonas de maior umidade. Este movimento ocorre apenas ao longo de alguns mm por capilaridade e é muito lento.

#### 4.2.2 - O movimento radial radicular da água

No solo, o movimento da água faz-se essencialmente por fluxo em massa. No entanto, assim que a água fica em contato com a rizoderme o seu movimento torna-se mais complexo (Taiz e Zeiger, 1998). Para se poder perceber a complexidade do movimento da água na raiz deve-se conhecer um pouco melhor a sua anatomia (figura 14).



Figura 14: Esquema de um corte transversal de uma raiz primária de trigo (*Triticum aestivum*), na zona pilosa, mostrando as três vias para o movimento radial radicular da água. (Salisbury e Ross, 1992)

Assim, teremos do exterior para o interior:

O sistema dérmico constituído, em raízes jovens, por uma epiderme, em que algumas células têm um formato diferente, constituindo projeções para o solo, e que são os pêlos radiculares;

Os sistemas fundamentais, constituídos por várias camadas de células - o córtex, e a camada mais interna que é a endoderme com características especiais de que falaremos mais adiante.



O sistema vascular em que a camada mais externa é o periciclo, e em que o floema e o xilema se dispõem alternadamente ao longo dos raios.

Nas plantas sujeitas a um regime hídrico adequado ao seu bom desenvolvimento o movimento da água da rizoderme até à endoderme ocorre segundo três vias: a apoplástica; a simplástica e a transcelular. Em termos experimentais as duas últimas são difíceis de destrinchar e consideram-se como um movimento de célula a célula (Steudle, 2001).

Como vimos anteriormente a água movimenta-se sempre segundo um gradiente decrescente de potencial hídrico (do menos negativo para o mais negativo). De acordo com a estrutura radicular o fluxo da água através da raiz tanto pode ser hidráulico (diferenças de pressão) como osmótico (diferenças de potencial osmótico). A contribuição relativa destas duas componentes do potencial hídrico para o movimento da água varia com as condições.

O fluxo pelo apoplasto é realizado através de um meio poroso sem qualquer capacidade seletiva, isto é, o seu coeficiente é igual ou perto de zero. Conseqüentemente diferenças de potencial osmótico das células não causam praticamente nenhum movimento da água (Steudle, 2001). Já na via celular, têm de ser considerados os gradientes osmóticos para além dos hidráulicos. Ao contrário das paredes, as membranas têm capacidade seletiva e o seu coeficiente de reflexão é próximo de um (Steudle, 2001).

As respostas das raízes a vários fatores diferem dependendo de se estabelecer, entre a solução do solo e o xilema, uma diferença de pressão hidrostática ou uma diferença de potencial osmótico. As diferenças desaparecem na presença de barreiras apoplástica que interrompem completamente o fluxo apoplástico, ou então na presença de membranas totalmente permeáveis à água. Ambas as situações extremas existem nas raízes das plantas (Steudle, 2001).

Devido às características das suas paredes a endoderme é considerada como sendo a barreira principal ao movimento apoplástico da água e sais minerais provenientes da solução do solo. No entanto, há muitos dados que indicam que em certas situações de estresse, abaixo da epiderme se forma uma camada de células com características semelhantes à endoderme e que é a exoderme (Schreiber *et al.*, 1999). Esta também pode desempenhar um papel muito importante enquanto barreira ao movimento apoplástico.

As barreiras ao movimento célula a célula são dadas pela maior ou menor abertura das aquaporinas que dependem muito do metabolismo (Zimmerman *et al.*, 2000) .

#### 4.2.3 - O movimento ascensional da água

A existência de plantas terrestres se tornou possível apenas quando as plantas adquiriram, no decorrer da evolução, um sistema vascular que permitiu um movimento rápido da água para a parte aérea onde ocorre a transpiração. As plantas terrestres sem um sistema vascular e com mais de 20 ou 30 cm de altura só poderiam existir num ambiente extremamente úmido, onde praticamente não ocorresse transpiração. Isto se explica pelo fato do movimento da água por difusão de célula a célula ser demasiado lento para evitar a desidratação da parte aérea das plantas a transpirar. A importância do sistema vascular pode ser demonstrada pelo fato de uma árvore, num dia quente de verão, mover cerca de 200 litros de água desde as raízes até à superfície evaporante das folhas a mais de 20 ou 30 metros de altura (Kozlowski e Pallardy, 1997).

Para a maioria das plantas o xilema constitui a parte mais longa da via de condução da água no seu interior. Assim, numa planta com um metro de altura, cerca de 99,5% do transporte da água ocorre no xilema e em árvores mais altas o movimento no xilema representa uma percentagem ainda maior (Taiz e Zeiger, 1998).

Quando comparado com a complexidade do transporte radial através da raiz, a via no xilema aparece como sendo muito simples e com pouca resistência. Isto se deve em parte às suas características que veremos a seguir.

#### 4.2.4 – Características do xilema

O xilema consiste de quatro tipos de células: os traqueídeos, os elementos xilémicos, as fibras, e o parênquima xilémico. As células do parênquima, sobretudo nas plantas lenhosas, são as únicas que estão vivas. Estas células ocorrem essencialmente nos raios que aparecem radialmente na madeira das árvores, mas também existem células do parênquima espalhadas pelo xilema.

As fibras são células de esclerênquima dispostas ao longo dos feixes e que lhes conferem resistência; os traqueídeos e os elementos xilémicos dispostos verticalmente são as células que estão envolvidas no transporte da solução xilémica.

De uma maneira geral, as gimnospérmicas têm apenas traqueídeos, enquanto que praticamente todas as angiospérmicas têm elementos xilémicos e traqueídeos (Taiz e Zeiger, 1998). Estes dois tipos de células são alongados, embora os traqueídeos sejam mais

compridos e estreitos que os vasos xilêmicos (figura 15).

Tanto os traqueídeos como os elementos xilêmicos funcionam como elementos mortos, isto é, depois de terem sido formados por crescimento e diferenciação de células meristemáticas, morrem e os seus protoplastos (célula vegetal sem parede) são absorvidos por outras células. No entanto, antes de morrerem, as suas paredes sofrem alterações que são muito importantes para o transporte da água. Uma das mudanças é a formação da parede secundária, que consiste largamente em celulose, lignina e hemi-celuloses, e que cobre a parede primária (Salisbury e Ross, 1992).

As paredes secundárias conferem uma força de compressão considerável às células o que evita que entrem em colapso sob as tensões extremas a que por vezes estão sujeitas. Estas paredes, lenhificadas, não são permeáveis à água como as paredes primárias. Quando se formam não cobrem completamente as paredes primárias, originando as pontuações que são zonas circulares, finas, onde as células adjacentes estão separadas apenas pelas paredes primárias (Salisbury e Ross, 1992)

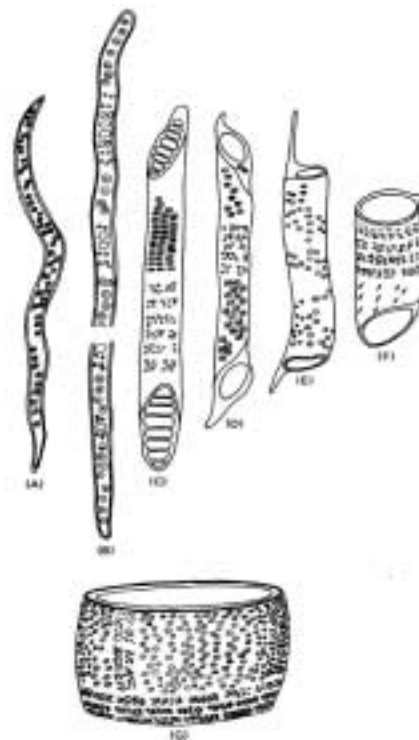


Figura 15: Traqueídeos (A e B) e traquéias (C a G) de diversas plantas, vistos lateralmente. Apenas se apresenta um terço do traqueídeo B. Notam-se os diferentes tipos de pontuações nas paredes laterais destas células, e os diferentes tipos de perfurações que existem nas paredes dos topos das traquéias. (Noggle e Fritz, 1976)

#### 4.2.5 - A teoria da coesão-tensão para a ascensão da água

Em 1727, o fisiologista chamado Hales sugeriu que a água nas plantas entrava facilmente nas raízes, mas que só poderia ascender na planta graças à transpiração. Esta idéia foi mais desenvolvida nos finais do século 19 com Sachs e Strasburger que indicaram a transpiração como sendo a força motriz para a ascensão da água no xilema, mas não explicaram como isto era possível. Só em 1895 é que Ashkenasy primeiro e depois Dixon e Joly perceberam que a água confinada em pequenos tubos como o xilema desenvolve elevadas forças de coesão e é capaz de suportar grandes tensões (Kozlowski e Pallardy, 1997).

Estas idéias levaram à chamada teoria da coesão-tensão que é a mais aceita (ainda que muito controversa) para explicar a subida da água em plantas a transpirar.

Esta teoria assenta em quatro pressupostos (Kozlowski e Pallardy, 1997):

a) A água tem forças de coesão internas muito elevadas, e, quando confinada em pequenos tubos de paredes molháveis, como é o caso do xilema, pode suportar grandes tensões que podem chegar aos  $-30$  MPa. (NOTA: parede molhável quer dizer parede formada por substâncias com as quais as moléculas de água podem estabelecer forças de adesão);

b) A água na planta constitui um sistema contínuo através das paredes das células saturadas de água desde as superfícies evaporantes das folhas até as superfícies absorventes das raízes;

c) Quando a água se evapora de qualquer parte da planta, mas sobretudo das folhas, a redução do potencial hídrico na superfície evaporante causa um deslocamento de água do xilema para essa superfície. Devido às forças de coesão entre as moléculas de água, a perda de água por evaporação causa uma tensão na solução do xilema que é transmitida através das colunas contínuas de água até às raízes, onde reduz o potencial hídrico causando um influxo de água para o seu interior.

d) De acordo com estas premissas, a teoria da coesão-tensão estabelece quer um mecanismo, quer uma força motriz para o fluxo da água através das plantas. A diferença de potencial hídrico entre a atmosfera e o solo deveria ser mais do que suficiente para providenciar a força motriz para a subida da água até ao topo das árvores mais altas. No

entanto, este mecanismo requer, para poder operar, elevadas tensões no xilema e é difícil de imaginar como é que estas tensões podem ser mantidas durante a distância necessária. Por exemplo, é difícil construir uma bomba mecânica que succiona água do topo de uma coluna de água com mais de 10 metros (equivalente a 1 bar de pressão) sem que haja falha por cavitação. É muito mais fácil utilizar pressões positivas aplicadas na base. Assim, a questão crítica é saber se a tensão de superfície da água é suficiente para manter estados de alta tensão e se assim for, quais são as condições para manter essa elevada tensão (Steudle, 2001).

e) A força de tensão da água (ou de qualquer fluido) é muito difícil de medir, não é como uma barra de metal. Por outro lado, a força de tensão de uma coluna de água vai depender do diâmetro do duto, das propriedades das suas paredes e da existência de gases ou solutos. Mesmo assim, existem alguns dados bastante consistentes que apontam para que água pura, sem gases dissolvidos suporta tensões de cerca de -25 a -30 MPa a 20 °C. Estes valores são cerca de 10% da força de tensão do fio de cobre e cerca de 10 vezes superior à tensão necessária para levar uma coluna de água ininterrupta ao topo das árvores mais altas (Hopkins, 1995).

f) A água no xilema, sob tensão, tem de permanecer no estado líquido a pressões muito abaixo da sua pressão de vapor. A 20 °C a pressão de vapor da água é de 0,0023 MPa. Uma coluna de água sob tensão está, portanto, num estado fisicamente instável. Os físicos chamam a esta condição estado metaestável, ou seja, um estado em que podem facilmente ocorrer mudanças, mas em que essas mudanças só ocorrem, de fato, devido a um estímulo externo. A estabilidade física pode acontecer numa coluna de água sob tensão pela introdução de uma fase de vapor. As moléculas de água na fase de vapor têm muito baixa coesão o que permite que o vapor se expanda rapidamente causando a ruptura da coluna de água e, assim, atenuando a tensão (Hopkins, 1995).

g) A origem de uma fase gasosa no xilema explica-se pelo fato da água no xilema conter vários gases dissolvidos, como o dióxido de carbono, o oxigênio e o nitrogênio. Quando a coluna de água está sob tensão, há uma tendência para estes gases saírem da solução, primeiro formam-se bolhas microscópicas na interface entre a água e as paredes dos traqueídeos ou das traquéias, provavelmente em pequenas fendas ou poros hidrofóbicos das paredes. Estas pequenas bolhas podem redissolver-se ou podem coalescer e expandir rapidamente preenchendo o condutor. Este processo de formação rápida de bolhas de ar no xilema é chamado cavitação (do latim *cavus* = oco). A bolha grande de gás constitui uma

obstrução na conduta a que se dá o nome de embolia (do grego *embolus* = rolha) (Hopkins, 1995).

i) A embolia tem implicações muito sérias para a teoria da coesão-tensão, uma vez que uma traquéia que sofre embolia deixa de poder transportar água. De fato, a probabilidade elevada de ocorrer cavitação do xilema foi apresentada como sendo a objeção principal à teoria da coesão-tensão quando esta foi formulada (Hopkins, 1995).

Em 1966, Milburn e Johnson desenvolveram o método acústico para a detecção da cavitação do xilema. Em experiências laboratoriais com tubos finos de vidro, estes autores observaram que a relaxação rápida da tensão que segue a cavitação produz uma onda de choque que pode ser ouvida como um “clique”. Utilizando microfones sensíveis é possível ouvir estes “clique” quando são produzidos nas plantas por cavitação no xilema. Utilizando folhas de rícino (*Ricinus communis*) em estresse, estes autores puderam demonstrar que existe uma relação bastante evidente entre a cavitação e a tensão no xilema o que suportaria, de certa forma, a teoria da coesão-tensão (Hopkins, 1995).

Nos finais dos anos 80, Sperry e os seus colegas desenvolveram um outro método baseado nas alterações da condutância hidráulica, isto é, uma forma de medir a capacidade total de um tecido para conduzir água. O método acústico apenas contava o número e a frequência das cavitações, mas o método hidráulico permitia avaliar o impacto das embolias na capacidade de transportar água do tecido. Estes autores estudaram um talhão de aceres (*Acer saccharum*) e verificaram que durante a primavera as embolias ocorriam essencialmente no tronco principal e reduziam a condutância hidráulica em 31% devido ao estresse de carência hídrica. No inverno, a condutância do tronco principal reduzia-se de 60% e nos troncos secundários a redução podia atingir os 100%. Este aumento das embolias no inverno estaria provavelmente ligada a ciclos de congelamento-descongelamento. A solubilidade dos gases é muito baixa no gelo e, assim, quando a água congela os gases são forçados a sair da solução; quando se dá a descongelação as pequenas bolhas de gases expandem-se e causam a cavitação (Hopkins, 1995).

O mecanismo principal para minimizar os efeitos das embolias prende-se com a estrutura do xilema. A embolia fica simplesmente contida dentro de um traqueídeo ou de um elemento do xilema. Nos elementos que apresentam pontuações areoladas a embolia fica retida pela estrutura da pontuação. A diferença de pressão entre a traquéia que sofreu a embolia e a adjacente que está cheia de água faz com que o toro fique comprimido contra o bordo da

pontuação, evitando que a bolha de gás passe para o outro lado. A tensão de superfície impede que a bolha passe através das pequenas aberturas das placas de perfuração entre elementos xilêmicos contíguos. No entanto, a água vai continuar a fluir lateralmente através das pontuações contornando, assim, o elemento bloqueado (figura 16). Para além de permitir que a água contorne o elemento bloqueador, as plantas também podem tentar reparar a embolia evitando os danos em longo prazo. Isto pode acontecer à noite quando há pouca transpiração. A redução da tensão no xilema permite que os gases se redissolvam na solução do xilema (Hopkins, 1995).

No caso das plantas herbáceas os gases podem ser forçados a redissolverem-se devido à pressão radicular. No caso das plantas lenhosas a explicação não é tão simples. Algumas espécies como a vinha (*Vitis* sp.) ou o ácer (*Acer saccharum*) desenvolvem uma forte pressão radicular no início da primavera que pode estar relacionada com esta necessidade de recuperar os danos causados pelas embolias do inverno. Por outro lado, a maioria das espécies lenhosas produz xilema secundário novo todas as primaveras. Este xilema novo forma-se antes do desenvolvimento das gemas e podem satisfazer as necessidades da planta em termos de condutância hidráulica, substituindo o xilema velho e não funcional (Hopkins, 1995).



Figura 16: As bolhas de ar que se formam no xilema ficam contidas no elemento do xilema ou no traqueídeo. A diferença de pressão resultante da embolia faz com que o toro vede as pontuações areoladas que existem no

elemento afetado. A tensão de superfície evita que as bolhas passem através das perfurações terminais dos elementos. A água continua fluindo à volta do elemento xilémico bloqueado. (Hopkins, 1995)

#### 4.2.6 - A teoria da pressão radicular

Sempre que por qualquer motivo uma planta não estiver transpirando desenvolve-se uma pressão positiva nos vasos xilémicos da raiz e da base dos caules. Os íons minerais são acumulados ativamente pelas células da raiz e são bombeados para dentro do xilema, onde, devido à ausência de transpiração, o movimento de água é diminuído causando um aumento da concentração dos sais. Este aumento em sais provoca uma diminuição do potencial osmótico no xilema, o que causa uma entrada de água por osmose (Taiz e Zeiger, 1998).

O movimento da água, através dos tecidos da raiz para o cilindro central, ocorre através das paredes das células. No entanto, a água tem de passar pelas membranas e protoplastos das células da endoderme, porque as suas paredes são impermeáveis à água.

Todo o anel formado pelas células da endoderme atua como uma simples membrana, com uma solução concentrada no lado do xilema, e uma solução diluída no lado do córtex. Assim, a raiz funciona como um osmómetro, com a água difundindo-se em resposta a uma diferença de concentrações, do solo através da “membrana” endoderme para o xilema. Isto causa o aumento da pressão nas células do xilema. A parede impermeável da endoderme também impede que os sais bombeados para o xilema se difundam de novo para o córtex e para o exterior da raiz.

Quando se destaca, ao nível do solo, o caule de uma planta que não esteja transpirando, a superfície de corte exuda grande quantidade de fluido. Se colocar um manómetro na extremidade cortada, observar-se-á que as raízes estão a produzir uma certa pressão (figura 17), é a chamada pressão radicular (Taiz e Zeiger, 1998).





Figura 17: Experiência que mostra a existência de pressão radicular. A solução excretada pela base do caule está sujeita a uma pressão que pode ser lida no manômetro de mercúrio. (Galston, Davies e Satter, 1980)

A pressão radicular só poderá ser a causa da ascensão da solução xilémica nas plantas muito jovens, antes das folhas estarem completamente desenvolvidas e a transpiração se tornar um processo dominante.

#### 4.2.7 – Conceito de movimento contínuo SOLO-PLANTA-ÁGUA-ATMOSFERA (SPAC)

Uma forma de se estudar a relação da água com as plantas, as relações hídricas, é considerar que o movimento da água através do solo para o interior das raízes, seguido do movimento no interior das plantas e por fim a sua saída para o exterior na forma de vapor, são processos fortemente interligados. Assim, existiria uma linha contínua de água desde o solo até a atmosfera através da planta (SPAC) que permitiria tratar o movimento da água como um sistema análogo ao do fluxo elétrico em um sistema condutor.

Podemos considerar quatro segmentos ou etapas no movimento da água no SPAC:

a) Trajeto da água no solo até a rizoderme; trajeto radial radicular desde a rizoderme até ao xilema; trajeto ascensional do xilema da raiz até às células das folhas; trajeto do vapor de água da câmara estomática até à atmosfera.

b) O conceito do SPAC proporciona uma teoria unificadora na qual o movimento da água

através do solo, das raízes, dos caules e das folhas e a sua evaporação para o ar pode ser estudado em termos de forças motrizes e resistências a operar em cada segmento. Este conceito também é útil se pretender estudar a forma como vários fatores, da planta ou ambientais, podem afetar o movimento da água ao influenciar as forças motoras, as resistências ou ainda ambas. Por exemplo, o decréscimo de água no solo causa um aumento na resistência do movimento da água em direção às raízes, e causa também uma diminuição na força motriz para este movimento, isto é, no gradiente de potencial hídrico (Kozlowski e Pallardy, 1997).

c) Este conceito é também útil para a formulação de modelos para o movimento da água no SPAC (figura 17).

d) No entanto, há que ter consciência que este conceito de SPAC é uma simplificação extrema do que se passa nas plantas. Assim, podemos indicar algumas das principais críticas a este conceito (Kozlowski e Pallardy, 1997).

e) O SPAC assume condições constantes ao longo do seu trajeto que raramente existem nas plantas;

f) Dentro da planta, o fluxo varia dentro entre segmentos equivalentes do trajeto. Por exemplo, numa árvore o fluxo no xilema é diferente entre vários ramos, uma vez que partes diferentes da copa de uma árvore recebem irradiações diferentes e têm exigências evaporativas diferentes;

Vários estudos que envolvem o SPAC são dificultados pelo fato de na fase líquida a água se movimentar em função de gradientes de potencial hídrico (figura 18) e na fase gasosa se movimentar em função de gradientes de pressão.

A água absorvida pelas raízes é conduzida a todas as partes do corpo de uma planta. Este processo de condução da água ocorre em todas as plantas superiores (vasculares) em um sistema especial - os feixes vasculares. Nestas plantas, a condução da água depende da absorção no sistema radicular, e da perda de água particularmente através das folhas, podendo a distância entre estes dois tipos de órgãos ser considerável. O corpo da planta entre as raízes e as folhas é preenchido não só pelos feixes vasculares, mas também por outros tecidos que também participam na condução da água.

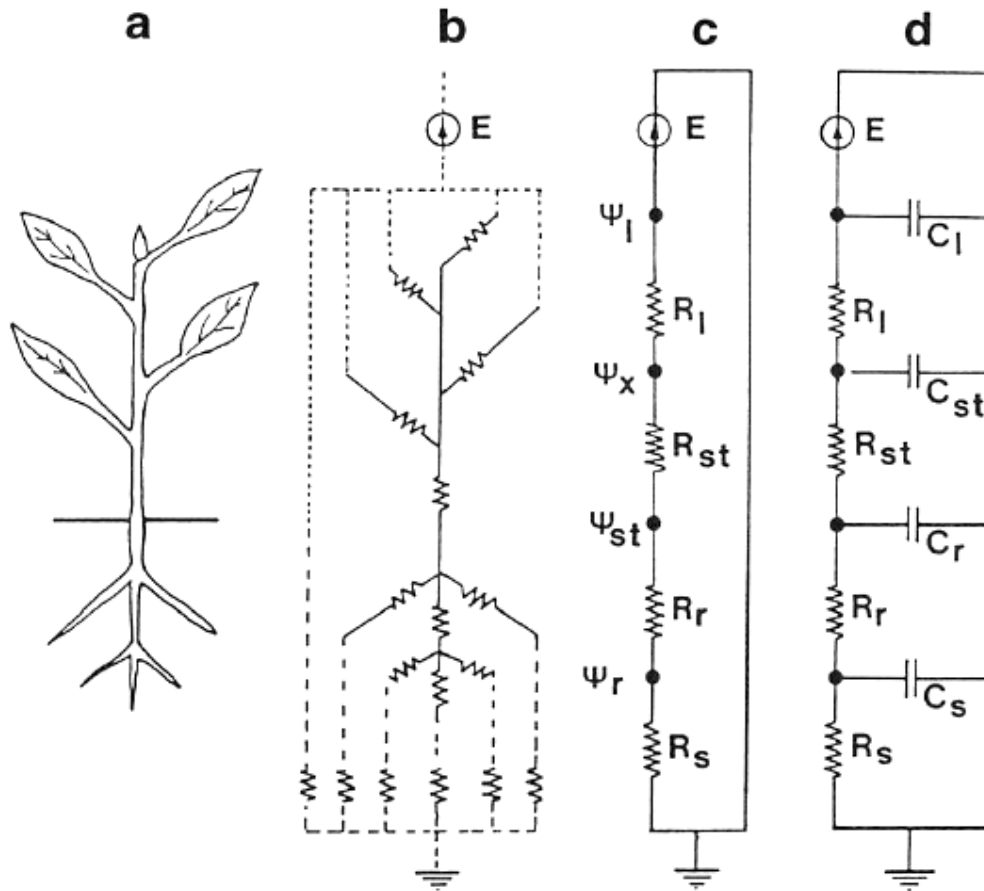


Figura 18: (a) Representação muito simplificada de uma planta; (b) Rede de resistências correspondentes aos vários segmentos do SPAC; (c) Modelo simplificado em que o modelo ramificado de (b) aparece como uma série linear de resistências hidráulicas: do solo ( $R_s$ ); das raízes ( $R_r$ ); do caule ( $R_{st}$ ) e das folhas ( $R_l$ ), cada uma das quais está representada por uma simples resistência; (d) O mesmo que em (c) mas incluindo as capacitâncias ( $C$ ) dos tecidos correspondentes.  $E$  representa a direção e a intensidade da transpiração. (Kozłowski e Pallardy, 1997)

Como vimos anteriormente, a água move-se sempre segundo um gradiente decrescente de potencial hídrico (do menos negativo para o mais negativo) desde o solo úmido até à atmosfera. Este gradiente permite o movimento e condução vertical da água e também o movimento lateral dentro do corpo da planta (figura 19). Teoricamente o movimento da água da planta para o solo também é possível.

Do ponto de vista da localização pode considerar-se que a condução da água dentro da planta ocorre das seguintes maneiras (não sequenciais): condução da água da epiderme para os feixes vasculares das raízes e depois para os caules e folhas; condução da água dos feixes vasculares para os espaços intercelulares dos parênquimas esponjosos e em paliçada do mesófilo das folhas, assim como para as células da epiderme das folhas; condução da água dos feixes vasculares das raízes e parte aérea para as diferentes células e

tecidos, assim como para os parênquimas e tecidos de proteção do caule e raízes; condução da água através do conjunto de tecidos condutores isto é, feixes vasculares de caules e folhas.

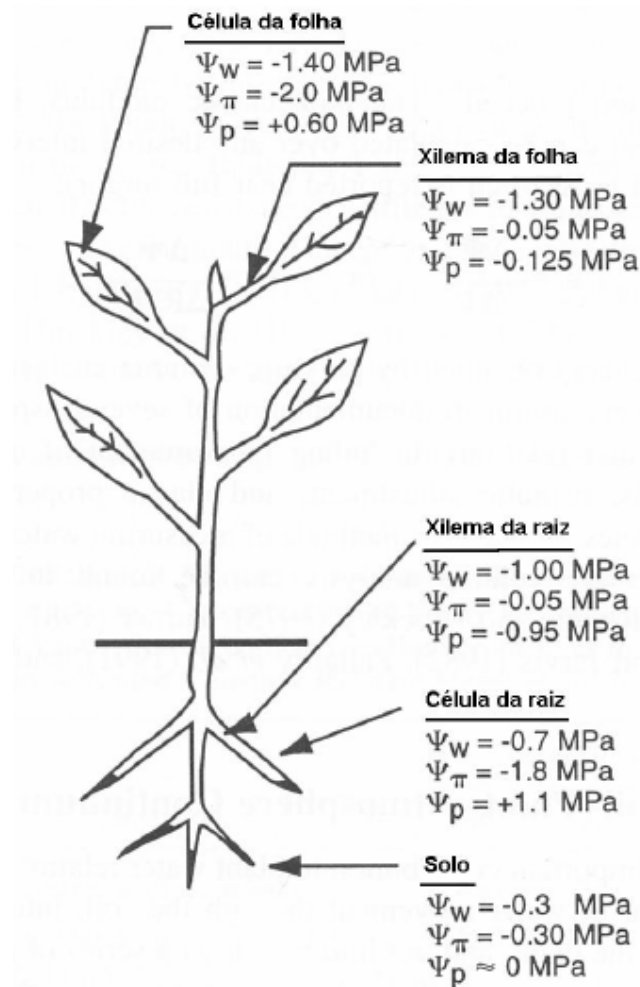


Figura 19: Exemplo da variação do potencial hídrico ( $\Psi$ ) e dos seus componentes [osmótico ( $\Psi_\pi$ ) e de pressão ( $\Psi_p$ )] ao longo dos vários segmentos do SPAC. (Kozłowski e Pallardy, 1997)

#### 4.2.8 - A condução extrafascicular da água

A condução extrafascicular da água por vezes também é chamada paren-quimatosa, horizontal, direta ou ainda de pequena distância. Esta condução ocorre na célula propriamente dita, isto é, na parede da célula, citoplasma, organelas citoplásmicas e vacúolos, de uma célula para as células e tecidos adjacentes. O movimento da água ocorre

pelas seguintes vias (Steudle e Peterson, 1998):

a) Via apoplástica: realiza-se através do apoplasto que representa a ligação de todas as paredes celulares e espaços intercelulares (figura 20 A);

b) Via simplástica: realiza-se através do simplasto que representa a ligação de todas as células do corpo através dos plasmodesmos (figura 20 B). Estes atravessam as paredes celulares de células contíguas, permitindo que exista uma continuidade citoplásmica entre as células adjacentes;

c) Via transcelular: passagem de célula para célula (figura 20 C).

A água ao movimentar-se através do apoplasto ou do simplasto não tem de atravessar nenhuma membrana. Mas na via transcelular tem de atravessar duas membranas plasmáticas por camada de células. A via transcelular é usada especialmente pela água, uma vez que graças as aquaporinas as membranas são muito permeáveis à água.

Em qualquer momento, existe um equilíbrio dinâmico no movimento da água entre a via apoplástica e simplástica, devido à facilidade com que a água se desloca entre as duas vias (Steudle e Paterson, 1998).

O transporte fascicular da água é também chamado vertical ou de longa distância e ocorre ao longo do eixo longitudinal das plantas vasculares, em um sistema específico de tecidos que constituem os feixes vasculares. Esta condução da água ocorre em um feixe vascular completo, consistindo de xilema e floema, ou em um incompleto, em que um destes tecidos falta ou não está completamente desenvolvido. Quando a direção do movimento é essencialmente para baixo, no floema, e os solutos transportados são na sua maioria fotoassimilados fala-se em fluxo de assimilação. Quando o movimento é essencialmente ascensional, no xilema, e os solutos são na sua maioria sais inorgânicos, trata-se de fluxo transpiracional (Sebanek, 1992).

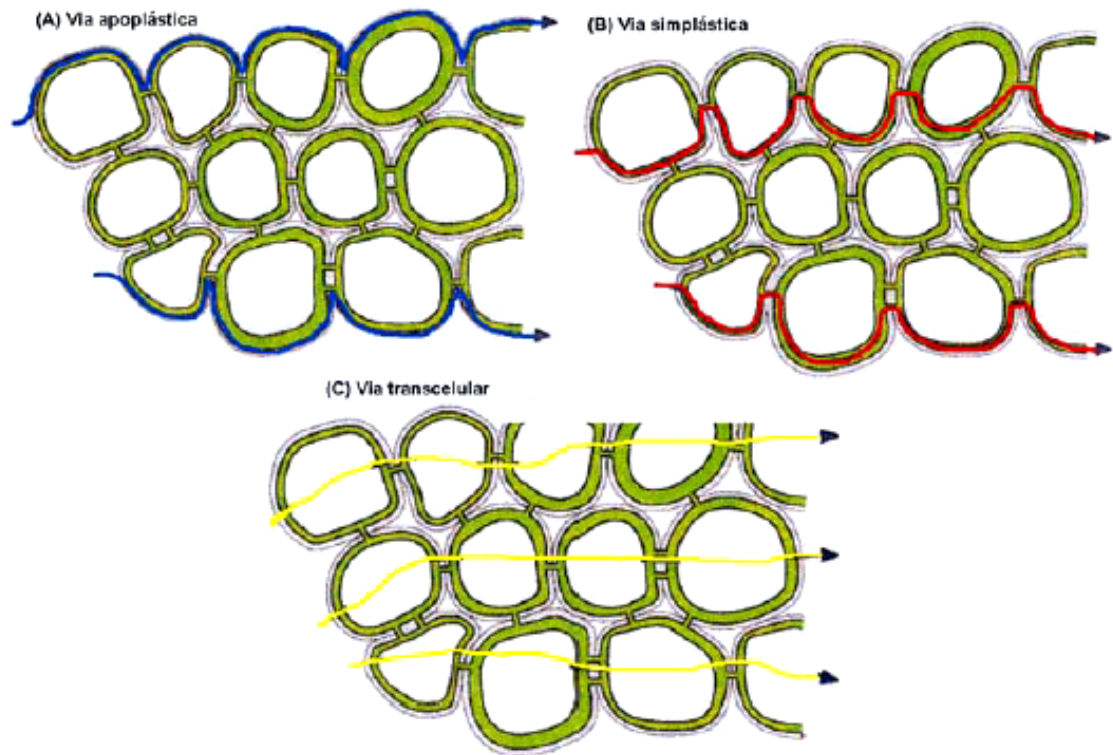


Figura 20: Vias para o movimento da água em um tecido vegetal, representado por uma camada de quatro células em série. (A) Via apoplástica nas paredes das células, traço azul; (B) Via simplástica mediada pelos plasmodesmas, traço vermelho; (C) Via transcelular, traço amarelo. (Steudle e Paterson, 1998)

### 4.3 - NUTRIÇÃO VEGETAL – NUTRIÇÃO MINERAL

Nutrientes minerais são elementos obtidos principalmente na forma de íons inorgânicos do solo. Apesar desses nutrientes continuamente circularem por todos os organismos, eles entram na biosfera predominantemente pelos sistemas radiculares das plantas; assim, as plantas, de certa forma, agem como "mineradoras" da crosta terrestre (Epstein, 1999). A grande área de superfície das raízes e a capacidade das mesmas em absorver íons inorgânicos em baixas concentrações da solução do solo fazem da absorção mineral pelas plantas um processo muito eficaz. Após terem sido absorvidos pelas raízes, tais elementos são deslocados para as diversas partes da planta, onde são utilizados em numerosas funções biológicas. Outros organismos, como fungos micróbios e bactérias fixadores de nitrogênio, geralmente participam com as raízes da obtenção de nutrientes.

O estudo do modo como as plantas obtêm e utilizam os nutrientes minerais é chamado de nutrição mineral. Essa área de pesquisa é fundamental tanto para a agricultura moderna quanto para a proteção ambiental. Altas produtividades agrícolas dependem em grande escala da fertilização com minerais. Na verdade, a produtividade da maioria das culturas agrícolas aumenta diretamente proporcional a quantidade de fertilizantes que absorvem (Loomis e Conner, 1992). Para atender a crescente demanda por alimento, o consumo mundial dos principais elementos minerais fertilizantes - nitrogênio, fósforo e potássio - aumentou continuamente de 112 milhões de toneladas métricas em 1980 para 143 milhões de toneladas métricas em 1990, permanecendo constante ao longo desta última década.

Entretanto, as plantas utilizam menos de metade do fertilizante aplicado (Loomis e Conner, 1992). Os minerais restantes podem lixiviar para águas superficiais ou subterrâneas, permanecer aderidos as partículas de solo ou contribuir para a poluição atmosférica. Apenas certos elementos foram determinados como essenciais para o crescimento vegetal. Um elemento essencial é definido como aquele cuja ausência impede uma planta de completar seu ciclo de vida (Arnon e Stout, 1939) ou aquele que tem um papel fisiológico claro (Epstein, 1999). Se as plantas recebem esses elementos, assim como energia da luz solar, elas podem sintetizar todos os compostos de que necessitam para um crescimento normal. Os elementos minerais essenciais são geralmente classificados como macro ou micronutrientes, de acordo com suas concentrações relativas no tecido vegetal. Por exemplo, alguns tecidos vegetais, como o mesófilo, têm quase tanto ferro e manganês quanto enxofre e magnésio. Muitos elementos estão normalmente presentes em concentrações maiores do que as necessidades mínimas dos vegetais.

Alguns pesquisadores têm argumentado que a classificação em macronutrientes e micronutrientes é difícil de ser justificada do ponto de vista fisiológico. (Mengel e Kirkby, 1987) propuseram que, em vez disto, os elementos essenciais sejam classificados de acordo com seu papel bioquímico e sua função fisiológica. Abaixo uma classificação, na qual os nutrientes vegetais foram divididos em quatro grupos :

1. O primeiro grupo de elementos essenciais é formado pelos compostos orgânicos (com carbono) das plantas. As plantas assimilam esses nutrientes por meio de reações bioquímicas envolvendo oxidações e reduções.

2. O segundo grupo é importante em reações de armazenagem de energia ou na manutenção da integridade estrutural. Os elementos deste grupo estão comumente presentes em tecidos vegetais sob forma de fosfato, borato e ésteres silicato, em que o grupo elementar esteja ligado ao grupo hidroxila de uma molécula orgânica.

3. O terceiro grupo está presente no tecido vegetal como íons livres ou ligados a substâncias tais como ácidos pectícos, presentes na parede celular vegetal. De especial importância são seus papéis como cofatores enzimáticos e na regulação de potenciais osmóticos.

4. O quarto grupo desempenha importantes funções em reações envolvendo transporte de elétrons.

#### 4.3.1 - Deficiências minerais e o funcionamento e metabolismo vegetal

O suprimento inadequado de um elemento essencial resulta em um distúrbio nutricional que se manifesta por sintomas de deficiência característicos. Em cultivo hidropônico, a remoção de um elemento essencial pode ser prontamente correlacionada a um determinado conjunto de sintomas, quando as deficiências são agudas. O diagnóstico de plantas que crescem em solo pode ser mais complexo pelos seguintes motivos:

a) Tanto deficiências crônicas quanto agudas de vários elementos podem ocorrer simultaneamente.

b) Deficiência ou quantidades excessivas de um elemento podem induzir deficiências ou acúmulos excessivos de outro elemento.

c) Algumas doenças virais das plantas podem produzir sintomas similares àqueles das



deficiências nutricionais.

Sintomas de deficiência nutricional em plantas são expressões de distúrbios metabólicos resultantes do suprimento insuficiente de um elemento essencial. Tais problemas estão relacionados às funções desempenhadas pelos elementos essenciais no metabolismo e funcionamento normal da planta.

Embora cada elemento essencial participe de muitas reações metabólicas diferentes, algumas generalizações a respeito das funções dos elementos essenciais no metabolismo vegetal são possíveis. Em geral, os elementos essenciais atuam na estrutura do vegetal, no seu metabolismo e na osmorregulação das células vegetais. Papeis mais específicos podem estar relacionados à capacidade de cátions bivalentes, como cálcio ou magnésio, de modificar a permeabilidade das membranas vegetais. Além disso, pesquisas continuam a revelar papeis específicos desses elementos no metabolismo das plantas; por exemplo, o cálcio age como um sinal na regulação de enzimas-chave no citosol (Hepler e Wayne, 1985; Sanders et al., 1999). Assim, a maioria dos elementos essenciais tem múltiplas funções no metabolismo vegetal.

Quando os sintomas de deficiência aguda são relacionados a um elemento essencial em particular, uma pista importante é a extensão em que um elemento pode ser reciclado de folhas mais velhas para folhas mais jovens. Alguns elementos, como nitrogênio, fósforo e potássio, podem prontamente mover-se de folha para folha; outros, como boro, ferro e cálcio, são relativamente imóveis na maioria das espécies vegetais. Se um elemento essencial é móvel, sintomas de deficiência tendem a aparecer primeiro nas folhas mais velhas. A deficiência de um elemento essencial imóvel vai tornar-se evidente primeiro em folhas mais jovens. Embora os mecanismos precisos de mobilização de nutrientes não sejam bem-compreendidos, hormônios vegetais, como citosinas, por exemplo, parecem estar envolvidos. Na discussão a seguir, serão descritos os sintomas de deficiências específicos e os papeis funcionais para os elementos.

Grupo 1: Deficiências de nutrientes minerais que integram compostos de carbono. Este primeiro grupo consiste de nitrogênio e enxofre. A disponibilidade de nitrogênio em solos limita a produtividade das plantas na maioria dos ecossistemas naturais e agrícolas. Por outro lado, os solos geralmente contêm enxofre em excesso. No entanto, nitrogênio e enxofre têm em comum a propriedade de que seus estados de oxidação-redução variam amplamente. Algumas das reações mais intensas energeticamente na vida convertem formas inorgânicas

altamente *oxidadas*, *absorvidas* do *solo*, em formas *altamente reduzidas*, encontradas em compostos orgânicos como aminoácidos.

**NITROGÊNIO.** O nitrogênio é o elemento mineral que as plantas exigem em maiores quantidades. Ele serve como constituinte de *muitos* componentes da *célula* vegetal, *incluindo* aminoácidos e ácidos nucleicos. Portanto, a deficiência de nitrogênio rapidamente inibe o crescimento vegetal. Se tal deficiência persiste, a maioria das espécies mostra clorose (amarelamento das folhas), sobretudo nas folhas mais velhas, próximas a base da planta. Sob severa deficiência de nitrogênio, essas folhas tomam-se completamente amarelas (ou castanhas) e caem da planta. Folhas mais jovens podem não mostrar inicialmente tais sintomas, pois é possível que o nitrogênio seja mobilizado a partir das folhas mais velhas. Assim, uma planta deficiente em nitrogênio pode ter folhas superiores verde-claras e folhas inferiores amarelas ou castanhas. Quando a deficiência de nitrogênio desenvolve-se lentamente, é possível que as plantas tenham caules pronunciadamente delgados e comumente lenhosos.

**ENXOFRE.** O enxofre é encontrado em dois aminoácidos e é constituinte de várias coenzimas, além de vitaminas essenciais ao metabolismo. Muitos dos sintomas da deficiência de enxofre são similares aos da deficiência de nitrogênio, incluindo clorose, reduzindo do crescimento e acúmulo de antocianinas. Tal similaridade não surpreende, pois o enxofre e o nitrogênio são constituintes de proteínas. Entretanto, a dose causada pela deficiência de enxofre aparece, em geral, inicialmente em folhas jovens e maduras, em vez de em folhas velhas, como na deficiência de nitrogênio, por que, ao contrário do nitrogênio, o enxofre não é mobilizado com facilidade para as folhas jovens, na maioria das espécies. No entanto, em muitas espécies vegetais, a dose por falta de enxofre pode ocorrer simultaneamente em todas as folhas ou até mesmo iniciar nas folhas mais velhas.

Grupo 2: Deficiência em nutrientes minerais que são importantes na armazenagem de energia na integridade estrutural. Este grupo consiste de fósforo, silício e boro. Fósforo e silício são encontrados em concentrações no tecido vegetal que lhes garantem a classificação como macronutrientes, enquanto o boro é muito menos abundante e considerado um micronutriente.

**FÓSFORO.** O fósforo (como fosfato) é um componente integral de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato - açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, bem como os fosfolípidios que compõem as membranas vegetais. E

componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas (como ATP) e no DNA e RNA. Sintomas característicos da deficiência de fósforo incluem crescimento reduzido em plantas jovens e uma coloração verde escura das folhas, quais podem encontrar-se malformadas e conter pequenas manchas de tecido morto, chamadas de manchas necróticas.

**SILÍCIO.** Apenas membros da família Equisetaceae - chamados *juncos de polimento* (do inglês, *scouring rushes*), porque houve tempo em que suas cinzas, ricas em sílica granulosa, eram usadas para polir painéis - requerem silício para completar seus ciclos de vida. No entanto, muitas outras espécies acumulam quantidades substanciais de silício em seus tecidos e apresentam melhoria no crescimento e na fertilidade, quando supridas com quantidades adequadas de silício (Epstein, 1999).

**BORO.** Embora o papel preciso do boro no metabolismo vegetal não seja claro, evidências sugerem que ele desempenha funções no alongamento celular, síntese de ácidos nucleicos, respostas hormonais e funcionamento de membranas (Shelp, 1993). Plantas deficientes em boro podem exibir uma ampla variedade de sintomas, dependendo da espécie e da idade da planta.

Grupo 3: Deficiências de nutrientes minerais que permanecem na forma iônica. Este grupo inclui alguns dos elementos minerais mais familiares: os macronutrientes potássio, cálcio e magnésio e os micronutrientes cloro, manganês e sódio. Eles podem ser encontrados em solução no citosol ou vacúolos ou podem estar ligados eletrostaticamente ou como ligantes a compostos com carbono

**POTÁSSIO.** O potássio, presente nas plantas como o cátion ( $K^+$ ), desempenha um importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais. Ele também ativa muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese. O primeiro sintoma visível da deficiência de potássio é a clorose em manchas ou marginais, que, então, evolui para necrose, principalmente nos ápices foliares, nas margens e entre nervuras. Como o potássio pode ser remobilizado para folhas mais jovens, esses sintomas aparecem inicialmente nas folhas mais duras da base da planta. As folhas podem também se curvar e secar. Os caules de plantas deficientes em potássio podem ser delgados e fracos.

**CÁLCIO.** Os íons cálcio ( $Ca^{2+}$ ) são utilizados na síntese de novas paredes celulares, em particular a lamela média, que separa células em divisão. O cálcio também é utilizado no fuso mitótico durante a divisão celular. Ele é requerido para o funcionamento normal das

membranas vegetais e foi-lhe atribuído o papel de mensageiro secundário em varias respostas da plantas, tanto a sinais ambientais quanto a hormonais (Sanders et al., 1999). Em sua função como mensageiro secundário, o cálcio pode ligar-se a calmodulina, uma proteína encontrada no citosol de células vegetais. Sintomas característicos da deficiência de cálcio incluem a necrose de regiões meristemáticas jovens, como os ápices radiculares ou folhas jovens, nas quais a divisão celular e a formação de paredes são mais rápidas. A necrose em plantas em lento crescimento pode ser precedida por uma clorose generalizada e um curvamento para baixo das folhas. As folhas jovens também podem parecer deformadas. O sistema radicular de uma planta deficiente em cálcio pode mostrar-se acastanhado, curto e altamente ramificado.

**MAGNÉSIO.** Em células vegetais, os íons magnésio ( $Mg^{2+}$ ) têm um papel específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA. O magnésio também é parte da estrutura em anel da molécula de clorofila. Um sintoma característico da deficiência de magnésio é a clorose entre as nervuras foliares, ocorrendo, primeiro, nas folhas mais velhas por causa da mobilidade de tal elemento. Esse padrão de clorose ocorre porque a clorofila nos feixes vasculares permanece inalterada por períodos mais longos que a clorofila nas células entre os feixes. Se a deficiência é muito grande, as folhas podem tornar-se amarelas ou brancas.

**CLORO.** O elemento cloro é encontrado nas plantas como o íon cloreto ( $Cl^-$ ). Ele é necessário para as reações de quebra das moléculas de água da fotossíntese, pelas quais o oxigênio é produzido (Clarke e Eaton-Rye, 2000). Além disso, o cloro pode ser necessário para a divisão celular tanto em folhas quanto em raízes (Harling et al., 1997). Plantas deficientes em cloro desenvolvem murchamento dos ápices foliares, seguida por clorose e necrose generalizada. As folhas podem também exibir crescimento reduzido. Eventualmente, as folhas podem assumir uma coloração bronzeada ("*bronzeamento*"). As raízes de plantas deficientes em cloro podem parecer curtas e grossas junto aos ápices radiculares.

**MANGANÊS.** Os íons manganês ( $Mn^{2+}$ ) ativam várias enzimas nas células vegetais. As descarboxilases e desidrogenases envolvidas no ciclo dos ácidos tricarboxílicos (ciclo de Krebs) em particular são especificamente ativadas pelo manganês. A função mais bem definida do manganês é a da reação fotossintética pela qual o oxigênio é produzido a partir da água (Marschner, 1995). O sintoma principal da deficiência de manganês é a clorose internervura, associada com o desenvolvimento de pequenas manchas necróticas. Essa

clorose pode ocorrer em folhas jovens ou mais velhas, dependendo da espécie vegetal e da taxa de crescimento.

**SÓDIO.** Sob deficiência de sódio, essas plantas exibem clorose e necrose ou deixam de florescer. Muitas espécies igualmente se beneficiam de uma exposição a baixos níveis de íons sódio. O sódio estimula o crescimento por meio de uma maior expansão celular, além de poder parcialmente substituir o potássio como um soluto osmoticamente ativo.

Grupo 4: Deficiências de nutrientes minerais que estão envolvidos em reações de oxidação-redução. Este grupo de cinco micronutrientes inclui os metais ferro, zinco, cobre, níquel e molibdênio, os quais podem sofrer oxidações e reduções reversíveis (exemplo,  $\text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{3+}$ ), além de desempenharem importantes funções na transferência de elétrons e na transformação de energia. Usualmente são encontrados em associação com moléculas maiores, como citocromos, clorofila e proteínas (normalmente enzimas).

**FERRO.** O ferro tem um importante papel como componente de enzimas envolvidas na transferência de elétrons (reações redox), como citocromos. Nesse papel, ele é reversivelmente oxidado de  $\text{Fe}^{+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  durante a transferência de elétrons. Da mesma forma que na deficiência de magnésio, um sintoma característico da deficiência de ferro é a clorose. Ao contrário dos sintomas de deficiência de magnésio, tais sintomas aparecem inicialmente nas folhas mais jovens porque o ferro não pode ser prontamente mobilizado das folhas mais velhas. Sob condições de deficiência extrema ou prolongada, as nervuras podem tornar-se cloróticas também, fazendo com que toda a folha se torne branca.

**ZINCO.** Muitas enzimas requerem íons zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ) para suas atividades, e este elemento pode ser exigido para a síntese de clorofila em algumas plantas. A deficiência de zinco é caracterizada pela redução do crescimento internodal, e, como resultado, a planta apresenta um hábito de crescimento rosetado, no qual as folhas formam um agrupamento circular que se irradia no solo ou perto de. As folhas podem ser também pequenas e retorcidas, com margem de aparência enrugada. Em algumas espécies (milho, sorgo, feijoeiro), as folhas mais velhas podem tornar-se cloróticas entre as nervuras e, então, desenvolver manchas necróticas brancas. É possível que a clorose seja uma expressão da necessidade de zinco para a síntese de clorofila.

**COBRE.** Como o ferro, o cobre está associada com enzimas envolvidas em reações redox, sendo reversivelmente oxidado de  $\text{Cu}^{+}$  a  $\text{Cu}^{2+}$ . Um exemplo de tal enzima é a plastocianina, a qual está envolvida no transporte de elétrons durante as reações

dependentes de luz da fotossíntese (Haehnel, 1984). O sintoma inicial da deficiência de cobre é a produção de folhas verde escuras, que podem conter manchas necróticas. As manchas necróticas aparecem primeiro nos ápices das folhas jovens e então se estende em direção à base da folha, ao longo das margens. As folhas podem também ficar retorcidas ou malformadas. Sob deficiência extrema de cobre, há possibilidade de as folhas caírem prematuramente.

**NÍQUEL.** A uréase é a única enzima que se conhece em plantas superiores que contem níquel, embora microrganismos fixadores de nitrogênio exijam níquel para a enzima que reprocessa parte do gás hidrogênio gerado durante a fixação (hidrogenase de captação de hidrogênio). Plantas deficientes em níquel acumulam uréia em suas folhas e, em consequência, apresentam necrose nos ápices foliares. Plantas cultivadas em solo raramente, ou mesmo nunca, mostram sinais de deficiência de níquel, pois as quantidades requeridas de níquel são minúsculas.

**MOLIBDÊNIO.** Os íons molibdênio ( $\text{Mo}^{4+}$  até  $\text{Mo}^{6+}$ ) são componentes de várias enzimas, incluindo nitrato redutase e nitrogenase. O nitrato catalisa a redução do nitrato a nitrito durante sua assimilação pela célula vegetal; a nitrogenase converte o gás nitrogênio a amônia em microrganismos fixadores de nitrogênio. O primeiro indicativo da deficiência de molibdênio é a clorose generalizada entre as nervuras e a necrose das folhas mais velhas. Em algumas plantas, como couve-flor e brócolis, por exemplo, as folhas podem não se tornar necróticas, mas, por outro lado, podem parecer retorcidas e, subsequente, morrer. Há possibilidade de a formação de flores ser impedida ou de as flores caírem prematuramente.

#### 4.3.2 - Solo, raízes e micróbios

O solo é um substrato físico, químico e biológico complexo. Ele é um material composto contendo fases sólidas, líquidas e gasosas. Todas essas fases interagem com os nutrientes minerais. As partículas inorgânicas da fase sólida fornecem um reservatório de potássio, magnésio e ferro. Também associados a essa fase sólida, estão os compostos orgânicos constituídos de nitrogênio, fósforo e enxofre, dentre outros elementos. A fase líquida do solo constitui a solução do solo, que contém íons minerais dissolvidos e serve como meio para o movimento de íons até a superfície da raiz. Gases como oxigênio, dióxido de carbono e nitrogênio estão dissolvidos na solução do solo, mas nas raízes os gases são trocados predominantemente pelos espaços de ar entre as partículas de solo.

Do ponto de vista biológico, o solo consiste em um ecossistema diversificado onde as raízes das plantas e os microrganismos do solo competem fortemente pelos nutrientes minerais. Apesar disso, as raízes e os microrganismos podem formar alianças para benefício mútuo (simbioses). A habilidade das plantas em obter água e nutrientes minerais do solo está relacionada à sua capacidade de desenvolver um extenso sistema radicular. No deserto, as raízes de plantas do gênero *Prosopis* podem estender-se por mais do que 50 m para alcançar a água subterrânea. Plantas cultivadas anualmente têm raízes que normalmente crescem entre 0,1 e 2,0 m em profundidade e se estendem lateralmente a distâncias de 0,3 a 1,0 m. Em pomares, os sistemas radiculares principais de árvores plantadas com espaçamento de 1 m entre si atingem um comprimento total de 12 a 18 km por árvore. A produção anual de raízes em ecossistemas naturais pode facilmente ultrapassar a de partes aéreas, de forma que, em muitos casos, as porções aéreas de uma planta representam apenas uma pequena parcela do vegetal.

## 5 - MAGNETISMO

Conta-se que na Grécia antiga (século VI a.C.), em uma região denominada Magnésia, foram feitas as primeiras observações de um certo tipo de pedra que tinha a propriedade de atrair objetos de ferro. Tais pedras foram mais tarde chamadas de ímãs e o seu estudo foi chamado de magnetismo.

Os ímãs possuem dois pontos a partir dos quais parecem se concentrar as forças magnéticas. Estes pontos atraem pequenos fragmentos de ferro quando estão próximos. Tais pontos foram denominados pólos.

Quando um ímã em forma de barra é suspenso de modo a poder girar livremente, observa-se que ele tende a se orientar, aproximadamente, na direção norte-sul. Por esse motivo, a extremidade que se volta para o norte geográfico foi chamada de pólo norte (N) e a extremidade que se volta para o sul geográfico foram chamados de pólo sul (S).

Quando colocamos dois ímãs próximo um do outro, observamos a existência de forças com as seguintes características:

- dois pólos norte se repelem ;
- dois pólos sul se repelem ;
- um pólo norte e um pólo sul se atraem.

A partir dessas observações concluímos que a Terra se comporta como se no seu interior houvesse um gigantesco ímã em forma de barra. Porém, medidas precisas mostram que os pólos desse grande ímã não coincidem com os pólos geográficos, embora estejam próximos (figura 21).

Por convenção, chamamos de norte da bússola à extremidade da agulha magnética que aponta em direção à região do pólo norte geográfico. Entretanto, como sabemos, pólos de mesmo nome se repelem e de nomes contrários se atraem. Então podemos concluir que: I) se a agulha magnética aponta para uma região próxima do pólo norte geográfico é porque nessa região existe um pólo sul magnético; II) a mesma agulha aponta, o seu pólo sul magnético, para uma região próxima do pólo sul geográfico. Logo, nas proximidades do pólo sul geográfico existe o pólo norte magnético (www.saladefisicia.com.br, 2004).



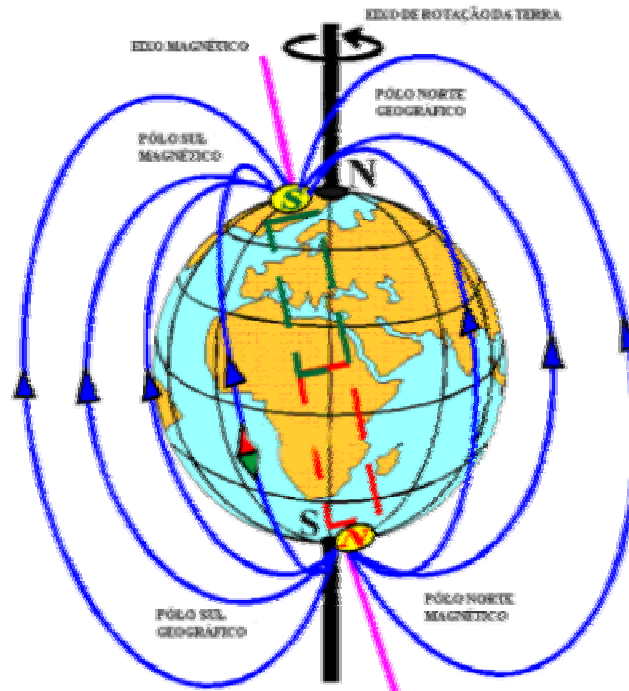


Figura 21: Relações entre os pólos magnéticos e geográficos. (www.saladefisica.br - 2004)

Os primeiros estudiosos tiveram a idéia de quebrar o ímã, para separar o pólo norte do pólo sul. Porém, ao fazerem isso tiveram uma surpresa: no ponto onde houve a quebra, apareceram dois novos pólos de modo que os dois pedaços são dois ímãs. Por mais que se quebre o ímã, cada pedaço é um novo ímã. Portanto, concluíram que não é possível separar o pólo norte do pólo sul.

Dividindo-se um ímã permanente ao meio, nenhuma das duas metades resultantes perde o magnetismo ou se torna um monopolo (pólo isolado), ao contrário, cada uma delas se transforma em um novo ímã permanente, apresentando os respectivos pólos norte e sul em suas extremidades. Dividindo em pedaços cada vez menores chegar-se-ia a ímãs minúsculos, mas ainda com as mesmas características do ímã original. Assim, cada um desses ímãs, embora de dimensões e poder reduzidos, ainda apresentaria dois pólos magnéticos (dipolo). A abstração destes ímãs elementares foi, inicialmente, denominado de ímãs moleculares ou atômicos e, posteriormente, dipolos magnéticos. Não existe uma carga ou pólo magnético isolado, ou seja, não há nenhuma maneira de dividir o dipolo magnético em pólos separados, portanto, o dipolo é a menor unidade fundamental do magnetismo. Esta é uma diferença fundamental entre os dipolos elétricos e magnéticos, uma vez que os dipolos elétricos podem ser separados em seus elementos constituintes (carga elétrica positiva e negativa).

### Pólos Magnéticos

São os equivalentes magnéticos das cargas elétricas, conhecidas também como monopolos magnéticos. Sua existência não é estabelecida experimentalmente apesar de décadas de tentativas de sua detecção. Ocorrem sempre aos pares (Norte e Sul), e na superfície da amostra. Apesar de não existirem, o conceito é muito útil em cálculos micromagnéticos, ou seja no cálculo dos campos internos a amostras e fenômenos relacionados como estrutura de domínios. Define-se através do equivalente da lei de Coulomb, pela força ( $F$ ) entre dois pólos  $m_1$  e  $m_2$ , que ocorrem entre dois ímãs cilíndricos :

$$F = k \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2, \text{ (} k=1/\mu_0 c^2 \text{ no Sistema Internacional e } k=1 \text{ no cgs)}$$

Um pólo cria um campo magnético ao seu redor responsável por exercer a força em outro pólo próximo. Esta força é proporcional ao campo ou à *intensidade do campo magnético*  $H$  (Cullity, 1972)

### Campo Magnético

Para interpretar a ação dos ímãs, dizemos que eles criam em torno de si um campo, denominado indução magnética ou, simplesmente, campo magnético, também conhecido como campo solenoidal, por ser o produzido no laboratório por solenóides. Para um solenóide muito longo em seu centro  $H = ni/l$ , onde  $n$  é a densidade linear de espiras,  $i$  a corrente que passa pelas espiras e  $l$  o comprimento. A unidade no Sistema Internacional é Ampere/m e no cgs é o Oersted ( $1 \text{ Oe} = 80 \text{ A/m}$ ). Utiliza-se um outro campo magnético que é representado pelas conhecidas linhas de força de indução que é a **Indução Magnética ( $\vec{B}$ )**, também conhecida por densidade de fluxo por ser quantificado pelo número de linhas por unidade de área no espaço livre e nos materiais (Vilate, 1999). Esse campo, que é representado por  $\vec{B}$  (figura 22), tem sua direção determinada usando um pequeno ímã em forma de agulha (bússola). Colocamos essa bússola próxima do ímã. Quando a agulha ficar em equilíbrio, sua direção é a do campo magnético. O sentido de  $\vec{B}$  é aquele para o qual aponta o norte da agulha.

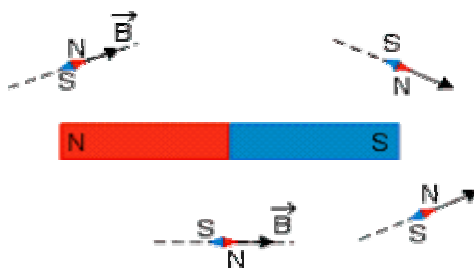


Figura 22: Representação esquemática de campo magnético. (www.scite.pro.br - 2004)

Para visualizar a ação do campo, usamos aqui o mesmo recurso adotado no caso do campo elétrico: as linhas de campo. Essas linhas são desenhadas de tal modo que, em cada ponto, o campo magnético é tangente à linha. O sentido da linha é o mesmo sentido do campo.

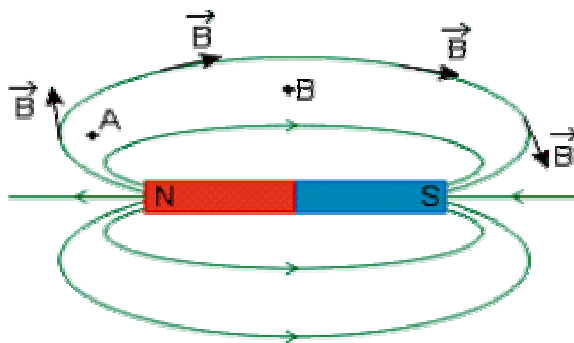


Figura 23: Representação esquemática de linhas de campo magnético. (www.scite.pro.br - 2004)

Verifica-se aqui uma propriedade semelhante à do caso do campo elétrico: o campo é mais intenso onde as linhas estão mais próximas. Assim, o campo magnético no ponto A é mais intenso do que o campo no ponto B.

As linhas do campo magnético são também conhecidas como linhas de indução.

O átomo pode comportar-se como um dipolo magnético, e isto pode ser visualizado por uma simples analogia. Fazendo-se passar uma corrente elétrica (elétrons) por uma espira de fio condutor verifica-se o estabelecimento de um campo magnético semelhante ao de um ímã permanente. Da mesma maneira, tomando o modelo do átomo formado por um núcleo envolto por um par de elétrons em órbitas circulares ou elípticas, temos elétrons em movimento e, portanto, uma fonte de magnetismo. Ainda, considerando o modelo do átomo como um sistema planetário, imagina-se que o elétron girando em torno de seu próprio eixo (spin), também produza um campo magnético, assim como acontece com a terra. Portanto, é possível dizer que, uma composição destas duas fontes atômicas de magnetismo, seja a origem do campo magnético apresentado externamente pelos materiais magnéticos. Em outras palavras, os fenômenos magnéticos dos materiais são devidos aos elétrons dos átomos, que produzem um campo magnético devido ao seu movimento. O núcleo também possui um certo magnetismo, mas este é insignificante quando comparado ao dos elétrons.

Embora o elétron seja uma partícula pontual com um raio ínfimo de aproximadamente 3

fm ( $10^{-15}$  m), ele é fundamental para o magnetismo e materiais magnéticos. A massa ( $m_e$ ) do elétron é  $9,11 \times 10^{-31}$  kg, sua carga ( $e$ ) negativa é  $1,6 \times 10^{-19}$  C e o raio ( $r$ ) de sua órbita no átomo de hidrogênio.

O campo magnético produzido no centro da órbita, isto é, no próton do átomo de hidrogênio, será de 12,5 T. Um campo de 125 kG é bastante elevado e só é produzido em laboratório com um solenóide supercondutor ou com pulso magnético de curta duração, por meio de uma descarga elétrica de um capacitor carregado com alta voltagem em um solenóide. Um ímã permanente moderno produz um campo da ordem de 1,5 T enquanto que o campo magnético terrestre tem magnitude da ordem de  $10^{-4}$  T. Efeitos magnéticos em materiais se originam nas minúsculas correntes elétricas associadas ou com elétrons em órbitas atômicas ou com spin de elétrons (Cullity, 1972)

### 5.1 - MOMENTO DE DIPOLO MAGNÉTICO ORBITAL

O conceito de momento está baseada na inércia da matéria, isto é, o momento é definido pelo produto da massa de um objeto pela sua velocidade. Como velocidade é um vetor, o momento também é, e tem a mesma direção da velocidade. O momento angular de um corpo é determinado pelo produto da sua massa pela sua velocidade e também pela distância da massa ao centro do movimento, ou seja, o raio. A característica fundamental do momento angular é ser conservativa, isto é, se nenhum torque atuar sobre o objeto seu momento angular permanecerá inalterado (Faria e Lima, 2005).

De acordo com a mecânica quântica, o momento angular orbital é quantizado, ou seja, só pode assumir certos valores discretos. O momento angular deve ser um múltiplo inteiro de  $\hbar/2\pi$ , sendo que  $h$  é uma constante fundamental chamada constante de Planck. Portanto, tem-se  $L$  igual a  $(\hbar/2\pi)$ ,  $2(\hbar/2\pi)$ ,  $3(\hbar/2\pi)$  e assim por diante.

Utilizando os valores da carga e massa do elétron, já mencionados, e da constante de Planck,  $6,63 \times 10^{-34}$  J s, obtém-se uma constante fundamental que foi denominada magnéton de Bohr.

O movimento dos elétrons no átomo não ocorre em órbitas bem definidas, mas mesmo assim pode-se, como ilustração, utilizar este modelo para estimar aproximadamente a ordem de grandeza do campo magnético produzido por um elétron em movimento. Neste modelo o elétron mantém-se em uma órbita circular, com uma velocidade de  $2,2 \times 10^6$  m s<sup>-1</sup>.

Portanto, o modelo clássico para o momento magnético orbital corresponde ao da teoria quântica. Pode-se calcular o momento magnético de um átomo que, quando submetido a um campo de 1,0 T, apresenta um torque ( $\Gamma$ ) de  $2,23 \times 10^{-23}$  N m (Cullity, 1972)

## 5.2 - MOMENTO MAGNÉTICO INTRÍNSECO

Novamente, de acordo com a teoria quântica, sabe-se que este momento angular também é quantizado, mas, neste caso ele deve ser  $h/2\pi$  multiplicado pela metade de um número inteiro. Da mesma maneira que no caso anterior,  $S$  (momento angular intrínseco dos elétrons) só pode assumir valores múltiplos de  $(h/2\pi)$ . Portanto, o momento magnético intrínseco quantizado de um elétron na primeira órbita atômica é dado por  $[(1/2) (e/m_e) (h/2\pi)]$ :

Assim, o momento de dipolo magnético de um elétron na primeira órbita devido a rotação sobre seu próprio eixo, também é, exatamente igual ao momento magnético orbital, ou seja: um magnéton de Bohr. Sabe-se que a velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m s<sup>-1</sup>) é o limite que se pode atingir e que, um objeto girando sobre seu próprio eixo, possui um momento angular e, devido a inércia, tende a se manter em rotação.

Claramente, uma velocidade maior que a da luz é impossível e, este cálculo mostra que, a descrição clássica do momento magnético intrínseco do elétron não é satisfatória. Embora o raciocínio, utilizando o modelo clássico do átomo, induza a se pensar no elétron como uma esfera com sua superfície carregada negativamente e tendo um momento magnético devido à rotação, isto não deve corresponder a realidade, pois o cálculo do momento resultante leva a um valor inferior ao magnéton de Bohr. Isto devido ao fato de não se saber a forma do elétron nem a sua distribuição de carga, servindo este modelo somente para uma visualização inicial. O único jeito de conseguir um resultado correto utilizando o modelo clássico é supondo que a massa eletrônica (ou a carga) não esteja distribuída uniformemente sobre o volume da esfera, ou então, que o elétron se comporte como um disco girante com carga negativa. Assim, pode-se dizer que, o modelo clássico para o momento magnético intrínseco, não corresponde ao da teoria quântica (Cullity, 1972)

## 5.3 - MOMENTOS MAGNÉTICOS ATÔMICOS

Os átomos contêm elétrons em movimento de rotação e de translação e o momento magnético associado com cada um destes movimentos é uma quantidade vetorial. No primeiro caso, o momento é paralelo ao eixo de rotação e, no segundo, normal ao plano da

órbita.

O momento magnético do átomo é a soma vetorial de todos os momentos eletrônicos e isto abre duas possibilidades. A primeira, própria dos materiais diamagnéticos, ocorre quando os momentos magnéticos de todos os elétrons estão orientados de tal forma que eles se cancelam mutuamente e o átomo, como um todo, não apresenta nenhum momento magnético. A segunda possibilidade acontece quando o cancelamento dos momentos magnéticos é somente parcial e o átomo ainda permanece com um certo momento magnético. Substâncias constituídas por estes tipos de átomos são denominados paramagnéticos, ferromagnéticos, antiferromagnéticos e ferrimagnéticos (Faria e Lima, 2005).

Quando na forma de cilindro e colocados em um campo magnético não homogêneo, os compostos paramagnéticos procurarão se alinhar paralelamente ao campo. No caso de a substância ser diamagnética esta procurará se alinhar diagonalmente em relação ao campo, ficando com as suas extremidades na região em que o campo for menos intenso. Dai, conseqüentemente, surgiu o nome desses materiais.

#### 5.4 - DIAMAGNETISMO

Substâncias diamagnéticas não apresentam um momento magnético externo, ou seja, pólos magnéticos como um ímã permanente, mas, quando submetidas a um campo externo, sempre respondem com uma tendência de se afastarem da região em que este campo é mais forte e, por este motivo, diz-se que possuem magnetismo negativo. Quando na presença deste campo produzem seu próprio campo magnético, mas sempre com uma polaridade oposta. Neste aspecto diferem completamente dos ímãs permanentes que, além de possuírem um campo magnético próprio, de um campo externo, ainda podem ser atraídos ou repelidos pelo campo magnético, de acordo com sua polaridade magnética.

O diamagnetismo é resultado do movimento orbital dos elétrons que, circulando ao redor do núcleo, formam um anel eletrônico de corrente e produzem um campo magnético. Não se gera um campo magnético externo ao material, pois para cada órbita têm-se dois elétrons circulando em direções opostas e, assim, nenhum momento magnético é produzido. Neste ponto, como ilustração, pode-se calcular a corrente, em amperes, necessária para produzir um magnéton de Bohr.

Assim, o emparelhamento orbital de dois elétrons girando em sentidos opostos explica o

momento magnético nulo dos átomos na ausência de um campo magnético aplicado externamente ao material. Na presença de um campo externo o emparelhamento fica desbalanceado e, de acordo com a lei de Lenz, haverá uma alteração na velocidade dos elétrons no sentido de evitar qualquer mudança no campo magnético produzido pelo átomo. Em outras palavras, é como se, nos "anéis eletrônicos" correspondentes a órbita dos elétrons fosse gerada uma corrente em sentido contrário, que criaria um campo magnético oposto ao gerado pelo átomo. Assim, se o campo magnético de um elétron, estiver ou não, na direção do campo aplicado, o elétron opõe-se a este campo, diminuindo ou aumentando sua velocidade, mas agora a soma vetorial dos momentos magnéticos no material não é mais nula. Como o anel eletrônico de corrente, não possui resistência elétrica, este efeito permanece enquanto o átomo estiver sujeito ao campo aplicado, ou seja, o momento magnético do átomo é diminuído enquanto este permanecer sob ação deste campo magnético externo (Faria e Lima, 2005).

O resultado coletivo de todos os átomos do material é uma reação contrária ao campo magnético e, portanto, a tendência observada macroscopicamente, deste material se afastar do campo aplicado.

## 5. 5 - PARAMAGNETISMO

Embora uma explicação quantitativa do fenômeno paramagnético exija conceitos de mecânica quântica, é possível visualizar este comportamento usando ainda o modelo clássico do átomo. Como foi visto anteriormente, mesmo existindo uma condição de emparelhamento dos elétrons, na presença de um campo magnético externo, o momento angular orbital do elétron da origem ao diamagnetismo. Neste caso um elétron gira em sentido oposto ao outro e a resultante magnética do momento angular intrínseco é nula. Quando o átomo contém um número ímpar de elétrons, existirá um momento magnético resultante devido ao elétron não emparelhado e isto dá origem ao paramagnetismo. É possível encontrar átomos de número atômico elevado e com número ímpar de elétrons que apresentam diamagnetismo ao invés de paramagnetismo. Este é o caso do bismuto que tem número atômico 83 e um elétron desemparelhado na última camada e é diamagnético ( $\chi = -1,7 \times 10^{-5}$ ).

Assim, pode-se dizer que um material exibe paramagnetismo quando seus átomos possuem elétrons desemparelhados e, na presença de um campo magnético externo, produzira seu próprio campo magnético, resultante do alinhamento dos dipolos elementares

atômicos. Agitações térmicas dos átomos se opõem a qualquer tipo de ordem e tenta manter os dipolos atômicos dispostos aleatoriamente.

Substâncias paramagnéticas apresentam uma susceptibilidade magnética de intensidades comparáveis a das diamagnéticas, mas positiva e depende da temperatura. O fenômeno paramagnético diferencia-se do diamagnético pelo fato de que neste último o momento atômico é induzido pelo campo magnético externo. No paramagnetismo os momentos atômicos existem mesmo na ausência de um campo magnético externo. Quando um campo é aplicado os momentos atômicos se orientam em sua direção e produzem um campo externo. Estas substâncias também podem ser caracterizadas pela susceptibilidade magnética (Faria e Lima, 2005).

## 5.6 – MAGNETIZAÇÃO ESPONTÂNEA - FERROMAGNETISMO

No diamagnetismo e no paramagnetismo ocorre um alinhamento dos momentos magnéticos atômicos quando o material é colocado sob um campo magnético. Diz-se que uma magnetização foi induzida pelo campo magnético aplicado externamente ao material. Nestes dois casos esta magnetização induzida persiste enquanto o campo magnético estiver aplicado ao material. Magnetização espontânea ou alinhamento dos momentos magnéticos ocorre em certos materiais mesmo na ausência de um campo externo. A mera existência de ímãs permanentes a base de ferro na natureza é a mais persuasiva e direta evidência de magnetismo espontâneo. Dai vem o nome ferromagnetismo para os materiais que apresentam este fenômeno magnético. Como estes materiais exibem magnetismo permanente em temperaturas suficientemente baixas, é evidente que os momentos de dipolos magnéticos podem ser espontaneamente alinhados. Estes momentos se alinham devido a existência de um campo magnético interno chamado campo molecular. Este campo, inicialmente hipotético, que só pode ser explicado satisfatoriamente pela mecânica quântica, envolve uma interação eletrônica chamada interação de troca. Podem-se usar meios clássicos para descrever como a interação de troca faz com que haja um alinhamento espontâneo dos dipolos magnéticos. A energia de troca é minimizada quando os momentos de dipolos atômicos estão alinhados paralelamente. Além do ferro este é o caso do cobalto e níquel, nos quais os átomos vizinhos, espontaneamente desenvolvem um alinhamento paralelo dos momentos magnéticos (Faria e Lima, 2005).

## 5.7 - FONTES DE CAMPO MAGNÉTICO

### O EXPERIMENTO DE OERSTED



Em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted percebeu que uma bússola colocada próxima de um fio conduzindo corrente elétrica, sofria desvios. Isso mostrou que as correntes elétricas também produzem campos magnéticos.

Mais tarde as pesquisas revelaram que todo campo magnético é produzido pelo movimento de cargas elétricas. No caso dos ímãs é o movimento dos elétrons que produz o campo magnético. Hoje sabemos que:

- a) Uma carga elétrica em repouso produz apenas campo elétrico.
- b) Uma carga elétrica em movimento produz dois campos: um campo elétrico e um campo magnético.

O cálculo do campo magnético produzido pelas cargas em movimento é em geral bastante complexo. Assim analisaremos apenas alguns casos particulares.

#### 5.7.1 – Espira circular

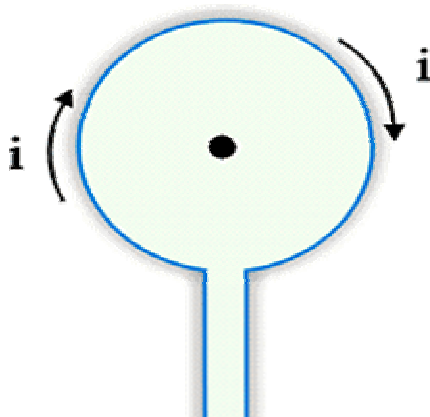


Figura 24: Visão em perspectiva da espira, com as linhas do campo magnético produzido. O sentido do campo pode ser obtido pela regra da mão direita. (www.scite.pro.br - 2004)

Em analogia com os ímãs, a face por onde "saem" as linhas é chamada de face norte e a face por onde "entram" as linhas é chamada de face sul. Observe que as extremidades da S e do N nos dão o sentido da corrente.

Essa atribuição de polaridade às faces, nos ajuda a decidir o tipo de força que ocorre entre duas espiras ou entre uma espira e um ímã.

Consideremos duas espiras circulares, percorridas por correntes elétricas, colocadas face a face, isto é, com seus planos paralelos, observamos que:

- a) duas faces norte se repelem
- b) duas faces sul se repelem
- c) uma face norte e uma face sul se atraem

No centro da espira, a intensidade do campo magnético é dada por:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

onde R é o raio da espira.

#### 5.7.2 – Bobina chata

Se enrolarmos o condutor de modo a obtermos várias espiras circulares de mesmo raio e superpostas compactamente, como ilustra a Figura 25, obterá o que se chama **bobina chata**. No centro da bobina a intensidade do campo é:

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2R}$$

onde N é o número de espiras.

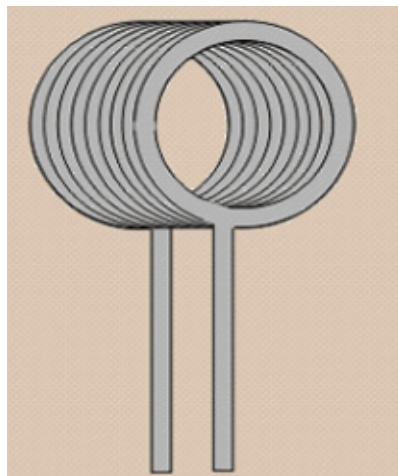


Figura 25: Representação esquemática de uma bobina chata. (www.scite.pro.br - 2004)

### 5.7.3 - Solenóides

Na Figura 26 representamos um fio enrolado de modo que temos várias espiras circulares, uma ao lado da outra. Esse objeto é denominado solenóide ou bobina longa.

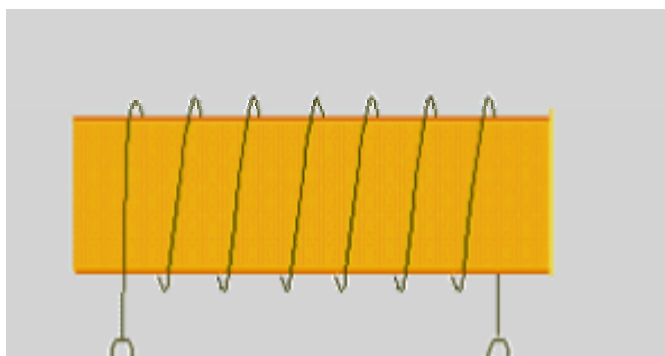


Figura 26 : Representação esquemática de um solenóide. (www.scite.pro.br - 2004)

Quando o comprimento do solenóide ( $l$ ) é bem maior do que o raio das espiras ( $R$ ) e o solenóide são percorridos por corrente elétrica forma-se um campo magnético; no interior do solenóide o campo é aproximadamente uniforme.

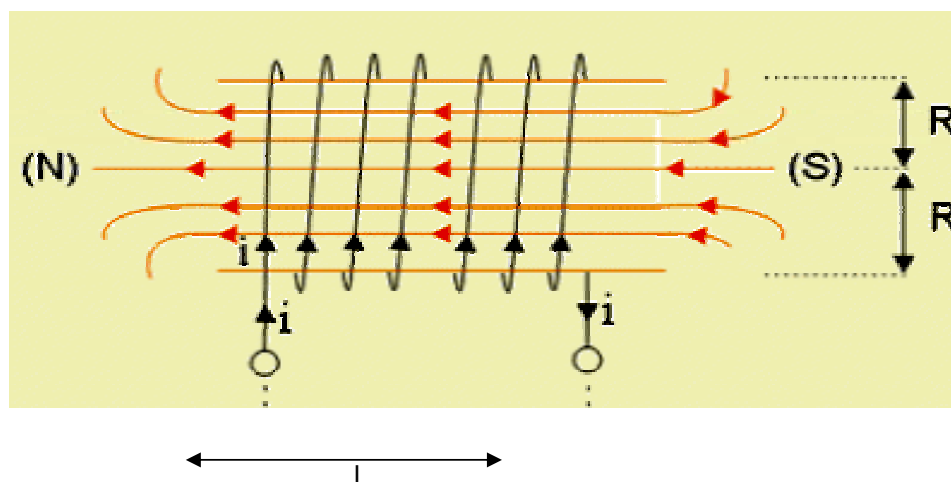


Figura 27: Representação esquemática das linhas de campo de um solenóide. (www.scite.pro.br - 2004)

A intensidade do campo magnético no interior do solenóide é dada por:

$$H = ni/l$$

onde  $n$  é o número de espiras.

A extremidade do solenóide por onde "saem" as linhas de campo (Figura 27) comporta-se como um pólo norte e a extremidade por onde "entram" as linhas, comporta-se como um pólo sul; o campo produzido por um solenóide é semelhante ao campo produzido por um ímã em forma de barra.

### 5.8 - CAMPO MAGNÉTICO

O movimento dos elétrons no interior da matéria, produz campo magnético. O campo magnético produzido por um elétron é semelhante ao campo produzido por uma espira circular, isto é, cada elétron produz um campo semelhante ao de um minúsculo ímã denominado ímã elementar.

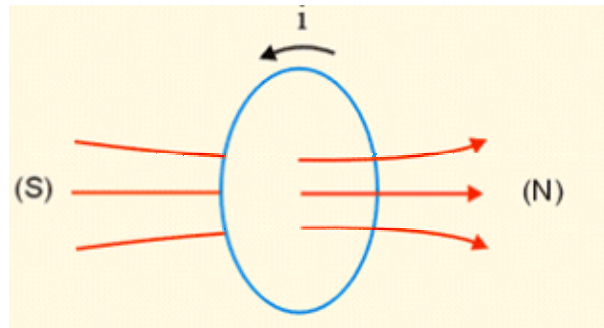


Figura 28: Campo magnético de uma espira. (www.scite.pro.br - 2004)



Figura 29: Campo magnético de um ímã fixo. (www.scite.pro.br - 2004)

Nos corpos macroscópicos temos um número muito grande de elétrons que produzem campos magnéticos em todas as direções (Figura 30), de modo que o efeito médio é nulo, isto é, em geral os corpos não apresentam efeitos magnéticos.

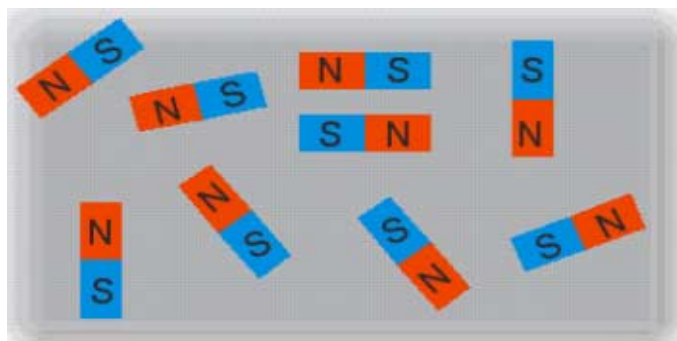


Figura 30: Campos magnéticos distribuídos em um material. (www.scite.pro.br - 2004)

Há porém alguns materiais que, na presença de um campo magnético, têm seus ímãs elementares aproximadamente alinhados (Figura 31) transformando-se momentaneamente em ímã. É o caso do ferro, que é atraído pelos ímãs.

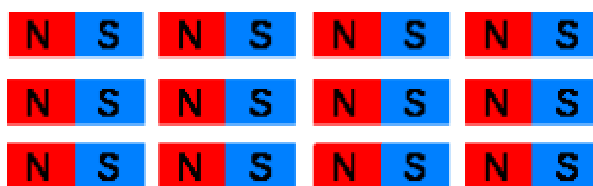


Figura 31: Campos magnéticos distribuídos e alinhados. (www.scite.pro.br - 2004)

Em geral, com a retirada do campo magnético externo os ímãs elementares desses materiais voltam à desordem inicial, perdendo seu efeito magnético. No entanto há alguns materiais que, após a retirada do campo externo mantêm seus ímãs elementares aproximadamente alinhados, transformando-se em ímãs permanentes.

Os materiais que têm comportamento semelhante ao do ferro são chamados de ferromagnéticos. Como exemplos podemos citar o cobalto, o níquel e o gadolínio.

PONTO CURIE: Consideramos um ímã permanente. Aquecendo-se esse corpo, aumenta a agitação das moléculas. Desse modo, atingindo uma certa temperatura, a agitação pode desfazer o alinhamento dos ímãs elementares. Essa temperatura é denominada ponto de Curie. No caso do ferro, o ponto Curie é  $770^{\circ}\text{C}$ .

## 5.9 - CAMPO MAGNETICO UNIFORME

Um solenóide (bobina) é constituído de espiras de um fio de cobre enroladas na forma

de um cilindro. Este fio é recoberto com verniz que propicia uma isolamento elétrica entre as espiras. Aplicando-se uma diferença de potencial elétrico a esta bobina uma corrente irá fluir pelas espiras provocando o aparecimento de um campo magnético (figura 32).

Se o comprimento do solenóide for muito maior do que o seu diâmetro, o campo magnético produzido na região central do solenóide será uniforme. Assim, a maneira mais simples de se produzir um campo magnético uniforme é por meio de um solenóide longo e fino. Nas extremidades as linhas magnéticas divergem e o campo, conseqüentemente, é reduzido a metade. Portanto, nesta região o campo não é uniforme e apresenta um gradiente relativamente grande.

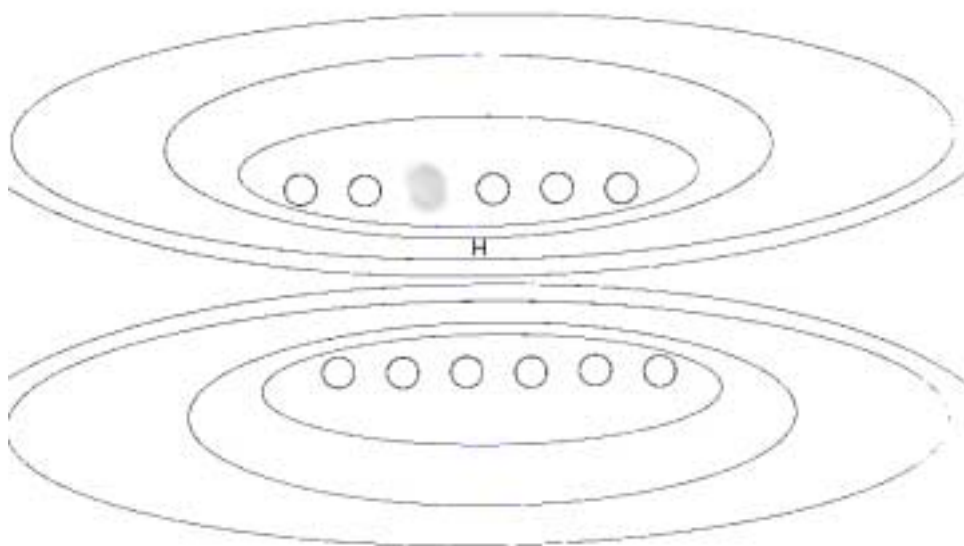


Figura 32: Campo Magnético em um solenóide - corte longitudinal. (Faria e Lima, 2005)

## 5.10 - ELETROÍMÃ

Colocando-se um núcleo de ferro no interior de um solenóide, observamos que o campo magnético fica muito mais intenso (Figura 33).

Tal objeto é denominado eletroímã e é usado em aparelhos tais como campainhas e guindastes magnéticos.

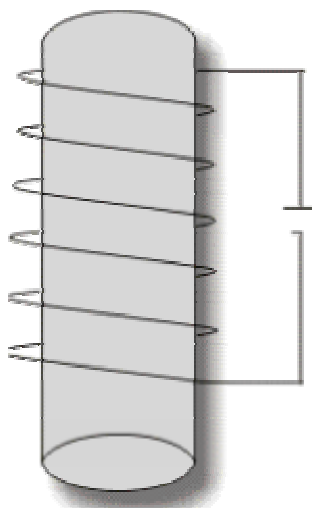


Figura 33: Esquema de um eletroímã. (www.scite.pro.br - 2004)

### 5.11 -INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Consideremos uma superfície plana de área  $A$  situada numa região onde há um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ . Adotemos um vetor  $\vec{n}$ , perpendicular à superfície (Figura 34).

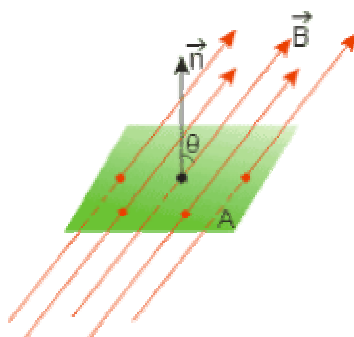


Figura 34: Demonstração esquemática de indução eletromagnética – objetos plano. (www.scite.pro.br - 2004)

O fluxo de  $\vec{B}$  através da superfície é dado por:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

Onde  $\theta$  é o ângulo entre  $\vec{n}$  e  $\vec{B}$ .

Quando a superfície não for plana ou o campo não for uniforme, dividimos a superfície em "pequenas" porções de modo que em cada parte o campo possa ser considerado constante; aplicamos a fórmula a cada porção e fazemos a soma.

Ao adotarmos o vetor  $\vec{n}$  temos duas possibilidades e dois ângulos diferentes.

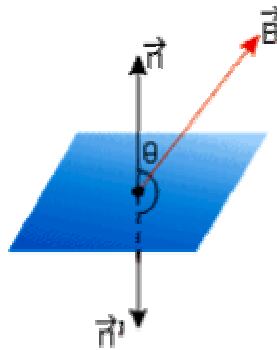


Figura 35: Demonstração esquemática de indução magnética - objetos irregulares.  
(www.scite.pro.br - 2004)

Se considerarmos o vetor  $\vec{n}$ , o fluxo é:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

e se considerarmos o vetor  $\vec{n}'$ , o fluxo é:

$$\phi' = B \cdot A \cdot \cos \theta'$$

mas  $\theta + \theta' = 180$  e assim:

$$\cos \theta' = -\cos \theta$$

Portanto,  $\phi' = -\phi$  ou  $|\phi| = |\phi'|$

Assim, a orientação de  $\vec{n}$  influi apenas no sinal do fluxo. Mas, como veremos adiante, o que importa mesmo é a variação do fluxo. Assim escolhemos uma orientação qualquer e a mantemos até terminar os cálculos.

No Sistema Internacional, a unidade de fluxo é o weber (Wb).



## 5.12 - CORRENTES INDUZIDAS

Consideremos um circuito em uma região onde há campo magnético. A experiência mostra que, toda vez que o fluxo através do circuito varia, aparece no circuito uma corrente elétrica, denominada corrente induzida:

Deste modo vemos que o fluxo pode variar de três modos:

A corrente existe enquanto o fluxo estiver variando. Quando o fluxo deixar de variar, a corrente se anula.

1º) variando  $\vec{B}$

2º) variando A (por exemplo, deformando o circuito)

3º) variando  $\theta$  (girando o circuito)

A produção de corrente por meio da variação do fluxo magnético é denominada indução eletromagnética e foi descoberta pelo físico e químico inglês Michael Faraday (1791 - 1867), que estabeleceu a Lei de Faraday:

Consideremos um circuito no qual foi induzida uma corrente de intensidade  $i$ . Tudo se passa como se, dentro do circuito houvesse um gerador ideal, de força eletromotriz  $E$  dada por:

$$E = R \cdot i$$

onde  $R$  é a resistência do circuito. Essa força eletromotriz é chamada de força eletromotriz induzida.

Sendo  $\Delta \Phi$  a variação do fluxo num intervalo de tempo  $\Delta t$ , Faraday descobriu que o valor médio de  $E$  é dado por:

$$|E_m| = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t}$$

Algumas vezes essa fórmula aparece do seguinte modo:

$$\mathcal{E}_m = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Neste caso, o sinal "menos" serve apenas para lembrar que a força eletromotriz induzida se opõe à variação de fluxo.

## 6 - SISTEMAS DE CULTIVO - HIDROPÔNICO

No século XIX, vários pesquisadores incluindo Nicolas-Theodore de Saussure, Julius von Sachs, Jean-Baptiste-Joseph-Dieudonne Boussingault e Wilhelm Knop abordaram o problema de cultivar plantas com as raízes imersas em uma solução nutritiva contendo apenas sais inorgânicos. A demonstração de que as plantas podiam crescer normalmente sem solo ou matéria orgânica provou, inequivocamente, que as plantas podem satisfazer suas necessidades usando apenas elementos inorgânicos e a luz solar.

A técnica de cultivar plantas com suas raízes imersas em solução nutritiva, sem solo é chamada de cultivo em solução ou hidropônica (Gericke, 1937). Cultivo hidropônico bem-sucedido exige um grande volume de solução nutritiva ou ajuste da solução nutritiva, para impedir que a absorção de nutrientes pelas raízes produza mudanças radicais nas concentrações dos nutrientes e no pH do meio. Um suprimento satisfatório de oxigênio ao sistema radicular - também crítica - pode ser alcançado borbulhando-se vigorosamente ar pelo meio.

O sistema de cultivo hidropônico é utilizado na produção comercial de muitas plantas cultivadas em estufas. Em uma das formas de cultivo hidropônico comercial, elas são cultivadas em um material de suporte, como areia, brita, vermiculita ou argila expandida. Soluções nutritivas circulam, então, através do material de suporte e as soluções velhas são removidas por lixiviação. Em outra forma de cultura hidropônica, as raízes das plantas são depositadas sobre urna caneleira e as soluções nutritivas fluem em uma fina camada ao longo da caneleira, sobre as raízes (Cooper, 1979; Asher e Edwards, 1983). Esse sistema de cultivo em lâmina de nutrientes assegura que as raízes recebam um amplo suprimento de oxigênio.

Ao longo dos anos desenvolveram-se muitas formulações para as soluções nutritivas. As primeiras formulações desenvolvidas por Knop, na Alemanha, incluíam somente  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  e um sal de ferroso. Naquela época, acreditava-se que tal solução nutritiva continha todos os minerais exigidos pelas plantas, mas aqueles experimentos foram conduzidos com produtos químicos contaminados com outros elementos, hoje reconhecidos como essenciais (como boro ou molibdênio). Uma solução de Hoagland modificada contém todos os elementos minerais que se sabe serem necessários ao rápido crescimento das plantas. As concentrações desses elementos são fornecidas, sem produzir sintomas de salinidade ou estresse salino e, assim, podem ser várias ordens de magnitude maiores do que

as encontradas no solo ao redor das raízes. Por exemplo, enquanto o fósforo esta presente na solução solo em concentrações normalmente menores do que 0,06 ppm, solução nutritiva ele é oferecido a 62 ppm (Epstein, 1972). Tais níveis iniciais altos permitem as plantas crescerem no meio por períodos sem reposição nutrientes. Muitos, no entanto, diluem suas soluções nutritivas em muitas vezes e as trocam com frequência para minimizar as flutuações na concentração de nutrientes no meio e no tecido vegetal.

Uma outra propriedade importante da formulação de Hoaland (tabela 3) modificada é que o nitrogênio é suprido tanto na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) quanto de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Suprir nitrogênio em solução balanceada de cátions e ânions tende a reduzir o rápido aumento no pH do meio, que é comumente observado quando nitrogênio é fornecido apenas na forma do anion nitrato (Asher e Jwards, 1983). Mesmo quando o pH do meio é mantido neutro, a maioria das plantas cresce melhor se tiver acesso tanto a  $\text{NH}_4^+$  quanto a  $\text{NO}_3^-$ , pois a absorção e a assimilação das duas formas de nitrogênio promovem um balanço cátion - anion dentro da planta. (Raven e Smith, 1976; Bloom, 1994).

Tabela 3 - Composição de uma solução de Hoagland modificada para cultivo de plantas

Composto	Peso molecular	Concentração da solução-estoque	Concentração da solução-estoque	Volume de solução-estoque por volume final de solução	Elemento	Concentração final do elemento	
	g mol <sup>-1</sup>	MM	g L <sup>-1</sup>	mL		µM	ppm
<b>macronutrientes</b>							
KNO <sub>3</sub>	101,10	1.000	101,10	6,0	N	16.000	224
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	236,16	1.000	236,16	4,0	K	6.000	235
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115,08	1.000	115,08	2,0	Ca	4.000	160
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246,48	1.000	246,49	1,0	P	2.000	62
					S	1.000	32
					Mg	1.000	24
<b>micronutrientes</b>							
KCl	74,55	25	1.864		Cl	50	1,77
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	61,83	12,5	0,773		B	25	0,27
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	169,01	1,0	0,169		M		2,0 0,11
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	287,54	1,0	0,288	2,0	Zn		2,0 0,13
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	249,68	0,25	0,062		Cu		0,5 0,03
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> (85%MoO <sub>3</sub> )	161,97	0,25	0,040		Mo		0,5 0,05
NaFeDTPA (10%Fe)	468,20	64	30,0	0,3-1,0	Fe	16,1-53,7	1,00-3,00
<b>Opcionais</b>							
NiSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	262,86	0,25	0,066	2,0	Ni	0,5	0,03
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	284,20	1.000	284,20	1,0	Si	1.000	28

fonte: Segundo (Epstein, 1972). *nota:* Os macronutrientes são adicionados separadamente a partir das soluções -estoque para impedir a precipitação durante o preparo da solução-nutritiva.

Uma solução estoque mista e preparada contendo todos os micronutrientes, exceto o ferro. O ferro é adicionado como lenotriaminapentacetato ferreo de sódio (NFeDTPA), nome comercial Ciba-Geigy Sequestreno 330 Fe; algumas plantas, como o milho requer os níveis mais elevados de ferro.

O níquel esta usualmente presente como contaminante de outros produtos químicos, de forma que ele pode não precisar ser aplicado de forma explicita.

O silício, se incluído, deveria ser adicionado primeiro e, então, ajustado o pH com HCl para impedir a precipitação de outros nutrientes. (Epstein, 1972)

Um problema significativo das soluções nutritivas é a manutenção da disponibilidade de ferro. Quando fornecido na forma de um sal inorgânico como  $\text{FeSO}_4$  ou  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ , o ferro pode precipitar da solução como hidróxido de ferro. Se sais de fosfato estão presentes, o fosfato de ferro insolúvel também será formado. A precipitação do ferro na solução torna-o fisicamente indisponível para a planta, a não ser que sais de ferro sejam adicionados com frequência. Pesquisadores mais antigos resolveram o problema adicionando ferro. Compostos como esses são chamados de quelantes, pois formam complexos solúveis com cátions, como ferro e cálcio, nos quais o cátion é retido por forças iônicas, e não por ligações covalentes. Cátions que formam quelatos são, então, fisicamente mais disponíveis para as plantas.

Soluções nutritivas mais modernas usam os produtos químicos ácido etilenodiaminatetracético (EDTA) ou ácido dietilenotriaminapentacético (DTPA ou ácido pentético), (Sievers e Bailar, 1962). O destino do quelato durante a absorção do ferro pelas células radiculares não é claro; o ferro pode ser liberado do quelante quando é reduzido de  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  na superfície radicular. O quelante pode difundir-se de volta para a solução nutritiva (ou do solo) e reagir com outro íon  $\text{Fe}^{3+}$  ou com outros íons metálicos. Após a absorção, o ferro é mantido solúvel por formação de quelato com compostos orgânicos presentes nas células vegetais. Os ácidos podem desempenhar um papel importante na formação de quelatos com ferro e no transporte de longa distância do mesmo no xilema.

## 6.1 - IRRIGAÇÃO

Irrigação como praticada hoje em agricultura mundial é baseada nos antigos princípios, a água é cara e deve ser usada tão eficazmente quanto possível. Se a água é de superfície for usada, devem ser construídas represas e vias fluviais e devem ser mantidas. Se for bombeada água do chão, deve ser gasta energia para elevar isto à superfície. Um sistema de irrigação é considerado eficiente se 50% da água disponível é entregue para a zona de raiz do cultivar que está irrigando.

Em recentes anos uma técnica conhecida como irrigação de gotejamento (irrigação de gota ou microirrigação) entrou em uso em algumas áreas do mundo. A água é bombeada diretamente à base da planta através de um tubo plástico e, liberando-a aos poucos, porém a uma intensidade que supra as necessidades da planta. Esta aproximação é muito eficiente, mas também é muito cara e exige manutenção constante, para manter o funcionamento de sistema. Por exemplo, os emissores tendem ao

entupimento por depósitos minerais e lodo produzido por microorganismos. Com sistemas de irrigação eficientes a produtividade e economia de água são maiores.

O solo armazena a água de uma chuva ou a colocada por irrigação em volta das partículas de terra que formam o solo. Quanto menores estas partículas mais água o solo consegue armazenar. Assim os solos arenosos, também chamados grossos, armazenam menos água do que os argilosos, também chamados finos. Esta água armazenada com o tempo perde-se por:

*a) Evaporação:* É a água que evapora devido ao calor, ao sol, ao vento e outros fatores.

*b) Percolação:* É a água que vai se infiltrando no solo até chegar às camadas inferiores, fora do alcance das raízes, formando os lençóis freáticos.

*c) Escorrimento:* É a água que escorre por cima do terreno para as áreas mais baixas sem ter conseguido se infiltrar e se armazenar no solo.

*d) Transpiração:* É a água que evapora das plantas pelas folhas, flores e ramos. Esta água é retirada do solo pelas raízes junto com os sais minerais que a planta precisa e depois evapora pela parte superficial das plantas.

Conforme o estágio de cada cultura a planta necessita mais ou menos água. As fases de crescimento vegetativo, floração e frutificação geralmente são as que a planta consome mais água.

#### 6.1.1 - Sistemas de irrigação

Há dois sistemas básicos de irrigação: intensivos e localizados.

**Sistemas Intensivos:** Os sistemas intensivos são aqueles que umedecem o total da área cultivada. E portanto exigem uma grande quantidade de água. Podem ser por irrigação por inundação. A inundação é recomendada para as plantas hidrófilas e tem os inconvenientes de gastar muita água, exigir solos planos e construções de muretas para conservar a água, retirar a areação do solo. No sistema por irrigação podemos citar a irrigação por aspersão que é quando se provoca uma chuva artificial na plantação através de inúmeros processos. Desperdiça água, exige pressões de bombas elevadas, requer mais mão de obra, não possibilita trabalhar com águas muito salinas. Nesta classe estão

incluídos os aspersores normais, as linhas de aspersores móveis, os canhões e os pivôs centrais.

Os sistemas de irrigação intensivos além de apresentarem um maior consumo de água, sofrem muitas influencias dos ventos e da insolação (evaporação), prejudicam a areação do solo, exigem altas pressões de funcionamento e vazões altas e portanto custos operacionais altos. Em contra partida os investimentos por unidade de área é pequeno, e para grandes áreas o investimento por unidade de área é baixo. Facilitam o manejo das culturas pois os seus encanamentos secundários normalmente são mais espaçados e muitas vezes também móveis.

*Sistemas Localizados:* Os sistemas localizados são aqueles que umedecem apenas a área do terreno onde as raízes das plantas atuam. Normalmente propiciam uma economia de água. Entre eles podemos citar a irrigação por gotejamento onde se faz gotejar na área de atuação das raízes através de orifícios, disponibiliza uma quantidade de água pré-determinada umedecendo o solo apenas nestas regiões. O sistema de gotejamento provoca cones de terra úmida ao seu redor. As pressões de água usadas são médias. Muito usado nesta categoria temos a irrigação por tubos ou mangueiras porosas o que forma linhas de terra úmida e possibilita um maior desenvolvimento das raízes e um melhor aproveitamento dos sais disponíveis no solo. As pressões usadas são muito baixas.

#### 6.1.2 – Problemas das águas de irrigação

Todos os sistemas de irrigação têm como maior fonte de problemas a qualidade da água. Nos sistemas por inundação o problema ocorre na fertilidade do solo e no nível do lençol freático. Nos sistemas de aspersão o problema ocorre nos encanamentos, bombas e bicos. Na irrigação localizada o problema ocorre no entupimento dos furos, tubulações em geral, labirintos, filtros, suportes e no restante do sistema de irrigação.

Com a tecnologia que existe hoje, podemos dizer que qualquer água pode ser utilizada para irrigação. O único problema é que pode vir a ser muito cara. O primeiro passo de um projeto de irrigação é fazer a análise da água para conhecer os filtros, tratamentos e outros artifícios que serão necessários.

A tabela 4 apresenta os parâmetros físico químico e biológicos a serem observados:

Tabela 4: Parâmetros de água para sistemas de irrigação – limites

Fator	Desprezível	Aceitável	Muito forte
mg/L Sólidos em suspensão	< 50	De 50 a 100	> 100
pH	< 7.0	7.0 a 8.0	> 8.0
Sólidos dissolvidos	< 500	500 a 2000	> 2000
Manganês (mg/L)	< 0.1	0.1 a 0.5	> 0.5
Ferro total (mg/L)	< 0.2	0.2 a 1.5	> 1.5
Biológico N° bactérias por L	< 10 000	De 10 000 a 50000	> 50 000
Sulfeto de hidrogênio	< 0.2	0.2 a 2.0	> 2.0
Condutividade Elétrica (mmho/cm)	< 0.75	0.75 a 3.0	> 3.0
NO <sub>3</sub> N (ppm)	< 5.0	5.0 a 30.0	> 30.0
Boro (ppm)	< 0.5	De 0.5 a 2.0	> 2.0
Cloretos (mg/L)	< 4.0	De 4.0 a 10.0	> 10.0
Sódio – SAR	< 3.0	De 3.0 a 9.0	> 9.0
Condutividade elétrica do solo (mmho.cm)	< 0.5	< 0.5	< 0.2
Absorção do solo	< 6.0	6.0 a 9.0	> 9.0

( www.poritex.com.br – 2004)

As águas se originam de diferentes fontes e são classificadas em:

a) - Águas Superficiais: Açudes, rios, lagos, represas, minas, etc.

b) - Águas subterrâneas: Poços.

Em águas superficiais é comum a presença de algas e outras matérias orgânicas. Em águas subterrâneas é comum a presença de sais em teores indesejados principalmente os de ferro. É muito importante fazer análises químicas periódicas da água, uma na época de seca. As propriedades da água de uma fonte sejam elas superficiais ou subterrâneas se alteram com o tempo. A concentração de bicarbonato acima de 2 mg/L e pH acima de 7,5 pode causar precipitações de cálcio. Recomenda-se injeção contínua de ácidos para baixar o pH. Se a água apresentar mais de 0,1 ppm de sulfetos estimula-se a formação de bactérias dentro do sistema e cloração contínua é recomendada. Quando temos a água rica em manganês e a clorarmos devemos dar um tempo entre a cloração e a filtração pois a formação dos cloretos de manganês é lenta e poderá ocorrer justamente logo após o processo de filtração.

Na fertirrigação com nitrogênio devemos descontar o nitrogênio já existente na água,



economizando fertilizante. Adubos contendo sulfatos quando usados em águas com mais de 30 mg/L de cálcio podem formar gesso no interior do sistema de irrigação.

É aconselhável não usar fertilizantes que contenham cálcio, tais como nitrato de cálcio, se a água de irrigação contiver mais do que 2 mg/L de bicarbonato e o pH for maior que 7,5 isto pode formar precipitados de carbonato de cálcio. Altas temperaturas estimulam esta precipitação. E a água nos dutos de irrigação aumenta a temperatura. Os adubos a base de fósforo se precipitam quando a água contem mais do que 3 mg/L de cálcio. Perdem sua eficiência e passam a entupir os gotejadores.

A irrigação localizada libera os nutrientes na zona úmida que produzem. Neste caso o uso de águas salinas aumenta a concentração de sais por causa da não infiltração profunda da água. Chuvas acima de 900 mm ano ou 2 a 3 ocorrências acima de 35 mm (pluviômetro padrão) em um ano normalmente corrigem isto. Porém, se não costumam ocorrer é preciso superdimensionar o projeto para encharcar o solo periodicamente e fazer os sais percolarem.

A irrigação deve ser feita com águas de pH baixo. No máximo 6,5. Quando a água é muito básica (acima de 8) ela tem bicarbonato que é solúvel perde gás carbônico e se precipita sendo então removidos na forma de precipitados e o solo fica sódico. O mesmo ocorre com o manganês. O nível ótimo de boro para as plantas é muito próximo do nível de toxicidade do boro. Este elemento deve ter cuidados especiais na água de irrigação.

Fertilizantes com sulfatos não devem ser usados com água com mais de 30 mg/L de cálcio. Formarão precipitados e perderão o valor de fertilizar além de provocar entupimentos. Muitos fertilizantes fosfatados perdem sua ação quando usados com águas cuja concentração de cálcio seja superior a 3 mg/L.

O ferro na água se apresenta em duas formas gerais: Reduzido  $\text{Fe}^{+2}$  solúvel e 100 % dissolvido em água e o oxidado  $\text{Fe}^{+3}$  insolúvel visível e precipitado o Ferro Oxidado  $\text{Fe}^{+3}$  por se constituir de partículas que se precipitam normalmente é retido pelos filtros. Não traz grandes problemas. O ferro reduzido se conseguirmos que entre nas bombas e saia nos gotejadores na forma de ferro reduzido também não trará problemas. O cuidado a tomar é que a ação das bombas, o calor, bactérias, potássio, etc. transformam o ferro reduzido em ferro oxidado e após os filtros. Neste caso este ferro se precipitará no sistema de irrigação e será uma fonte de entupimentos dos gotejadores. O ferro também é fonte de alimento para bactérias provocando a multiplicação destas após os filtros.

A análise da água é essencial para projetar, operar e dar manutenção em um sistema de irrigação. A análise da água deve ser interpretada segundo quatro parâmetros:

a) O sistema de distribuição de água: Consiste em todo sistema desde a coleta da água até sua entrega às raízes. Devemos levar em conta todas as possibilidades de entupimentos sejam nos controles, no encanamento ou nos emissores.

b) O solo : O agrônomo aqui analisa a transformação que as características da água farão nas do solo.

c) A planta: O agrônomo analisa o aumento da probabilidade de toxicidade dos elementos disponíveis a planta com a incorporação dos sais da água no solo.

d) O sistema como um todo: O agrônomo faz um replanejamento de adubação levando em conta os sais já existentes na água, a antecipação ou postergação de safras, e outros fatores que venham a se traduzir ou em preços melhores ou em custos menores.

Os sistemas de irrigação localizada são os sistemas mais adaptados para se fazer o uso de fertirrigação. Nestes sistemas se coloca o adubo, com o solo já úmido o que facilita sua distribuição no solo, ao pé das raízes com que os consumirão havendo menos perda de adubos e lixiviação destes.

#### 6.1.3 - Manutenção em Sistemas de Irrigação

Tratamento com ácidos para dissolver crostas de sais minerais. Os carbonatos, hidróxidos e fosfatos formam incrustações nos encanamentos e nos condutores que levam a água aos emissores. As incrustações são formadas com maior frequência nos orifícios de saída dos emissores principalmente quando termina a irrigação e há uma evaporação natural da água concentrando os sais. Os sais formados também são corrosivos para a tubulação que é de metal porem a tubulação plástica os suporta bem.

As incrustações iniciam em um ponto pequeno e vão aumentando em forma de escamas engrossando cada vez mais até entupir totalmente a passagem de água. Quando se atinge o entupimento é difícil depois dissolver o sal formado pois os tratamentos não conseguem dissolver devido á dificuldade de contato (figura 36). A água com o tratamento químico simplesmente não passa pelo local por este estar entupido. Assim é necessário fazer

tratamentos preventivos para que este seja eficaz dissolvendo os sais minerais antes do entupimento. Este tratamento deve ser feito com um ácido já que estes normalmente dissolvem os carbonatos.

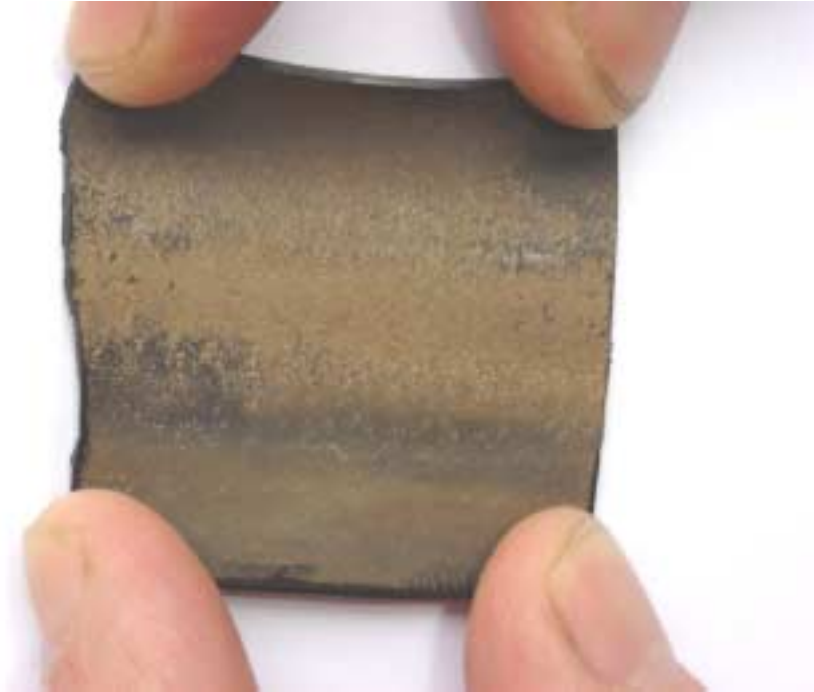


Figura 36: Incrustação em tubulações plásticas de irrigação (sistema de estudo - Reijers)

## **7 – MATERIAIS E MÉTODOS**

A experiência de condicionamento magnético da solução de irrigação foi conduzida durante 20 meses nas instalações produtivas do Sítio Dallas – Grupo Reijers, localizado no município de Andradas no estado de Minas Gerais. O Grupo Reijers é o maior produtor de rosas do país, e exporta grande parte de sua produção para os Estados Unidos e países da Europa.

O período de 20 meses foi escolhido para monitorar um ciclo completo do lote escolhido para o estudo. Apesar de o ciclo vegetativo da rosa ser anual, sobrepôs-se 8 meses para compensar um eventual retardo de resposta do cultivar ao se adaptar às condições do teste.

O sistema de cultura em que foi realizado o estudo é o chamado hidropônico sistema este que utilizado em conjunto com um substrato adequado, possibilita um bom suporte para a muda, um bom desenvolvimento do sistema radicular da cultura (raiz) propiciando uma boa taxa de irrigação, aeração e retorno da solução nutriente.

O estudo utilizou a variedade de rosa Golden Gate (de cor amarela).

### 7.1 – ESTUFA DE CULTIVO

A estufa de cultivo tem uma estrutura feita em aço galvanizado e possui teto e paredes feitas em polietileno translúcido (figura 37).



Figura 37: Detalhe da estrutura de uma Estufa de cultivo

Cada estufa de cultivo é denominada de célula, e sua disposição leva em consideração o escoamento da produção, pois a colheita é diária, e demanda facilidade de locomoção de carga.

As paredes são retráteis e funcionam como cortinas verticais, que possibilitam a regulação da entrada de ar e controle da temperatura e umidade relativa.

O teto é moldado em uma estrutura convexa (figura 37 e 38), o que permite a drenagem de água da chuva.

Para o controle de temperatura, as estufas possuem cortinas confeccionadas em polipropileno metalizado, que estendida como na figura 38, reflete parte da radiação, diminuindo em até 7° C, quando necessário. Para controle de umidade as estufas possuem bicos asperssores de água e também circuladores de ar (figura 39). Estes aparelhos servem para manter as condições de temperatura umidade e insolação no interior da estufa.



Figura 38: Teto de uma estufa com cortina térmica (alto)



Figura 39: Detalhe do sistema de circulação de ar dentro de uma estufa de cultura

## 7.2 – RUA DE CULTIVO

A rua de cultivo é o elemento onde é acondicionado o substrato de plantio, circula a solução nutritiva de irrigação e as roseiras se desenvolvem. Elas são confeccionadas em polietileno que recobre uma estrutura metálica em ferro, montadas 50 cm acima do solo para facilitar o trabalho de colheita.

Antes do preenchimento da rua de cultivo, com o substrato, é colocada no fundo da rua uma mangueira para coletar a água de irrigação. Após acondicionar a mangueira, a rua é preenchida com o substrato e depois é colocada a mangueira de irrigação e só depois as mudas, o fundo da rua possui uma inclinação, que facilita o retorno da água como se observa na figura 40 e na figura 42.



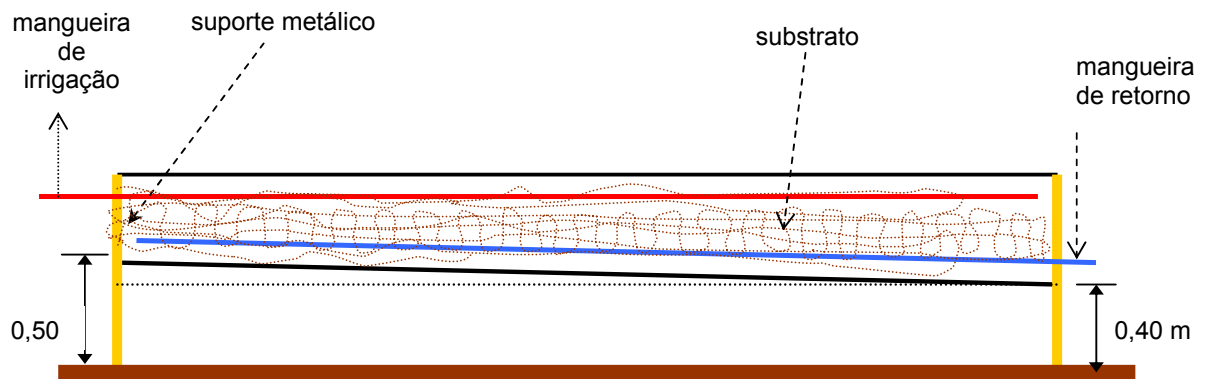


Figura 40: Esquema de uma rua de cultivo



Figura 41: Ruas de cultivo (fase inicial de plantio)





Figura 42: Rua de cultivo, no detalhe a mangueira de retorno.

As mangueiras de irrigação e de retorno são perfuradas, sendo que a de irrigação apresenta furos isolados e espaçados de 30 cm. Esta distância leva em conta o espaço necessário ao desenvolvimento radicular e foliar das mudas.

### 7.3 – SUBSTRATO DE PLANTIO

No presente estudo, o substrato utilizado foi uma mistura (figuras 43 e 44) de serragem de diferentes tipos de madeira, fibra de coco, e carvão vegetal, segundo formulação de propriedade do Grupo Reijers.



Figura 43: Pré mistura do substrato de plantio: serragem e fibra de coco



Figura 44: Mistura final, com carvões vegetal, pronta para ser usada.

#### 7.4 – PLANTIO E COLHEITA

O plantio da roseira é feito levando-se em consideração o desenvolvimento radicular da muda, a irrigação, seu crescimento e o processo de colheita das hastes. As mudas são colocadas lado a lado na rua de cultivo tendo uma separação de 30 cm entre as mudas (correspondendo aos orifícios da mangueira de irrigação) o que permite um bom desenvolvimento da roseira e a possibilidade de colher as hastes sem danificar outras mudas (figura 45).

O corredor do meio serve para locomoção e transporte da produção, hastes em primeiro plano, prontas para serem colhidas (figura 46).



Figura 45: Estufa em fase inicial de manejo de mudas (não produtiva).





Figura 46: Estufa em estagio de alta produtividade.

## 7.5 – CONDICIONAMENTO MAGNÉTICO DA SOLUÇÃO DE IRRIGAÇÃO

O equipamento de condicionamento magnético foi montado na estrutura hidráulica já existente, sem nenhuma alteração. Também não houve alterações na formulação da solução de irrigação e nem no substrato de plantio usado.

Esta similitude das estruturas é importante para o estudo pois se trata de uma comparação entre dois universos, sendo que a única diferença entre eles é a presença ou não do condicionamento magnético da solução de irrigação.

O volume de água condicionada magneticamente para o uso na estufa em monitoração foi de 10 m<sup>3</sup> p/h. Cada célula possui ao todo 50 conjuntos com duas ruas cada de 30 centímetros de largura por 50 metros de comprimento cada uma, resultando em cem ruas para cada estufa.

O condicionador magnético utilizado foi produzido pela empresa Hidrolinhk – Sistemas Hidráulicos, e possui uma intensidade média de 0,5 Tesla.

Na figura 49 vê-se a tubulação de alimentação de solução de irrigação de uma rua de cultivo e a respectiva válvula automatizada por um controlador microprocessado. Na figura 50 vê-se a montagem do condicionador magnético na saída da bomba de água.

Para garantirmos as mesmas condições de irrigação (quantidade de solução e frequência de irrigação) foi adotado um esquema de válvulas automatizadas por um controlador linear programável (CLP) que foi programado para um intervalo de irrigação de três horas.

A solução de irrigação primária para as duas estufas provinha da mesma fonte primária, cada estufa possui um reservatório menor e independente garantindo que a solução de irrigação que entrou na estufa e que foi condicionada magneticamente não circule pela estufa de cultivo que possui a solução de irrigação comum.

No interior da célula com solução condicionada magneticamente existem duas ruas chamadas de contraste que foram irrigadas com solução comum, e no interior da célula com solução comum existem duas ruas que foram irrigadas com solução condicionada magneticamente. Este processo foi elaborado para se confirmar a tendência do desenvolvimento do cultivo, mesmo ele sendo feito no meio de uma estufa que não tenha

condicionamento algum. As figuras 47 e 48 mostram o esquema de montagem dos reservatórios, filtros, condicionador magnético e das ruas chamadas de contraste.

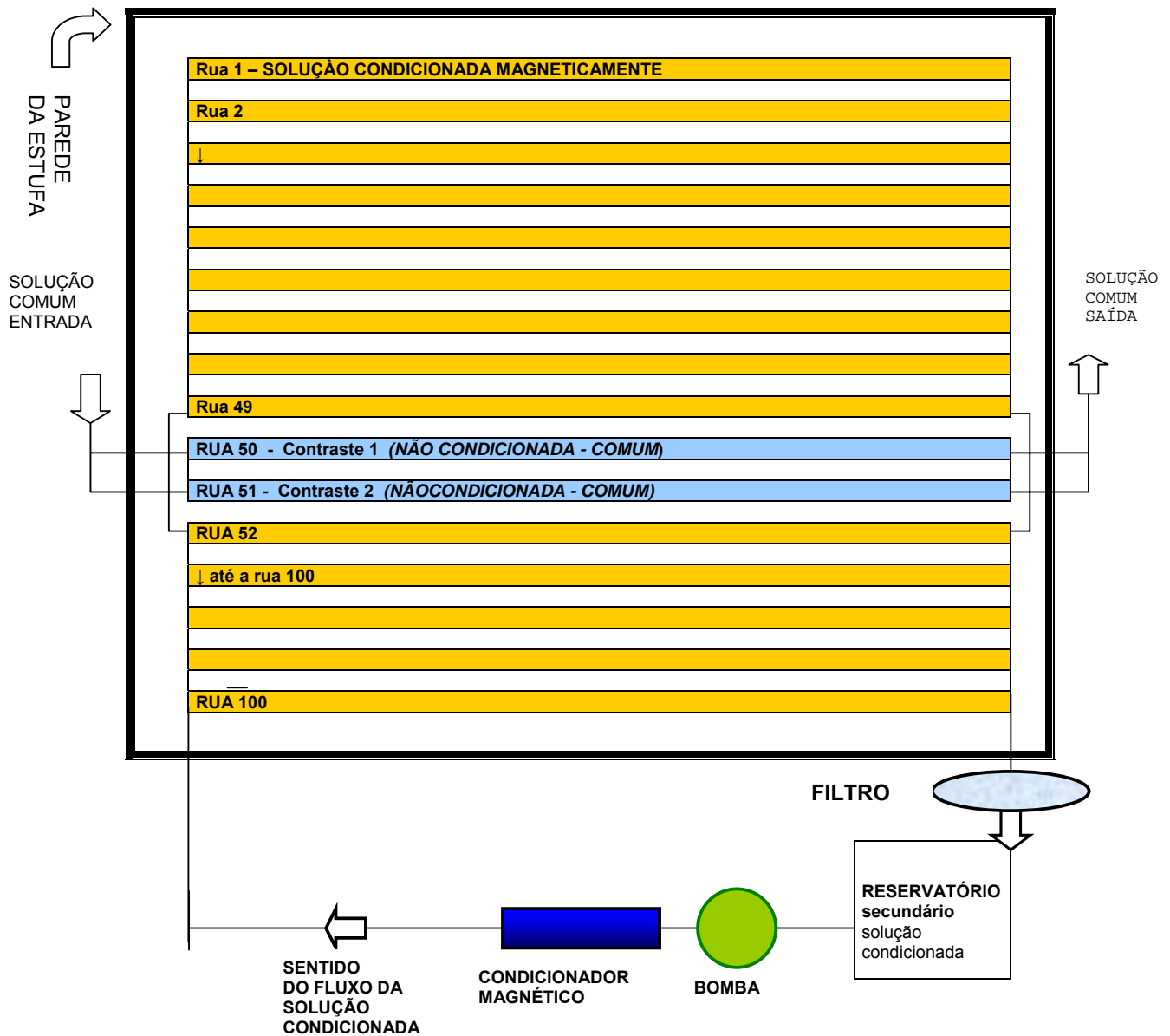


Figura 47 – Esquema de uma estufa de cultivo com solução condicionada magneticamente, apresenta duas ruas abastecidas com solução sem condicionamento (usual) - Contraste

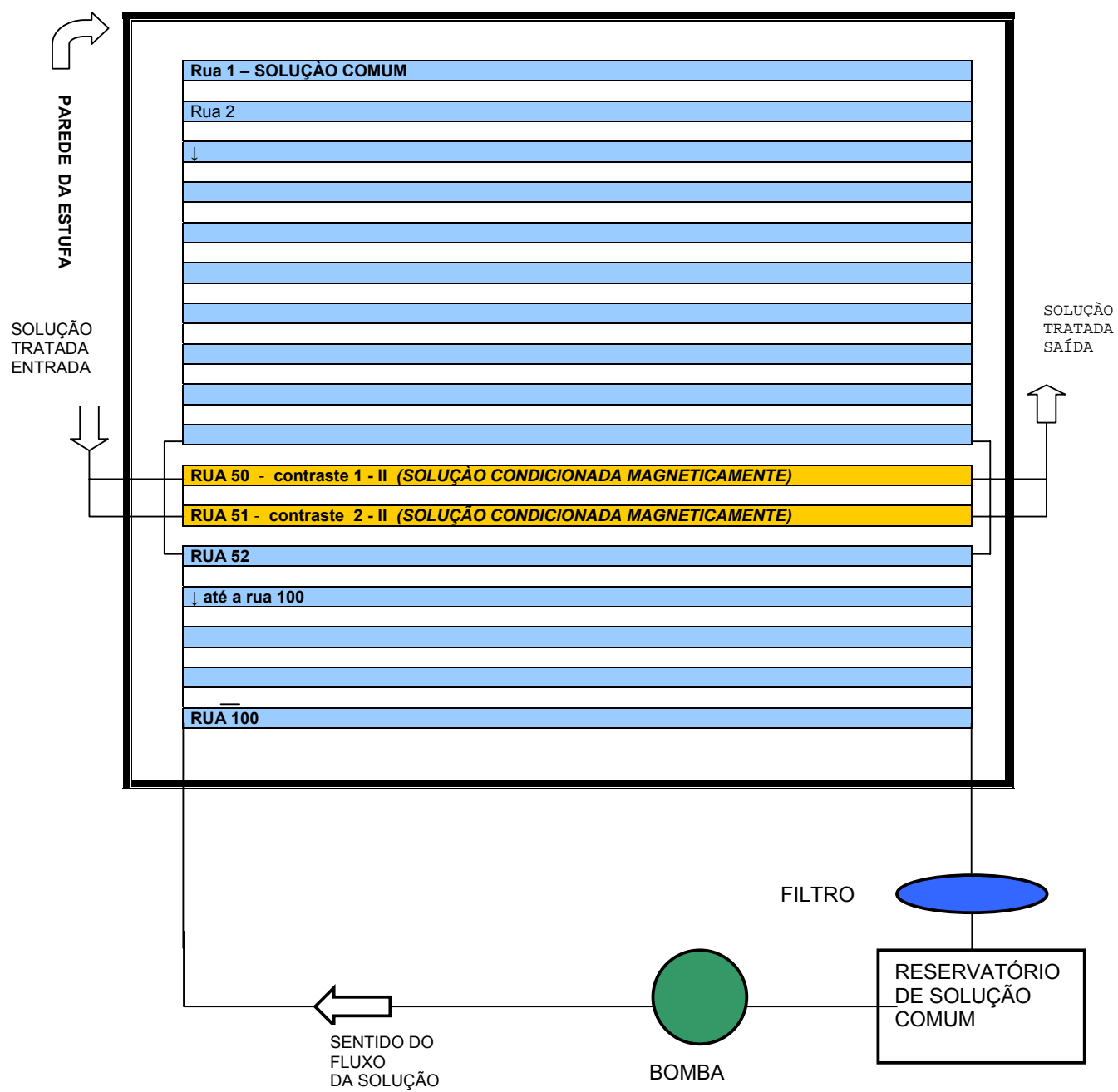


Figura 48: Esquema de uma estufa de cultivo com água comum, não condicionada - Testemunha – apresenta duas ruas abastecidas com solução condicionada – contraste.



Figura 49: Válvulas de controle da irrigação, em primeiro plano.

As figuras 50 e 51 mostram como o Condicionador Magnético foi instalado na saída da bomba, logo após o sistema de filtro.

O reservatório da estufa com solução magnetizada (figura 51) não tem comunicação com outros reservatórios. Ele possui uma bóia para controlar o nível, quando este está baixo, ele recebe solução do reservatório primário, que é igual para toda a produção (sem condicionamento).

Após a abertura das válvulas, as ruas são irrigadas e após o percolamento da solução pelo substrato, o excesso é recolhido pelas mangueiras instaladas nos fundos das ruas e por



tubulações são transportadas novamente até o respectivo reservatório secundário onde ela recebe a primeira filtragem e aguarda no reservatório até iniciar o próximo ciclo.



Figura 50: Montagem do Condicionador magnético



Figura 51: Montagem do reservatório (secundário) de solução da célula condicionada

## 7.6 – PARÂMETROS E MÉTODOS DE CONTROLE

### 7.6.1 - Desenvolvimento de vegetais – Captação e tratamento de dados

Segundo (Taiz e Zeiger, 1998), o crescimento em plantas é definido como um aumento irreversível de volume das mesmas. O maior componente do crescimento vegetal é a expansão celular, governada pela pressão de turgor. Durante este processo, as células aumentam várias vezes em volume. Todavia, o tamanho é apenas um critério que pode ser usado para medir o crescimento.

O crescimento pode ser medido também em termos de mudança de peso fresco – isto é, o peso do tecido vivo – durante um determinado período. No entanto, o peso fresco de plantas crescendo no solo flutua em resposta às alterações do *status* hídrico, de modo que este critério pode ser um indicador inconsistente do crescimento em andamento.

Optou-se por monitorar as dimensões das rosas e das roseiras. Por se tratar de uma produção contínua, usar-se-á também como medida de produtividade o tempo que a haste leva para chegar a ponto de colheita.

Todas essas medidas serão realizadas todos os dias, nas roseiras, selecionadas para este teste, tratadas magneticamente, nas ruas de contraste e as não-condicionadas magneticamente. Esses dados serão registrados em tabelas onde serão comparados os cultivares vegetais irrigados com água condicionada magneticamente e irrigados com água comum.

As rosas são flores sensíveis às variações físico-químicas de água. Por isso, foram monitorados o pH, condutividade e temperatura da água de irrigação e foram analisadas suas mudanças físicas se houver (coloração das variedades cultivadas e textura).

Por ser um processo contínuo de produção, trabalhou-se com resultados médios obtidos diariamente nas estufas monitoradas, pois não foi possível analisar sempre o mesmo espécime. Não existe dia certo para a colheita, esta é efetuada quando determinada haste chega ao tamanho de corte. Assim sendo, todos os dias têm colheita de hastes. Foram realizadas várias amostragens (medidas) por rua e destes dados foi retirada a média aritmética de cada característica, que foi comparada à das outras ruas. Todos esses valores foram medidos usando-se instrumentos de medição (paquímetros e fitas métricas), foram

registrados em planilhas e constaram no relatório final de desenvolvimento de cultivos.

#### 7.6.2 – Parâmetros de controle

Todas as medidas foram realizadas por profissionais treinados e segundo normas pré-estabelecidas. Os parâmetros de controle adotados foram:

- 1 - *espessura de haste;*
- 2 - *comprimento de haste;*
- 3 - *largura de botão;*
- 4 - *comprimento de botão;*
- 5 - *comprimento de folha;*
- 6 - *largura de folha;*
- 7 – *produtividade (hastes colhidas).*

Entre estes parâmetros existem os que são absolutos, por exemplo , o comprimento total da haste, da saída da touceira até a base do botão, e as dimensões de botão que parte da base até o último ponto e sua largura e o número de hastes colhidas.

Outros pontos necessitam de um referencial, por exemplo, em que ponto da haste deve-se medir a espessura em qual das folhas medir o comprimento e largura. Para isso adotou-se um método próprio (Reijers) usado para se padronizar o local das medidas. Este método é chamado de Primeira Quinta Folha (figura 52).

A haste da rosa apresenta diversos ramos, onde estão localizadas as folhas. Existem ramos que apresentam um número variado de folhas, o primeiro ramo (localizado do botão para baixo) que apresentar cinco folhas, será usado para as medições da folha (a quinta mais externa) e na base deste ramo, posicionado um centímetro para cima, será retirada a medida de espessura da haste.





Figura 52: No destaque o primeiro ramo da haste que apresenta a Primeira Quinta Folha

**a) – Espessura de haste**



Figura 53: Medição da espessura da haste da rosa

**b) – Comprimento de haste**



Figura 54: Medição do comprimento da haste da rosa, a haste não deve ser esticada, o comprimento leva em consideração a curvatura natural da haste.



**c) – Largura de botão**



Figura 55: Medição da largura do botão

**d) – Comprimento de botão**



Figura 56: Medição do comprimento do botão

**e) – Comprimento de folha**



Figura 57: Medição do comprimento da folha (primeira quinta folha)

**f) – Largura de folha**



Figura 58: Medição da largura da folha (primeira quinta folha)



**g) – PRODUTIVIDADE**

O parâmetro para produtividade é o número de hastes colhidas por unidade de tempo.

**h) - QUALIDADE DE ÁGUA**

Outros parâmetros de controle foram adotados, e acompanhados com medições diárias, são eles:

- pH;
- condutividade e
- temperatura da solução circulante.

Constaram do monitoramento como dados informativos às medidas médias de umidade relativa do ar e temperatura da região produtora.

## 7.7 – MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Considerando que foram monitoradas duas unidades de produção de rosa sp., ambas localizadas na mesma região geográfica e em iguais condições de instalação física, plantadas no mesmo substrato e submetidas ao mesmo procedimento de cultivo e com a mesma composição de substrato e fertirrigação, como descrito no capítulo 7, sendo a única diferença o fato de uma das unidades ter a sua solução de fertirrigação condicionada magneticamente, podemos aceitar que as diferenças entre esses dois universos, se houver, sejam decorrentes do condicionamento magnético aplicado.

Para compararmos se há diferença entre esses dois universos estudados, “procedimento convencional” e “com condicionamento magnético”, efetuou-se uma análise de variância empregando a distribuição de Snedecor (distribuição F). Esta é uma técnica robusta e pouco sensível a afastamentos, mesmo apreciáveis, da igualdade presumida na realização dos experimentos de ambos os universos.

As diferenças sazonais de crescimento não impedem esta comparação de medidas, pois ambos os universos estarão submetidos, exatamente, as mesmas influências das mudanças climáticas, por estarem na mesma região. Portanto, cada um dos dados de um universo tem o seu par equivalente no outro universo.

A sobreposição de 8 meses permite aferir o tempo de resposta do cultivar à introdução do condicionamento magnético.

## 8 – RESULTADOS

A duração da monitoração da produção foi de 20 meses. Avaliou-se um ciclo de cultivo completo – 12 meses, mais 8 meses de sobreposição de dados.

Os dados de dimensões das rosas foram coletados por semanas, sendo que cada dado é a média da leitura de 7 a 8 medidas, considerando os 20 meses, ou seja 80 semanas com uma média de 7,5 por semana, resulta em uma coleção de 600 dados por parâmetro de cada universo (600 dados para a produção condicionada magneticamente e 600 dados para a produção com água comum, portanto 1.200 dados para cada um dos parâmetros monitorados).

Os dados referentes a água de irrigação foram tabulados por semana, sendo uma determinação por dia, resultando em 300 dados para cada parâmetro controlado da água, (300 dados para cada universo – água condicionada e não condicionada, o que envolve 600 dados para cada parâmetro monitorado)

### 8.1 – DIMENSÕES DAS ROSAS E PRODUTIVIDADE

Os valores apresentados na Tabela 5, como testemunha e condicionada, são a média de 600 medidas para os parâmetros de produção de rosa.

Tabela 5 – Valores Médios de produtividade e dimensões da rosa

Parâmetros de Controle	Testemunha	Condicionada magneticamente	Diferença (%)
1 – Produtividade (nº de hastes colhidas)	109	134	23
2 - Comprimento de Haste (mm)	675,8	702,1	3,9
3 – Espessura de Haste (mm)	6,1	6,4	4,9
4 – Comprimento de Botão (mm)	40,8	42,4	3,8
5 – Largura de Botão (mm)	28,8	31,2	8,3
6 – Comprimento de Folha (mm)	73,0	75,0	2,7
7 – Largura de Folha (mm)	41,9	43,7	4,2

Não foram constatadas alterações morfológicas nas rosas estudadas, também não existiu qualquer diferenciação entre as estufas quanto a incidência de pragas ou aumento

da demanda de solução nutritiva.

O tempo de resposta do condicionamento magnético foi notado quinze dias após a instalação do equipamento, quando se observaram as primeiras diferenças nos valores monitorados.

A seguir são apresentados os gráficos de monitoramento das dimensões das rosas e de produtividade (figuras 59 a 65). Cada ponto no gráfico é o valor médio medido no mês correspondente. Estes gráficos têm um caráter apenas ilustrativo, pois devido a não homogeneidades do desenvolvimento vegetativo das plantas no período de medição, obtiveram-se desvios padrão elevados. Este fato no entanto, não inviabiliza a aplicação da análise de variância aos dois universos na íntegra, pois o erro experimental é computado nesta análise. Nos gráficos os meses de números de 0 a 3 correspondem ao período de inverno os meses de número de 4 a 6 correspondem ao período de primavera, os meses de número 7 a 9 correspondem ao período de verão, os meses de números de 10 a 12 correspondem ao período de outono os números dos meses de 13 em diante são sobreposição do experimento mas seguem o padrão de estações.

#### 8.1.1 – Produtividade

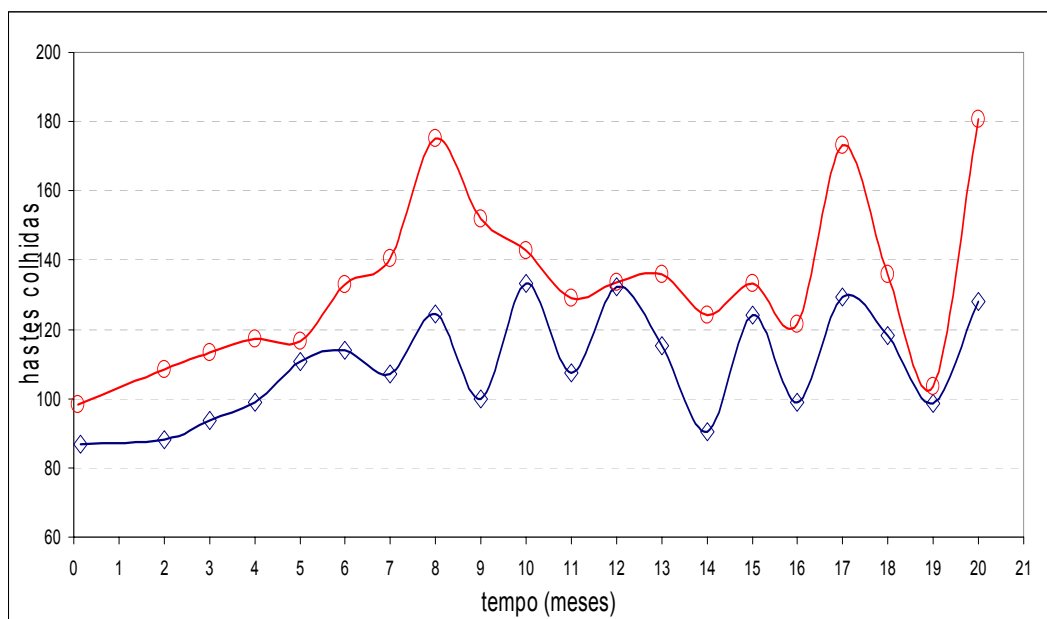


Figura 59: Evolução da produtividade ao longo do período de estudo .  
 solução magnetizada (magneto) -----○----- solução comum (testemunha) -----◇-----

### 8.1.2 - Comprimento da Haste

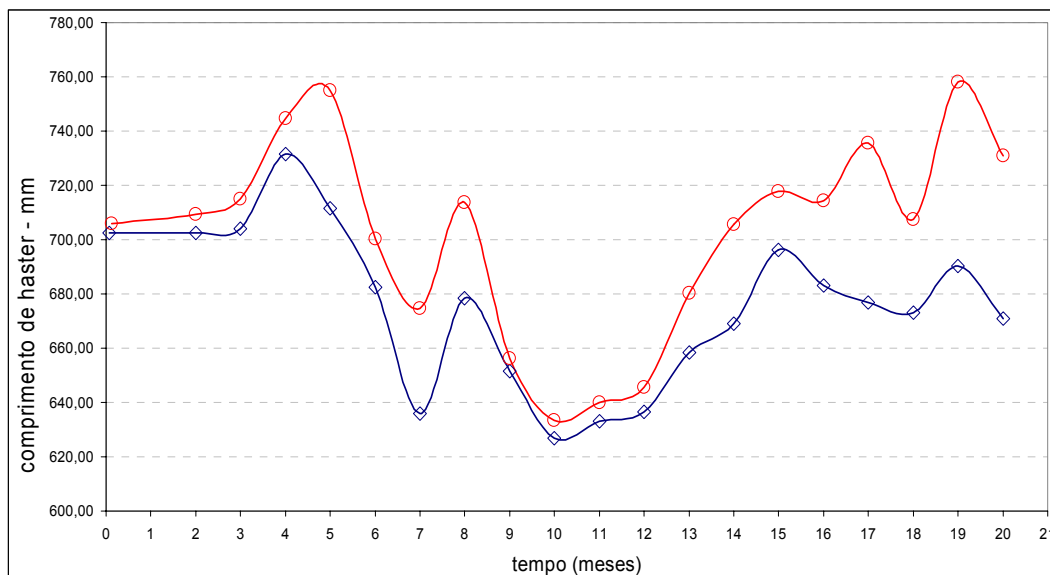


Figura 60: Evolução do comprimento da haste ao longo do período de estudo.

solução magnetizada (magneto) ---○--- solução comum (testemunha) ---◇---

### 8.1.3 – Espessura de Haste

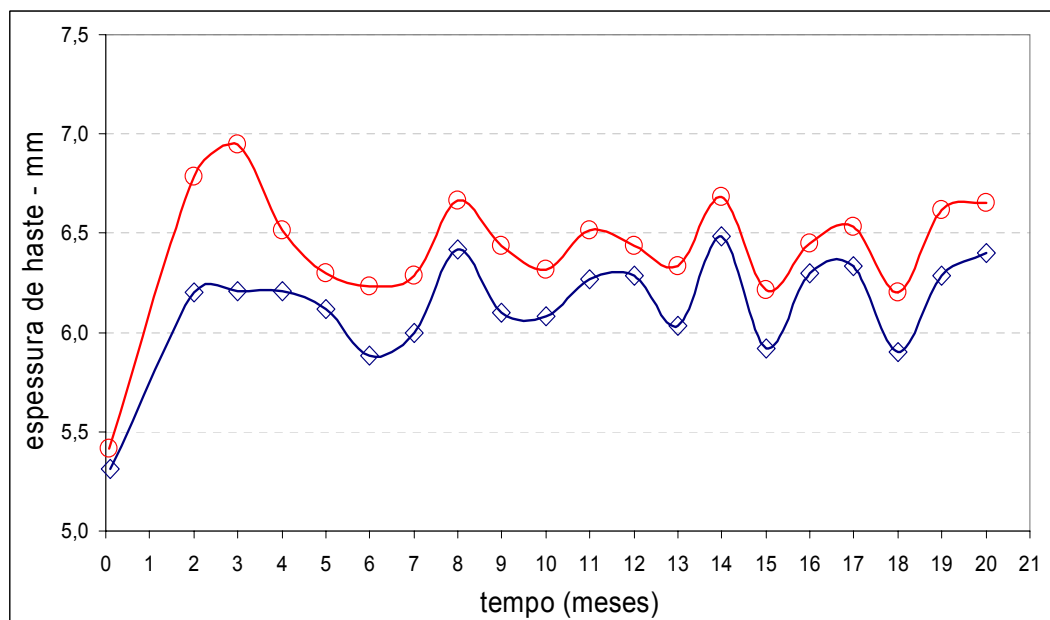


Figura 61: Evolução da espessura da haste ao longo do período de estudo .

solução magnetizada (magneto) ---○---

solução comum (testemunha) ---◇---

## 8.1.4 – Comprimento do Botão

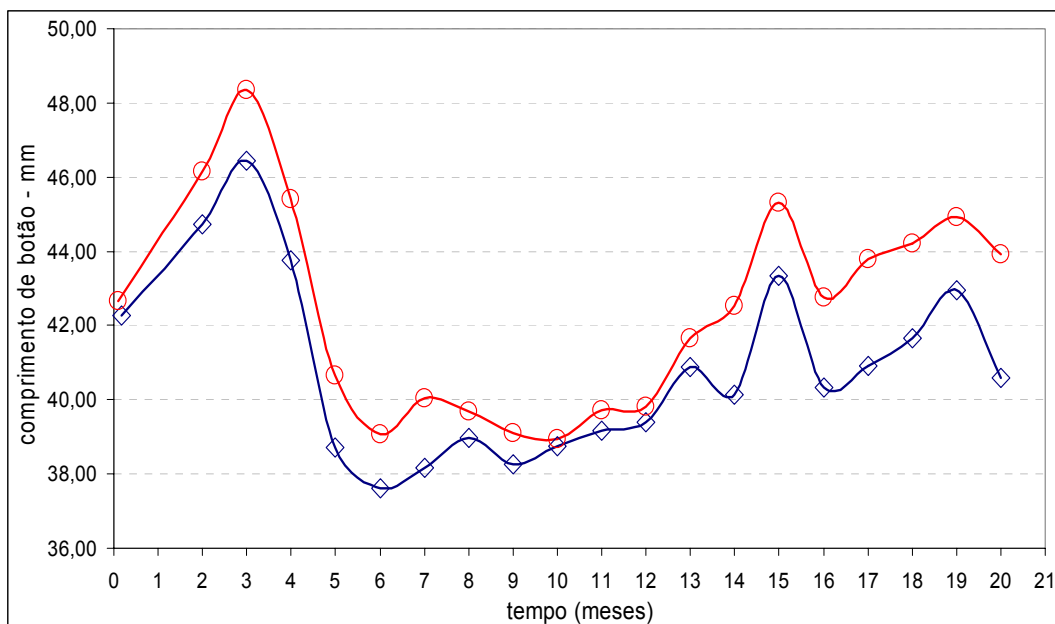


Figura 62: Evolução do comprimento do botão ao longo do período de estudo .

solução magnetizada (magneto) ---○---

solução comum (testemunha) ---◇---

## 8.1.5 – Largura do Botão

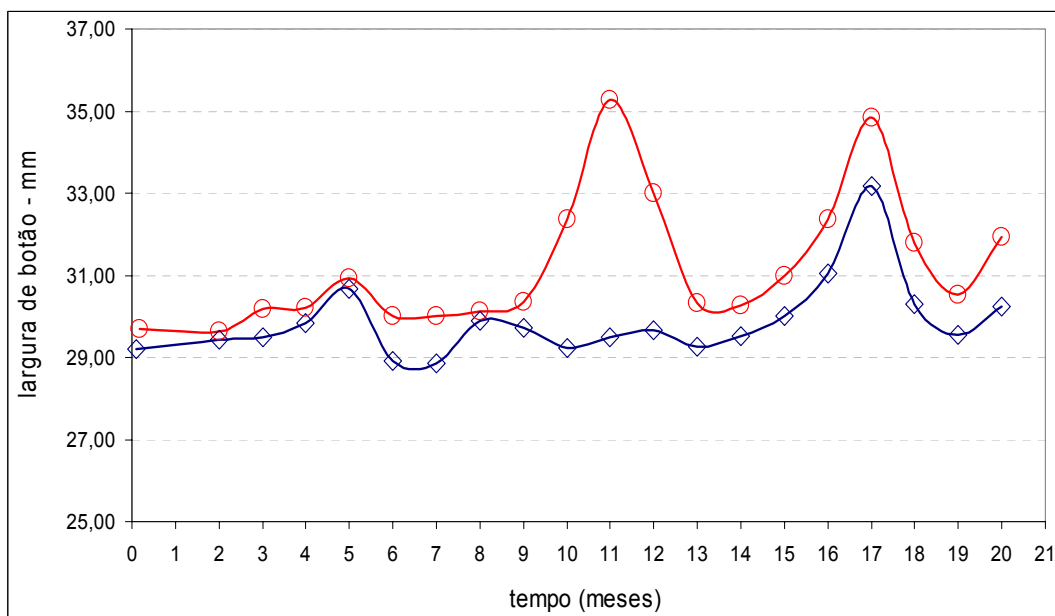


Figura 63: Evolução da largura do botão ao longo do período de estudo .

solução magnetizada (magneto) ---○---

solução comum (testemunha) ---◇---

### 8.1.6 - Comprimento de Folha

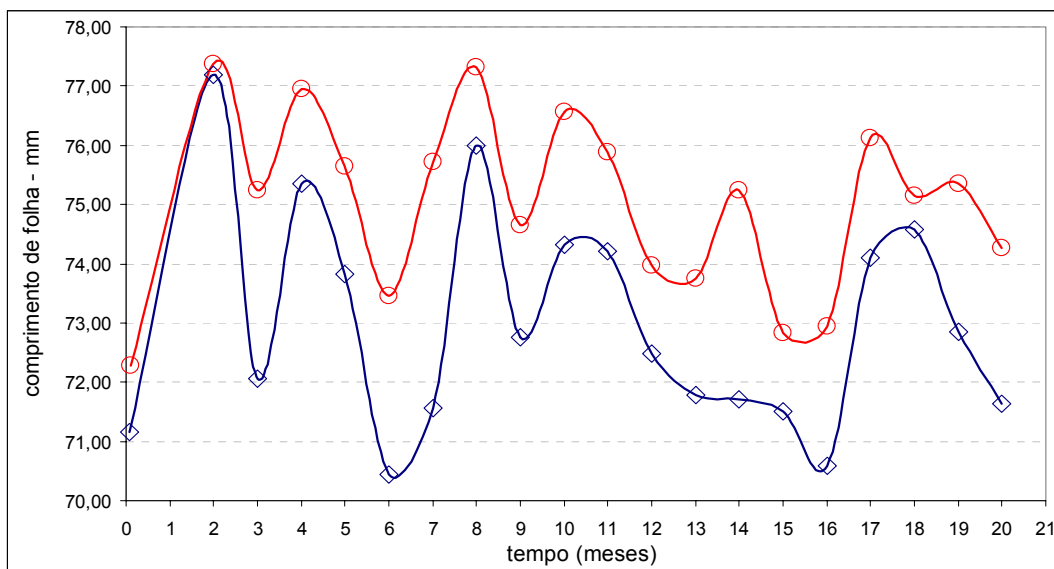


Figura 64: Evolução do comprimento da folha longo do período de estudo .

água magnetizada (magneto) -----○-----

água comum (testemunha) -----◇-----

### 8.1.7 – Largura da Folha

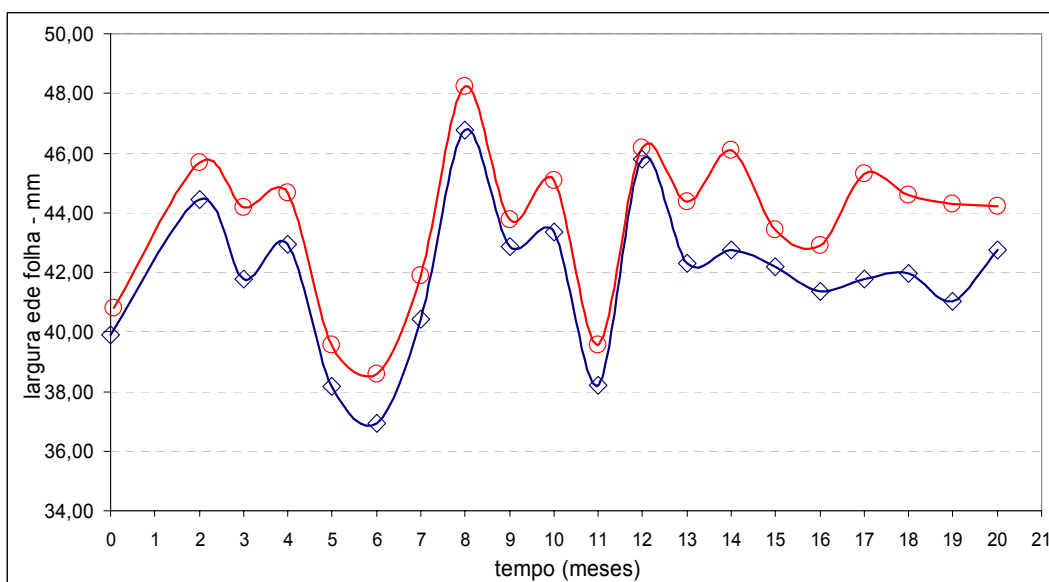


Figura 65: Evolução da largura da folha ao longo do período de estudo .

água magnetizada (magneto) -----○-----

água comum (testemunha) -----◇-----

## 8.2 – Medições da solução de irrigação

Os valores apresentados são o valor médio (de 300 medidas para os parâmetros de controle da água sendo estes valores para cada universo de comparação que são a

testemunha e a condicionada), o que envolve 600 para cada parâmetro da água medido. Após obtidos os valores (médias) eles foram comparados diretamente entre si, esse processo foi o mesmo para todos os parâmetros de leitura que seguem abaixo:

Tabela 6 – Médias de medições da solução de irrigação

Parâmetros de Controle	Testemunha	Condicionada magneticamente	Diferença (%)
1 – pH da solução de cultivo	6,36	6,32	0,6
2 – Condutividade da solução de cultivo ( $\mu\text{S/cm}$ )	0,878	0,839	5,5
3 – Temperatura da solução de cultivo ( $^{\circ}\text{C}$ )	22,01	21,96	0,6

A seguir são apresentados os gráficos de monitoramento da solução de irrigação (figura 66 a 68). Estes gráficos têm um caráter apenas ilustrativo, pois devido a não homogeneidades do consumo de nutrientes ocasionadas por diferenças do desenvolvimento vegetativo das plantas no período de medição, obtiveram-se desvios padrão elevados. Este fato no entanto, não inviabiliza a aplicação da análise de variância aos dois universos na integra, pois o erro experimental é computado nesta análise. Cada ponto no gráfico é um valor médio medido no mês correspondente. Nos gráficos os meses de números de 0 a 3 correspondem ao período de inverno os meses de número de 4 a 6 correspondem ao período de primavera os meses de número 7 a 9 correspondem ao período de verão os meses de números de 10 a 12 correspondem ao período de outono os números dos meses de 13 em diante são sobreposição do experimento mas seguem o mesmo padrão de estações.

### 8.2.1 – pH (solução de irrigação)

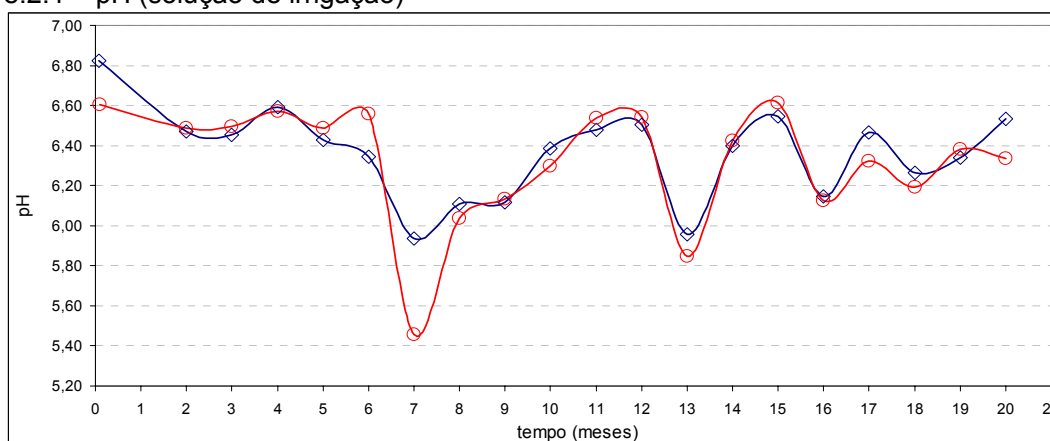


Figura 66: Comportamento do pH da solução de irrigação ao longo do período de estudo .

solução magnetizada (magneto) ---○---

solução comum (testemunha) ---◇---



### 8.2.2 – Condutividade (solução de irrigação)

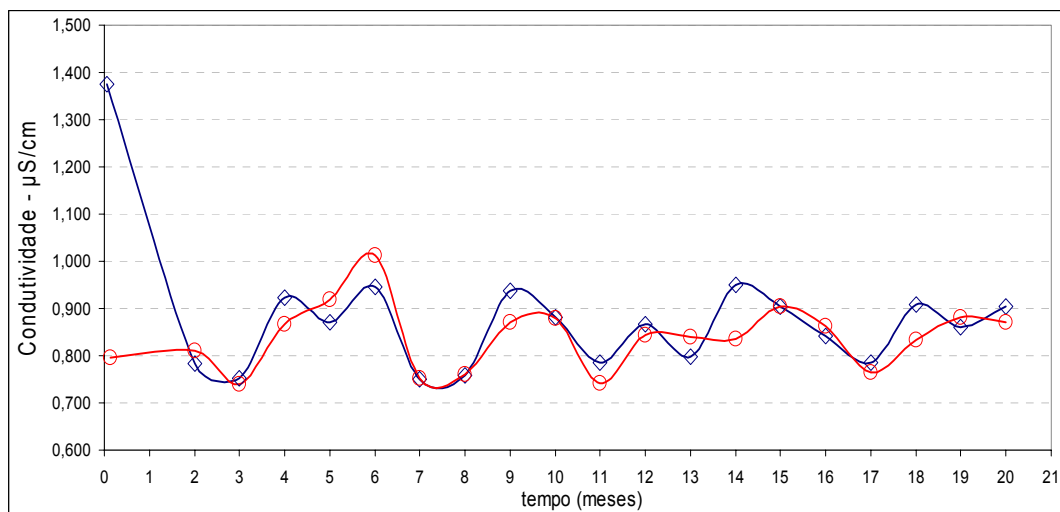


Figura 67: Comportamento da condutividade da solução de irrigação ao longo do período de estudo .  
 solução magnetizada (magneto) ---○--- solução comum (testemunha) ---◇---

### 8.2.3 – Temperatura (solução de irrigação)

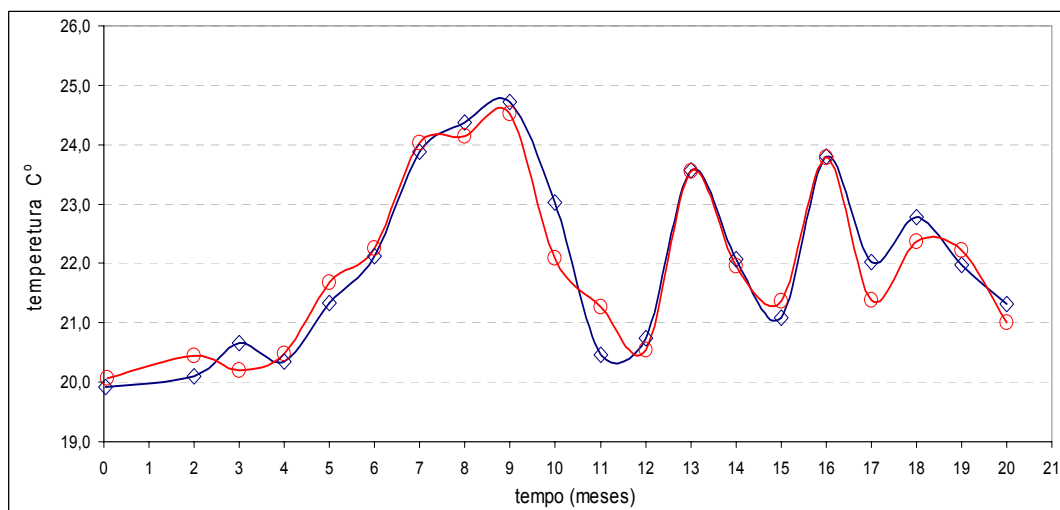


Figura 68: Comportamento da temperatura da água de irrigação ao longo do período de estudo.  
 solução magnetizada (magneto) ---○--- solução comum (testemunha) ---◇---

### 8.3 – OBSERVAÇÕES GERAIS

Apesar de não ter sido o objetivo deste trabalho estudar as melhorias ocorridas no sistema de irrigação do plantio hidropônico e no desenvolvimento do sistema radicular da roseira (raízes), foram observados efeitos benéficos e dignos de nota que são relatados a seguir:

#### 8.3.1 – Sistema de irrigação

Ocorreu uma diferenciação notável no sistema de irrigação da célula com solução magneticamente condicionada em relação à célula com solução usual. A diferença ocorreu nas tubulações que conduzem as soluções. Por se tratar de uma solução salina, a tubulação tem uma tendência a criar depósitos e incrustações em suas paredes e formação de limo em todo o sistema (figura 69), depósitos esses que juntamente com o limo (microorganismos) chegam a entupir os furos da mangueira de irrigação e filtros do sistema.

Com o uso do condicionador magnético, as tubulações com solução magnetizada apresentaram uma diminuição dos citados depósitos nas paredes (figura 70). Observa-se que houve uma aparente remoção dos depósitos formados e a inibição da formação de novos depósitos.

Também se observou uma diminuição considerável na quantidade e formação de limo em todo o sistema (tubulações, filtros, reservatório, válvulas e ruas de cultivo) causado por colônias de microorganismos (tabela 4 do capítulo 6).

A vantagem que o fato traz é a redução do número de paradas para manutenção e limpeza do sistema de irrigação.

O tempo transcorrido para se começar a observar os efeitos benéficos do condicionamento magnético que são: retirada dos depósitos, redução da quantidade e inibição de microorganismos, acima citados da solução condicionada magneticamente foi de aproximadamente 15 dias, tempo este que coincide com as primeiras evidências de melhoria do crescimento das roseiras.



Figura 69 : Mangueira com depósitos

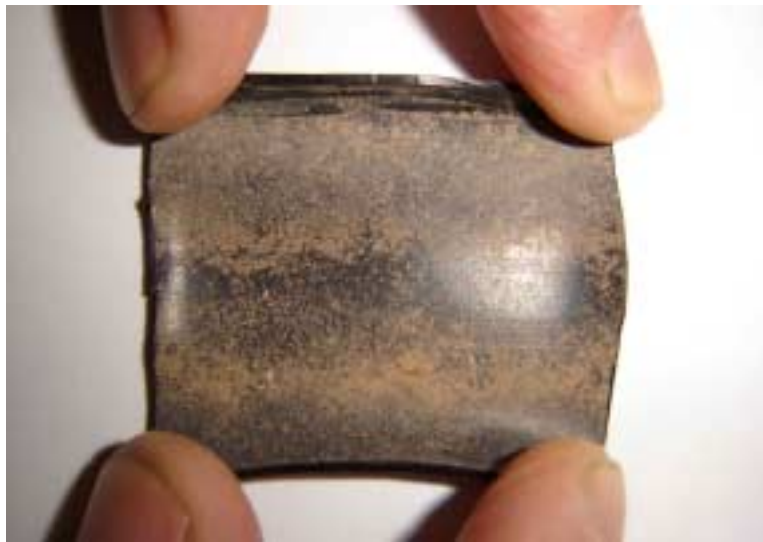


Figura 70: Mangueira em processo de remoção de depósitos

### 8.3.2 – Sistema radicular da roseira



Figura 71: Comparação entre as raízes

As roseiras irrigadas com solução condicionada magneticamente (figura 71 A) apresentaram um desenvolvimento das raízes superior às roseiras irrigadas com solução usual (figura 71B).

## 9 – ANÁLISE DE RESULTADOS

Com respeito à produtividade, observou-se na figura 59, gráfico em que a produtividade dos cultivares de rosa sp. fertirrigados com solução nutriente condicionada magneticamente foi maior que a atingida pelo cultivar tratado de forma convencional. Esta diferença atingiu um nível de significância de 99,9% em análise de variância (ARA, MUSETTI, SCHNEIDERMAN, 2003) segundo a distribuição F (tabela 7 anexos A1).

Nota-se ainda, na figura 59, que no período de verão (meses 6 a 9 e 18 a 21) a produtividade apresentou-se maior que nas demais estações. Interessante observar que no 2º ciclo primaveril (meses 15 a 18) obteve-se a mesma produtividade que no verão do 1º ciclo de cultivo de verão (meses 3 a 6). Isto permite levantar uma hipótese para futuros estudos sobre o incremento da produtividade e com a repetição dos ciclos de cultivo com solução condicionada magneticamente.

Nos demais parâmetros monitorados, comprimento e espessura da haste, botão e folhas (figuras 60 a 65), observou-se também uma diferença positiva significativa no crescimento das plantas tratadas com solução nutriente magneticamente condicionada (tabela 7).

Nas figuras 60, 62 e 63, nota-se um aparente incremento das dimensões dos botões e comprimento das hastes, ao se repetir o ciclo de cultivo com a solução nutriente condicionada magneticamente.

Nas figuras 59 a 65 nota-se que o cultivar tratado com a fertirrigação magneticamente condicionada apresenta valores superiores ao do cultivar de referência (testemunha).

No decorrer deste estudo observaram-se ainda alguns pontos distantes que retratam comportamentos não previstos, que em falta de mais dados atribui-se a parâmetros não controlados, tais como:

- níveis de insolação
- temperatura ambiente
- umidade ambiente
- correções de concentração da solução nutritiva (solução de irrigação).

## 9.1 – DIMENSÕES DA ROSA E PRODUTIVIDADE

Tabela 7 – Resultados gerais / finais – produtividade (nº de hastes colhidas) e dimensões da rosa

Parâmetros de Controle	Teste.	Condici. Magnetic.	Difer.-%	F calc.	Confiabilidade Estatística - %
1 – Produtividade (nº de hastes)	109	134	+ 23	41	99.9
2 - Comprimento de Haste (mm)	675,8	702,1	+ 3,9	76,7	99.9
3 – Espessura de Haste (mm)	6,1	6,4	+ 4,9	55,9	99.9
4 – Comprimento de Botão (mm)	40,8	42,4	+ 3,8	53,2	99.9
6 – Comprimento de Folha (mm)	73,0	75,0	+ 2,7	58,7	99.9
7 – Largura de Folha (mm)	41,9	43,7	+ 4,2	40,3	99.9

## 9.2 - A SOLUÇÃO DE IRRIGAÇÃO

Nas figuras 66, 67 e 68 observa-se, graficamente, que a aplicação do campo magnético à solução de fertirrigação não produziu nenhuma diferença nos parâmetros monitorados de solução nutriente (pH, condutividade e temperatura) que atingisse significância para refutar sua identidade (tabela 8)

Tabela 8 – Resultados gerais / finais – medições da solução de irrigação

Parâmetros de Controle	Testemunha	Condicionada magneticamente
1 – pH da solução de irrigação	6,36	6,32
2 – Condutividade da solução de irrigação ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	0,878	0,839
3 – Temperatura da solução de irrigação ( $^{\circ}\text{C}$ )	22,01	21,96

## **10 – CONCLUSÃO**

Considerando que os dois universos estudados, cultivar irrigado com solução magneticamente condicionada magneticamente e o com solução usual, em iguais condições de clima, de substrato e de fertirrigação apresentaram desempenhos estatisticamente diferentes, pode-se aceitar a hipótese de que a magnetização da solução de fertirrigação de cultivares de rosas leva-os a uma maior produtividade e a uma melhoria da qualidade das flores colhidas (tamanho de botões e comprimento das hastes).

Analogamente, o experimento conduzido não evidenciou alterações significativas da qualidade da solução de nutrientes - fertirrigação (pH e condutividade) ou da sua temperatura de trabalho devido ao condicionamento magnético.

## 11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WATSON, J.D. (1983); ***Molecular Biology of the Cell***, 3. ed., Garland, New York & London.
- ALMEIDA, F.R.F., AKI, A.Y. (1995), ***Grande crescimento no mercado de flores***. Agroanalysis, v. 15, p.8-11
- AGUIAR, A.B. (2001); Dissertação de Mestrado – ***O emprego do permeamento de Guelph na determinação da permeabilidade solo, de camadas de lixo e sua cobertura***, Universidade Federal Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro
- Aqua Shield do Brasil Ltda, Rua Júlio Prestes, 405 – Vila Monteiro – Piracicaba – São Paulo - <<http://www.aquashield.com.br>> . Consultado em: 29-12-2003
- AMON, D. I. ; STOUT, P. R. (1939) ***The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with especial reference to cooper***. Plant Physiology . v 14, p. 371 - 375
- Antiscale magnetic treatment (2003), The School of Wafer Sciences, Cranfield University, <http://www.cranfield.ac.uk/simslwaterlmagnets.htm> , acessada em abril de 2003
- ARA, A.B.; MUSETTI, A.V.; SCHNEIDERMAN, B. (2003), ***Introdução à estatística***, Instituto Mauá de Tecnologia – IMT, Editora Edgard Blucher Ltda – SP – 152pg
- ARRUDA, S.T.; OLIVETTE, M.P.A.; CASTRO, C.E.F. Diagnóstico da floricultura do Estado de São Paulo. ***Revista Brasileira de Horticultura Ornamental***, v.2, p.1-18, 996.
- ATKINS, P. W. (1994); ***Physical Chemistry***, Oxford University Press, 5ª edição, cap. 16 e 22
- BAILLE, M.; BAILLE, A.; DELMON, D. (1994); ***Microclimate and transpiration of greenhouse rose crop***. Agricultural Florestry and Metereology, v.71, p.83-97.
- BAKER, S. J.(1996); JUDD, S.; ***Water Res.***, 30. 247
- BELCH, A.; Rice, S.A. (1987); ***J. Chem. Phys.***, v.86, p.5676-5682
- BELOVA, V. (1972); ***Magnetic Treatment of Water*** – Soviet Science Review: Scientific Developments in the USSR – Moscow, URSS - No.3, p.150-156
- BLOOM, A. J. (1994); ***Crop acquisition of ammonium and nitrate in physiology and determination of crop yield***. . Soil Science Society of America, Inc, Crop Science of America, Inc, Madison , WI, p. 303-309.
- BOLD, C. HAROLD. (1972); ***O Reino Vegetal*** , Edgar Blucher , Editora da Universidade de São Paulo, SP, 189 pg.
- BOGATIN, J. (1999); ***Environ. Sci. Technol.***, v.33, p.1280-1285



- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. (1978); ***Statistics for experimenters. An introduction to design, data analysis and model building***; John Wiley & Sons: New York.
- BUENO, W. A. (1978); ***Ligação de Hidrogênio***. Ed. Universidade de São Paulo, Ed. McGRAW-HILL do Brasil Ltda, São Paulo, 181p.
- CAMARGO, S. M. (2004); ***Nutrição e Adubação de Áster Ericodes (White máster) influenciando produção e longevidade*** – Tese de Doutorado – ESALQ-USP, Piracicaba, SP.
- CARPENTER, K. R. (1985); ***Magnetic Treatment Does Work*** – Aqua Magnetics International, Inc. Palm Harbor – Florida – USA, 8 p.
- CARPENTER, K. R. (1992); ***Magnetic Treatment Today's Alternative*** – Aqua Magnetics International, Inc. Safety Harbor – Florida – USA, 13 p.
- CASARINI, E. (2001); ***Doses de N e K aplicados via fertirrigação na cultura da roseira (rosa sp.) em ambiente protegido*** – Tese de Doutorado – ESALQ – USP, Piracicaba, SP.
- CASTELLAN, G. W. (1982); ***Físico Química***, v. 1, ed LTC, Rio de Janeiro, 489 p.
- CASTRO, C. E. F., HONÓRIO, S.L. (1992); ***Colheita e conservação de flores . Manual de Floricultura***, Maringá, 1992.
- CHEMICAL ABSTRACTS, (1990-2000); **subject: magnetic water**
- CLARKE, S. M.; EATON-RYE, J.J. (2000); ***Amino acid deletion in loop C of chlorophylla-binding protein CP47 alter the chloride requirement and or prevent the assembly of photosystem II***. Plant Mol. Biol. V. 44 p. 591-601
- CLARO, D.P. , ***Análise do complexo agroindustrial das flores do Brasil***. Lavras, 1998. 103 p. Dissertação (M.S.) Universidade Federal de Lavras
- COEY, J.M.D. , CASS S. (2000); ***Magnetic Water Treatment*** – Journal of Magnetism and Magnetic Materials 209 – Dublin – Ireland, p.71-74
- COSTA, A. R. (2001); ***As Relações Hídricas das Plantas Vasculares*** – Tese de Doutorado – Departamento de Biologia – Universidade de Évora – Portugal – 2001, 95 p.
- COLIC, M.; MORSE, D. (1999); - ***Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*** v. 154, p. 167-174
- COOPER, A.J. (1978); ***Crop production in recirculating nutrient solution***. Scientia Horticulturae, n.3, p.251-258.
- CULLITY, B. D. (1972); ***Introduction to Magnetic Materials*** – Addison-Wesley Publishing Company

- DOUILLARD, J.M.; Elwafir, M.; Partyka, S. (1994); **J. Colloid Interface Sci.**, v.164 (1), p.238- 244
- EISBERG, R.; RENISCK, R. (1985); **Física Quântica**, 3ª ed., Ed. Campus, Rio de Janeiro, p. 345-376
- EPSTEIN, E. (1972); **Mineral nutrition of plants : Principles and perspectives**, Wiley – New York.
- EPSTEIN, E. (1999); **Silicon**. Annu. Rev. Plant Physiol. - Plant Mol. Biol. V 50. p. 641-664
- FARIA, R. N. & LIMA, L. F. C. P. (2005); **Introdução ao Magnetismo dos Materiais** – Editora Livraria da Física – São Paulo.
- FOLEGATTI, V.M.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F. (2001); **Lâminas de irrigação e a qualidade de hastes e botões florais de rosas cultivadas em ambiente protegido** – Scientia Agrícola, v 58 – n 03 – p 465-468
- FREITAS, A. M. B. (1999); Dissertação de Mestrado - **Influência do Campo Magnético na Cristalização em Solução**, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar – São Carlos
- FRUPEX, (1994), **Catalogo informativo do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária – MAARA, Secretaria do Desenvolvimento Rural – SDR, Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais – FRUPEX, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO, 1994**
- FRUTUOSO, João Teodoro (2002); **Sugestão dos Parâmetros de Controle da Água de Sistema Industrial**- Ondeo-Nalco – São Paulo-SP
- GATTI, E. U. (1992); **Aspectos econômicos da floricultura no Brasil. Manual de Floricultura**. São Paulo.
- GALSTON, A. W.; DAVIES P. S.; SATTER R. L.; (1980), **The life of green plant**. 3<sup>rd</sup>. Ed. Prentice – Hall, New Jersey
- GERICKE, W. F. (1937); **Hydroponics – crop production in liquid culture media**. Science v 85 p. 177-178
- GOLOVLEVA, V.K.; DUNAEVSKII, T.I.; LEVIDKOVA, T.L.; ARKISOV, YU.S.; TSYGANOK, YU.I. (2000); **Study of influence of magnetical fields on the properties of polar liquids**– Russian Physics Journal, v. 43 No 12 , 8 p.
- GORSEL, R. van. (1994), **Postharvest technology of imported trans – shipped tropical floricultural commodities**. Hort Sciense. V. 29, n. 9, p.979-981
- HAEHNEL, W.; (1984), **Photosynthetic electron transport in higher plants**. Annu. Rev. Plant Physiol. V. 35 p. 659-693
- HEPLER, P. K. ; WAYNE, R. O.; (1985) **Calciun and plant development** , Annu. Rev. Plant Physiol. V. 36, p. 659-693

- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. (1994); **Fundamentos de Física 3**, LTC, Rio de Janeiro, 3ª edição, 334p.
- HARARI, M.; LIN, I.(1989) ; **Water Irrig. Rev.**; v.9, p.4-7
- HILBBEN, S.G. (1993); **Magnetic Treatment of Water** – GMX Corporation – Springfield, VA - USA, p. A-1 - A-8
- HOPKINS, W.; (1995) **Introduction to Plant physiology**. John Wiley and Sons, New York
- HUGHES, H.E.; HANAN, J.J. (1978); **Effect of salinity in water supplies on greenhouse rose production**. Journal of the American Society for Horticultural Science, v.103, n.5, p.694-699.
- JOLY, A. B. (1976); **Botânica: introdução a taxonomia vegetal**, 3. ed., Companhia E. Nacional, São Paulo.
- KATO, K.; UMEHARA, N.; SUZUKI, M. (1999); **Journal Magnetism and Magnetic Materials**, v.201, p.376-379
- KEEFE, M. (1993); **Magnetic Water Conditioner and Background on Magnetic Water Treatment** - GMX- Corporation – USA, p. A-9 - A-24
- KIKUCHI, K. O. (1998); **‘Ação da Sacarose na Manutenção de Inflorescências Cortadas de Crisântemo – Dendrathera Grandiflorum Kitamura, após Exposição a Radiação – Gama’**– Tese de Doutorado - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – Autarquia associada à Universidade de São Paulo – USP - SP – Brasil – 83 p
- KJELLBOM, P.; C. LARSSON; I. JOHANSSON; M. KARLSSON & U. JOHANSON (1999) – **Aquaporins and water homeostasis in plants**; Trends in Plant Science 4:308-314
- KLASSEN, V. (1982); **Magnetic Treatment of Aqueous Systems**, Khimia: Moscow
- KOZIC V., LIPUS L. C. (2003); **Magnetic Water Treatment for a Less Tenacious Scale** – Journal of Magnetism and Magnetic Material – V 345, p. 367-388
- KOZLOWKI, T.T. & S.G. PALLARDY (1997) - **Physiology of Woody Plants** - Academic Press
- KIEK, M.; ANINGA, J.; Patent US 2.317.774 (1943),**Magnetic Filter**, 27 april
- KRAMER, P.J. & BOYER, (1995) **Water relations of plants and soils** - MacGraw-Hill, New York
- KRONENBERG, J. K. (1987); **Magnetic Water Treatment de-Mystified** – Magnets – Claremont, CA – USA, p. 6- 27
- KRONENBERG, J. K. (1993); **Magnetized**, Aqua Magazine , p. 20-23
- KRONENBERG, J. K. (1993); **Magnetized I I**, Aqua Magazine, p. 20-2

- KRONMULLER, H. (1995); **Recent developments in hightech magnetics materials** – Journal of Magnetism and Magnetic Materials – V 24- pg140 – 144
- LARCHER, W. (1995); **Physiological Plant Ecology**, Springer, Berlin.
- LANDGRAF, F.J.G.; GARCIA, P.M.P.; POÇO, J.G.; GIULIETTI, M. (2004); **Efeito do Campo Magnético em Soluções Aquosas**, Trabalho adaptado do apresentado no CBECIMAT 2004, Porto Alegre – RS
- LEVINE, D.M.; BERENSON, M.L.; STEPHAN, D. (2000); **Estatística: Teoria e Aplicações**; LCT, Rio de Janeiro, 811p.
- LEVY, D.; HOLZER, Z.; BROSH, A; LLAN, D. (1990); *Bet Dagan, Israel, Agricultural Research Organization*; The Volcani Center, Israel, N° 3057-E, p.23-34
- LIN, I.J., YOTVAT, J. (1990); **Esposure of irrigation and drinking water to a magnetic field with controlled power and direction** – Elsevier Science Publishers B.V.– Haifa – Israel, 2 p.
- LIN, I.J.; YOTVAT, J. (1990a); **J. Magn. Mater.**, v. 83 (1-3), p.525-526
- LIU, K.; BROWN, M.G.; CARTER, C.; GREGORY, J.K.; SAYKALLY, R.J.; Clary.D.C. (1996); **Nature**, v.387, p.501-503
- LORENZEN. L. H. (1998); Patent US 5.711.950, **Process for Preparing Microclustered Water**, 27 january
- LOOMIS, R.S.; CONNER, D.J.; (1992) “**Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Sístems**” Cambridge University Press, Cambridge.
- MACÊDO, J. A. B. (2000); **Águas & Águas**, Ortofarma, Juiz de Fora, MG, 505 p.
- MACHADO, K.D. (2002); **Teoria do Eletromagnetismo**, Ed. UEPG, Ponta Grossa-PR, 901p.
- MARQUES, R.W.C.; FILHO, F.V.V. (2002); **Sazonalidade do mercado de flores e plantas ornamentais no Estado de São Paulo: o caso da CEAGESP-SP** – Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural – v 40 – n 4 .
- MARSCHER, H., (1995), **Mineral nutrition of higher plants** 2 end. Academic Press, London
- MASTERLERZ, J.W.,(1987), **Environmental factor light, temperature and carbon dioxide.**, **Langhaus, R.W. A manual of greenhouse production.** Michigan: Rose, 1987 cap. 15 p.147-170
- MASTERTON, W.L. SLOWINSKI, E.J. (1978), **Química Geral Superior**, Interamericana, Rio de Janeiro-RJ, 583p.
- MENGEL, K., KIRKBY, E.A., (1987), **Principles of plant nutrition**, International Potash Institute, Warblau fen-Berni, Switzerland

- MIRUMYANTS, S.O.; VANDYUKOV, E.A ; TUKHVATULLIN, R.S. (1972) ; **Russ. J. Phys. Chem.**, v.46, p.124
- MORRISH, A. H. (1965); **The Physical Principles of Magnetism**, John Wiley & Sons, New York, 680p.
- MOE, R. (1971), Factor affecting flower abortion and malformation in roses. *Physiologia Plantarum*. V.24, p. 291-300
- MOORE, W.J. (1976); **Físico-Química**, Edgard Blücher, 4<sup>a</sup> ed., São Paulo-SP, v. 1 e 2, 866p.
- NOBEL, P.S. (1999); **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**, 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA, 650p.
- NOGGLE, G. R.; FRITZ, G. J., (1976), **Introduction of Plant Physiology**, Prentice – Hall, London
- PASKALEV, G.; TSAVECH, S. (1983); **Investigations on rejuvenation of rose plantations mulched with polyethylene film**. *Rasteniye i dni Nauki*, v.19, n.7, p.36-39.
- PORTO, M.E.G. (1998); Dissertação de Mestrado - **Alterações de propriedades biológicas e físico-químicas da água induzidas por campos magnéticos**, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp – Campinas
- Poritex do Brasil Ltda, Rua Júlio Prestes, 405 – Vila Monteiro – Piracicaba – São Paulo - <http://www.poritex.com.br> . Consultado em: 29-01-2006
- QUINN, C.J. (1993); **Magnetic water treatment for heating, refrigeration, and air-conditioning systems**, GMX Corporation, Fort Wayne, Indiana, USA, p. A-25 – A-38
- RAVEN, J. A., SMITH, E. A. (1976), **Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation** *New Phytol.* V. 76 p. 415-431
- RODRIGUES, E. J. R.; MINAMI K.; FARINA E. (1999); **Cobertura do substrato com filme plástico e o cultivo hidropônico da roseira: produtividade, consumo de água, temperatura e salinização** – CEDAF/UFV – Florestal, MG – ESALQ/USP – Piracicaba , SP .
- SALA, F. (1999); **Magnetic fluids effect upon growth processes in plants** – *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 201, p. 440-442
- SANDERS, D.; BROWNLEE, C.; HARPER, J.F. (1999), **Communicating with calcium**. *Plant Cell*. v. 2, p.691-706
- SALINGER, J.P., **Rosas de invernadero – Producción comercial de flores**, Zaragoza. Acribia. Cap. 4, p. 279-294
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C. W., (1992), **Plant physiology**, 4<sup>th</sup> Ed. Wadsworth Publishing Company, California

- SEBANÉK, J. (1992) *Plant Physiology*, Elsevier
- SCHREIBER, L., HARTMANN, K.; SKRABS, M.; ZEIER, J.; (1999), ***Apoplastic barriers in roots: chemical composition of endodermal and hypodermal cell walls***, Journal of Experimental Botany v. 50, p. 1267-1280
- SCHULTZ, A. R. (1969); **Botânica**, Editora Globo, Porto Alegre, PR, 306 p.
- SHELP, B.J. (1993), ***Physiology and biochemistry of boron in plants. Boron and its Rule in crop production***, U.C. Gupta, ed. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 53-85
- STEUDLE, E. (1989); ***Water flow in plants and its coupling to other processes: An overview*** - Methods Enzymol, v. 174, p.183-225
- STEUDLE, E. (2001); ***The cohesion-tension mechanism and the aquisitin of water plant roots*** – Annu. Rev. Plant Physiology, v. 52, p.847-875
- STEUDLE, E. & C. A. PATERSON (1998) – ***How does water get through roots*** - Journal of Experimental Botany, 49:775-788
- SUTCLIFFE, JAMES (1979); ***As Plantas e a Água***, v 23, EDUSP, SP, 1979, 126 p.
- SoPhTec International (1992); ***Physical Water Conditioning in Agriculture*** – Richmond Hts, OH - USA, 3 p.
- SoPhTec International (1992); ***Tecnical Data Sheet Model I-1020. Physical Water Conditioning Tecnology***. Costa Mesa - CA - USA, 8 p.
- TALBOLTT, L. D. & E. ZEIGER (1998); ***The role of sucrose in guard cell osmoregulation*** – Journal of Experimental Botany, v. 49, p 329-337.
- TAIZ, L. & E. ZEIGER (1998); ***Plant Physiology***, Sinauer, Massachussets, 720 p.
- TEXTO DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA – FLORICULTURA (2004)  
<http://www.uesb.br/flower/florbrasil.html#regiao>, acessada em maio de 2004
- THE FERTILIZER INSTITUTE (1972); ***Manual de fertilizantes*** – Washington – EUA, 229p.
- UNGER, P.W.; DANIELSON, R.E. (1967); ***Water relation and growth of beans (Phaseolus vulgaris L.) as influenced by nutrient solution temperatures***. Agronomy Journal, v.59, p.143-146.
- URCULLU, G.B., (1953), ***Cultivos ornamentais para flor cortada: Cultivo del rosal***. Barcelona. Salvat, 512p
- VARGAS, M. (1977);, ***Introdução à Mecânica dos Solos*** – Capítulo V .
- VLADIMIRSKY, M.A; KUZNETSOV, A.A. ; PHILIPPOV, V.I. (1993); ***J. Magn. Mater.***, v.122, p 371- 373
- VILLATE, E. J. (1999); ***Electromagnetismo***, MacGraw-Hill, Lisboa, 1999, 301p.

WEAST, R.C.(1986-1987); *CRC – Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press. Inc. 67<sup>a</sup> edição

ZEIGER, E. (2000) – ***Sensory transduction of blue light in guard cells*** - Trends in Plant Science v 5:183-185

ZIMMERMANN, H. M.; K. HARTMANN; L. SCHEREIBER & E. ESTEUDLE (2000);  
***Chemical composition of apoplastic transport barriers in relation to radial hydraulic conductivity of corn roots (Zea mays L)*** – Planta v. 210, p. 302-311.

WEYERS, J.D.B., MEIDNER, H., (1990), “***Methods in stomatal research***“, Longman Scientific and Technical, Essex

ZERONI, M. (1998); ***Plant tolerance of salinity in greenhouses: physiological and practical considerations***. Acta Horticulturae, n.229, p.55-71.

ZIESLIN, N.; HALEVY, A.H. (1975); ***Flower bud atrophy in Bacara roses. II. The effect of environmental factors***. Scientia Horticulturae, v.3, n.4, p.383-391.