Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

CONTRIBUIÇÕES PARA A IRRIGAÇÃO PRESSURIZADA NO BRASIL

RUBENS DUARTE COELHO

Texto sistematizado apresentado à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para o concurso de Livre-Docência junto ao Departamento de Engenharia Rural

Piracicaba - SP
Julho / 2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Coelho, Rubens Duarte
Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil / Rubens Duarte Coelho. - -
Piracicaba, 2007.
192 p.

Livre-Docência - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Irrigação por aspersão 2. Irrigação por gotejamento 3. Irrigação por microaspersão
4. Irrigação por pivô central 5. Métodos de irrigação I. Título

CDD 637.1

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Este *Texto Sistematizado* foi elaborado para atender às exigências do Edital ESALQ/ATAC 073-2006 publicado no Diário Oficial de 20/12/06, que estabelece os requisitos básicos necessários para a inscrição no Concurso de Livre-Docência, junto ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, na *Especialidade: Engenharia de Água e Solo, Conjunto de Disciplinas: "Hidráulica e Irrigação"*.

Texto Sistematizado foi idealizado com base no Processo USP / ESALQ de número 96.5.400.11.9 (Anexos-A), o qual apresenta sugestões aos candidatos do Concurso de Livre-Docência para a elaboração deste material.

PREFÁCIO

Apesar dos extraordinários avanços científicos da biotecnologia nos últimos 10 anos, ainda são remotas as possibilidades de que uma planta em condição de deficiência hídrica permanente no solo possa atingir níveis de produtividade e de qualidade comercial da produção, comparáveis aos de uma planta irrigada.

Melhoramentos genéticos que conferem às plantas maior tolerância à seca, resultam na maioria das vezes na diminuição do potencial produtivo por unidade de área, sendo importantes para a agricultura de subsistência e aos cultivos em larga escala, principalmente nos países sub-desenvolvidos e em desenvolvimento com boa disponibilidade de terras.

Até o ano de 2050, estima-se que 2,5 bilhões de novos habitantes se somarão à população atual do planeta de 6,7 bilhões. A demanda futura por alimentos exigirá um aumento significativo de produtividade nas áreas agrícolas tradicionais, em função da escassez de terras para novos plantios nos países desenvolvidos e das restrições ambientais impostas à derrubada das florestas remanescentes nos demais países.

Sendo 70 % do consumo hídrico mundial, destinado atualmente à irrigação de culturas agrícolas, evidencia-se a importância dos novos equipamentos de *Irrigação Pressurizada* de alta eficiência como instrumentos de minimização dos conflitos de uso da água, atuais e futuros, em diferentes regiões do globo terrestre.

Com base nesta perspectiva, o presente texto tem por objetivo apresentar de maneira sistematizada, num contexto crítico, a obra acadêmica do professor *Rubens Duarte Coelho*, vinculado à Universidade de São Paulo, entre os anos de 1989 e 2007, intitulada: “*Contribuições para a Irrigação Pressurizada do Brasil*”.

Para facilitar a dinâmica de leitura e a organização das idéias, o texto relata inicialmente a visão atualizada do autor sobre a irrigação pressurizada na agricultura mundial, apresentando posteriormente em diversos tópicos específicos dessa área do conhecimento, seus trabalhos científicos publicados e apresentados em eventos, suas teses orientadas e seus textos divulgados em revistas e jornais, numa ordem cronológica flexível de acordo com o assunto abordado.

Ao final do texto são apresentadas algumas perspectivas sobre a questão energética na *Irrigação Pressurizada*, que na opinião do autor é atualmente o maior desafio ao uso desta tecnologia em larga escala no Brasil.

Sendo finita a disponibilidade de terras, de recursos hídricos e de capital, o autor espera que este texto possa ajudar na otimização da produção de alimentos em áreas irrigadas.

BIOGRAFIA

Rubens Duarte Coelho, nascido a 6 de maio de 1965, em Campinas, SP, é o segundo de três irmãos. Motivado pela curiosidade natural de aprender “como as coisas funcionam”, desde a infância efetuou pequenos consertos mecânicos em brinquedos, aparelhos elétricos e automóveis, habilidade esta aprimorada na adolescência com o “*hobby*” de aeromodelismo, incentivado pelo pai, Luiz Carlos Costa Coelho, Pesquisador aposentado do Instituto Florestal de São Paulo.

Dedicado aos estudos nos cursos fundamental e médio, sempre demonstrou interesse pela área de Engenharia. Em 1983, confirmou sua vocação pela área de Engenharia Agrônômica, e realizou seu desejo de estudar na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, terra natal de sua família materna. No ano de 1986, concluiu seu curso de graduação e teve o prazer de conhecer a fisioterapeuta Claudia Alves Lima Coelho, com quem casou-se no ano de 1989.

Tendo dirigido sua formação acadêmica na graduação para a área de Engenharia Rural sob a supervisão dos Professores Marcos Milan e Luiz Geraldo Mialhe, com base nas disciplinas optativas de graduação e nos cursos de mestrado (1990) e de doutorado (1996), direcionou-a mais especificamente para a área de *Engenharia da Irrigação Pressurizada*, sob a orientação dos Professores Marcos Vinícius Folegatti, Fazal Hussain Chaudhry e Derrel Martin.

Acumulou experiência profissional tanto na iniciativa privada (1987), quanto na oficial (Universidade de São Paulo: 1988-2007), a qual foi aprimorada nos cursos de pós-graduação realizados, na participação efetiva em eventos técnico-científicos e também por um período de intercâmbio de estudos junto à Universidade de Nebraska, EUA (1994-1995), com apoio do CNPq.

Com relação às atividades de ensino na Universidade de São Paulo (ESALQ), totaliza atualmente 2.283 horas-aula em disciplinas de graduação (turma ~ 60 alunos) e 1.077 horas-aula em disciplinas de pós-graduação (turma ~ 15 alunos), contabilizando aproximadamente 136.980 horas-aula.aluno na graduação e 16.155 horas-aula.aluno na pós-graduação.

No que diz respeito à participação em atividades administrativas dentro da instituição, já se envolveu em 15 atividades distintas, sendo que atualmente é Membro do Conselho de Pós-Graduação, Representante dos Professores Doutores no Conselho de Departamento, Membro da Comissão de Gestão da Fazenda Experimental e Membro da Comissão de Sindicância da ESALQ.

A aprovação de 11 projetos FAPESP e de 6 projetos CNPq nos últimos anos, permitiu o aporte de recursos financeiros significativos para o desenvolvimento de suas pesquisas e a participação em eventos científicos no exterior, em complemento às verbas CAPES e CNPq, disponibilizadas ao Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ.

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1C consolida até o presente momento, participação efetiva em 284 artigos completos apresentados, sendo 73 publicados em periódicos e 194 publicados em anais de eventos nacionais e internacionais. Tendo já orientado 14 alunos do Curso de Pós graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ (6 Doutorandos / 8 Mestrandos) e 28 alunos de graduação em Iniciação Científica, apresenta atualmente 9 orientações em andamento.

A participação em 148 bancas de comissões julgadoras (Dissertações de Mestrado, Teses de Doutorado, Exames de Qualificação, etc), assim como, o trabalho de Consultor Científico em 22 Revistas Científicas e Conselhos de Pesquisa, propiciaram um maior entrosamento com a comunidade científica nacional e internacional na área de Engenharia de Água e Solo, o que permitiu a ampliação de novos horizontes de pesquisas.

Participações efetivas em 9 Congressos Internacionais, 48 participações em Congressos, Simpósios e Workshop no Brasil, complementam sua formação científica. Visitas técnicas e científicas realizadas a centros de pesquisas, a empresas fabricantes de sistemas de irrigação e áreas irrigadas no exterior (80) e no Brasil (140), propiciaram uma visão globalizada das diferentes realidades da irrigação no mundo.

Atividades de Extensão Comunitária, na forma de Reuniões Técnicas (169), Reuniões Científicas (61), Seminários (14), Palestras em Eventos (30) e Cursos de Curta Duração (7), possibilitaram a transferência tecnológica dos conhecimentos acumulados durante sua vida profissional, além do ambiente de sala de aula, sendo credenciado pela CERT (USP) a exercer atividades de Consultoria em Regime de RDIDP.

O alicerce básico de suas aulas de graduação e pós-graduação fundamenta-se na formação profissional de seus alunos, visando o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Brasil, no que diz respeito à viabilidade econômica dos projetos, ao uso racional dos recursos naturais envolvidos (hídricos, energéticos e edáficos) e à adequação tecnológica ao contexto social.

DEDICATÓRIA

À Deus pelos dons que me foram concedidos, pelas alegrias, pelas tristezas, pelo convívio familiar com meus pais e irmãos, pelos amigos e pelos professores que tive ao longo de minha vida, os quais definiram meu caráter, minha personalidade e minha esperança em um futuro melhor para todos nós;

À minha querida esposa Cláudia, fonte da alegria de viver, de companheirismo e de solidariedade humana;

Em memória de meu filho Pedro, de meus avós: Manoel, Antonieta, Antonio e Maria e de meu tio Arlindo;

À minha tia Zezé e ao meu estimado primo Arlindinho.

Dedico este texto.

AGRADECIMENTOS

Aos meus ex-orientados e orientados atuais do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ, pela oportunidade de trabalharmos em parceria, pela dedicação, pelo entusiasmo científico e questionamentos, os quais foram importantes para a elaboração deste texto: *Carlos Amilton Silva Santos, Maurício Antonio Coelho Filho, Carmello Crisafulli Machado, Ronaldo Souza Resende, Luis Fernando Faria, Valter Dantas Pinheiro, Leandro Fellet Lourenço, Guilherme Bussi de Carvalho, Marco Antonio Fonseca Conceição, Luis Geraldo Teixeira Soria, Marcelo de Novaes Lima Ferreira, Marconi Batista Teixeira, Ralini Ferreira de Mélo, Rodrigo Otávio Câmara Monteiro, Sérgio Weine Paulino Chavez, Lilian Cristina Castro de Carvalho, Sérgio André Tapparo, Robson Alexsandro de Souza e Pabblo Atahualpa de Aguiar Ribeiro.*

Aos meus ex-alunos da Disciplina *LER 829 - Irrigação Pressurizada 1*, do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ, que tive o prazer de atuar como orientador pontual em trabalhos desenvolvidos durante o período letivo, cujos artigos científicos e técnicos apresentados em eventos ou publicados em periódicos, alguns aqui relatados, contribuíram para o aprimoramento de meu conhecimento científico e meu entusiasmo pela vida acadêmica.

Aos meus ex-orientados e orientados atuais de Iniciação Científica, pelas contribuições nos experimentos conduzidos e pela energia radiante da juventude: *Valter Mendes da Silva (in memorian), Anderson Soares Pereira, André Luis Teixeira Fernandes, Renato Weigand, Fernando José Nicolucci, Ithamar Prada Neto, Rafael Gustavo Arruda, Eduardo Gonçalves Bicego, Rafael Mingoti, Mateus dos Santos Lourenção, Alex Rodrigo Villa, Ronaldo Ravazzi Amado, Fernando Toshio Koshiyama, Daniel Mota Khalil Amhaz, Pedro Rodrigues Alves Silveira, Eugênio Beltrami Neto, Ana Luiza Mascarin, Alessandra Esperini Feitosa.*

Aos professores *Antonio Sanchez de Oliveira, Antonio Fernando Lordelo Olitta e Marcos Vinicius Folegatti*, pela confiança depositada e apoio recebido no início de minha carreira profissional na Universidade de São Paulo.

Aos meus ex-orientadores, professores *Marcos Milan, Luiz Geraldo Mialhe, Marcos Vinicius Folegatti, Fazal Hussain Chaudhry e Derrel Martin*, pela atenção dispensada nos momentos essenciais de minha formação acadêmica.

"É graça divina começar bem. Graça maior persistir na caminhada certa.
Mas a graça das graças é não desistir nunca."

Dom Hélder Câmara

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CAMPUS DE PIRACICABA

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"

SPG/1758/87

Piracicaba, 29 de dezembro de 1987.

eabco

Ilmo Sr.

RUBENS DUARTE COELHO

Rua Santo Antonio Claret, 380 - Bairro Castelo

13073 - CAMPINAS - SP

Prezado(a) Senhor(a):

Pela presente e de ordem do Presidente da Comissão de Pós-Graduação, Prof. Irineu Umberto Packer, tenho a satisfação de comunicar-lhe que V.Sa. foi aceito(a) como aluno(a) regular do Curso de Pós-Graduação em "IRRIGAÇÃO E DRENAGEM" a nível de MESTRADO, para o programa 1988/89.

Informo-lhe, outrossim, que as aulas terão início em 01 de março de 1988, devendo V.Sa. efetuar a matrícula nas disciplinas que cursará no 1º semestre, na primeira quinzena de fevereiro.

Na oportunidade, V.Sa. deverá comparecer nesta Seção munido dos seguintes documentos:

- 2 cópias xerox autenticadas do título de eleitor
- 2 cópias xerox autenticadas do certificado militar
- 1 cópia xerox autenticada da Cédula de Identidade
- 1 cópia xerox autenticada do CIC
- 1 foto 3 x 4 para a carteira de identificação de aluno

À disposição de V.Sa. para outros esclarecimentos - que julgar necessários, subscrevo-me

Atenciosamente,

Dirce Alessi Pelegrino
Chefe Administrativo de Serviço
Pós-Graduação

**University of
Nebraska
Lincoln**
Institute of Agriculture and Natural Resources

Dept. of Biological Systems Engineering
L. W. Chase Hall, East Campus
P.O. Box 830726
Lincoln, NE 68583-0726
Telephone (402) 472-2824
FAX (402) 472-6338

October 20, 1993

Professor Fazal H. Chaudhry
Professor, Dept. of Hydraulics
and Sanitary Engineering
Universidade De São Paulo
São Carlos School of Engineering-USP
C.P. 359
CEP: 13560-970 - São Carlos-SP
Brazil

Dear Dr. Chaudhry:

It will be our pleasure to interact with you and your Ph.D. student Rubens Duarte Coelho to jointly develop a research program on center pivot irrigation systems and irrigation water management. We welcome the opportunity to become better acquainted with your programs at São Carlos. We agree to assist Mr. Coelho in research for his Ph.D.

Nebraska has more than twice as much sprinkler irrigated land as any state in the USA. There are approximately 30,000 center pivots operating in Nebraska. Most center pivot manufacturers are located in Nebraska. We have developed a research program in the Biological Systems Engineering Department at the University of Nebraska to serve this very important industry. Facilities are available for research on the design, efficiency and management of center pivot irrigation.

We have several projects located across the state that can serve the needs of Mr. Coelho. These facilities will be available to Mr. Coelho as needed and as consistent with our on-going programs. The Department of Biological Systems Engineering will provide office space, computer access, transportation to research sites and consultation for Mr. Coelho. These arrangements will provide the opportunity to interact with other US and international graduate students.

Dr. Martin agrees to serve as the primary contact while Mr. Coelho is at Nebraska. Dr. Martin looks forward to publishing joint research articles that will result from the research. He would be happy to include a trip to Brazil for Mr. Coelho's defense of the Ph.D. research and to be a member of Mr. Coelho's supervisory committee if that is beneficial.

We look forward to working with you and Mr. Coelho, and hope that this effort can grow into a larger cooperative research program between our institutions.

Sincerely,

Dr. Glenn J. Hoffman
Head, Biological Systems Engineering

Derrel L. Martin, P.E.
Associate Professor

c: Mr. Rubens Duarte Coelho

**University of
Nebraska
Lincoln**
Institute of Agriculture and Natural Resources

Dept. of Biological Systems Engineering
L. W. Chase Hall, East Campus
P.O. Box 830726
Lincoln, NE 68583-0726
Telephone (402) 472-2824
FAX (402) 472-6338

October 7, 1994

Professor Fazal H. Chaudhry
Professor, Dept. of Hydraulics
and Sanitary Engineering
Universidade De São Paulo
São Carlos School of Engineering-USP
C.P. 359
CEP: 13560-970 - São Carlos-SP
Brazil

Dear Dr. Chaudhry:

Mr. Rubens Duarte Coelho asked me to write a letter of support concerning the extension of his research scholarship for an additional year. I am pleased to do that.

Mr. Coelho has worked very hard this past year. He planned and implemented a very aggressive research project in 1994. He developed methods to measure the performance of implanted reservoirs used to capture irrigation water applied with a center pivot irrigation system equipped with Low-Energy Precise-Application (LEPA) devices. The implanted reservoirs are small depressions in the furrow between corn rows. The typical reservoir might hold 5 liters of water. Our research has shown that the implanted reservoirs are essential for LEPA irrigation because the devices apply water much faster than the soil can infiltrate the water. If the water is not stored it runs off causing poor uniformity, leaching and erosion. Success depends on maintaining the reservoirs throughout the season. However, the LEPA application devices erode and fill the small reservoirs. No one has developed a method to predict the life of these small reservoirs or to simulate their impact on infiltration. Rubens is working on measuring the effectiveness of the reservoirs and ultimately on simulating the design and performance of the reservoirs in response to LEPA irrigation management.

This summer Rubens measured many aspects of the reservoirs. He developed the research plots and the methods to study the reservoir performance. The methods are new and untested previously. He needs time to verify that the procedure is accurate and dependable. He also needs an additional year of data to build and validate the model he proposes for his Ph. D. The second year of data will be very critical to defend his simulation. The data he has already accumulated must still be analyzed which may require access to the field. We also need to consult on the development of the model to predict the performance of LEPA irrigation.

In addition I want to comment on Rubens work ethics and research ability. First, he has the curiosity and vision needed to do research. He is interested in not only how things work but also why they work. He is very observant, noticing many things that most of us would neglect. He works very hard to accomplish his objectives. He has spent many long days, weekends and some nights in the field conducting his research. So I want to emphasize that not only is there need for more time for Rubens to finish what he has started, I strongly feel that Brazil will benefit if Rubens succeeds because of his ability and commitment. It would be quite unfortunate if he is not able to complete the type of work of which he is capable. Therefore I strongly support his request for an additional year on the scholarship. I am sure that it will be an excellent investment.

Sincerely

Derrel Martin
Associate Professor

c: Mr. Rubens Duarte Coelho

<i>SUMÁRIO</i>	Pág.
Capítulo 1. Introdução: Considerações Sobre a Irrigação Pressurizada	1
1.1. Situação Atual	1
1.2. Perspectivas no Brasil	9
1.3. Ensino e Pesquisa	13
1.4. Oportunidades de Emprego	16
Capítulo 2. Contribuições na Irrigação por Aspersão	19
2.1. Física de Solos	19
2.2. Equipamentos	37
2.3. Considerações	56
Capítulo 3. Contribuições na Irrigação por Microaspersão	58
3.1. Equipamentos	58
3.2. Diâmetro de Gotas e Efeito de Vento	63
3.3. Considerações	70
Capítulo 4. Contribuições na Irrigação por Gotejamento	71
4.1. Aspectos Agronômicos	71
4.2. Monitoramento e Controle de Entupimento	96
4.3. Hidráulica de Sistemas	133
4.4. Considerações	153
Capítulo 5. Contribuições em Recursos Hídricos e Energéticos	155
5.1. Recursos Hídricos	155
5.2. Recursos Energéticos	156
5.3. Considerações	160
Capítulo 6. Contribuições na Viabilidade Econômica da Irrigação Pressurizada	161
6.1. Análise Econômica de Projetos	161
6.2. Considerações.	173
Capítulo 7. Energia e Irrigação Pressurizada no Brasil	175
Considerações Finais	181
Referências Bibliográficas	183
Anexos	185

Capítulo 1. Introdução: Considerações Sobre a Irrigação Pressurizada

- 1.1. Situação Atual
- 1.2. Perspectivas no Brasil
- 1.3. Ensino e Pesquisa
- 1.4. Oportunidades de Emprego

1.1. Situação Atual

Do total de 260 milhões de ha irrigados atualmente no mundo (FAOSTAT 2007), estima-se que 100 milhões de ha se destinem à irrigação por inundação (arroz), 94 milhões à irrigação por sulcos de infiltração, 62 milhões à irrigação por aspersão e 4 milhões à irrigação localizada (gotejamento e microaspersão).

A perspectiva de crescimento significativo da área total irrigada no mundo é pequena, devendo ficar estabilizada em aproximadamente 17 % da área agrícola total e sendo responsável pela produção de 40 % do alimento consumido no planeta.

Observa-se que os países com grandes populações: Índia, China, Rússia e Paquistão apresentam valores elevados de áreas irrigadas: 55, 47, 21 e 16 milhões de ha respectivamente. Nesses países constata-se uma predominância de sistemas de irrigação por superfície (sulcos de infiltração e inundação), devido ao fato de terem iniciado a irrigação em larga escala, antes do advento dos sistemas pressurizados (1950). Os sistemas de irrigação localizada se destacam não pelo total de área irrigada, mas pelo ritmo de crescimento observado dos últimos 10 anos. Segundo uma importante empresa indiana de irrigação localizada (Jain Irrigation Systems Ltda), este país conta atualmente com 600.000ha de irrigação localizada, em pequenas propriedades com áreas médias de 2ha.

Os Estados Unidos com 24 milhões de ha irrigados apresentam atualmente 48 % da área irrigada por sistemas de superfície (sulcos, faixas e inundação) e os demais 52 % por sistemas pressurizados (12 % localizada e 40% aspersão). Segundo Geohring (2001) o estado da Califórnia, com um total de 3,84 milhões de ha irrigados, a irrigação localizada representa atualmente 18 % da área total (678 mil ha), sendo 403 mil ha em microaspersão, 205 mil ha em gotejamento superficial e 70 mil ha em gotejamento enterrado (SDI).

O Brasil irriga atualmente 3,4 milhões de ha (Cristhophidis, 2006), sendo que desse total 2,2 milhões de ha são irrigados por sistemas pressurizados, destacando-se os seguintes equipamentos: pivô central (850.000ha), autopropelido (400.000ha), aspersão convencional (600.000ha) e irrigação localizada (350.000ha). Com exceção da irrigação da cultura do arroz por inundação e de uma modesta área de irrigação por sulcos, (totalizando 1,2 milhões de ha), o Brasil teve a felicidade de iniciar a implementação da tecnologia de irrigação na década de 70, fazendo uso da experiência e dos equipamentos de irrigação pressurizados já disponíveis no mercado mundial .

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2004), a vazão equivalente (contínua de 24 horas) atualmente consumida nas áreas irrigadas do Brasil é de aproximadamente 589 m³/s.

Em 2004, já se contabiliza no Brasil um total de 70.660 outorgas de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos para fins diversos, em águas de domínio dos estados e da União, totalizando uma vazão outorgada de 2.044m³/s, sendo 1.955m³/s de águas superficiais e 89m³/s de águas subterrâneas. O Estado de São Paulo é o que apresenta a maior porcentagem da *Vazão Total Outorgada (VTO)* no Brasil, 24,2 % do total (52,9 % do número de outorgas), seguido pelos estados de Minas Gerais (22;7 % *VTO*), Bahia (18% *VTO*), Tocantins (7% *VTO*) e Rio Grande do Sul (5 % *VTO*).

Com relação às indústrias de equipamentos de irrigação, o Brasil apresenta-se atualmente como um mercado promissor, pois possui terras e recursos hídricos disponíveis, para uma expansão de área significativa no futuro.

É interessante destacar que a indústria de irrigação, tanto no Brasil como no exterior, situa-se em uma categoria pouco atraente às empresas multinacionais de grande porte, pelos seguintes motivos: a) baixo faturamento total anual; b) pouca atratividade para investimentos de acionistas em função da baixa lucratividade quando comparada a outras opções de investimentos em telefonia, petróleo, siderurgia, eletrônica, etc.; c) reduzida perspectiva de crescimento da área irrigada em países desenvolvidos, face à escassez de recursos hídricos e de terras; d) baixo nível de inovações tecnológicas protegidas por patente de amplo impacto em grandes mercados consumidores.

A receita bruta de todas as indústrias de irrigação do Brasil no ano de 2004 foi de aproximadamente 0,30 bilhões de reais, sendo considerado um ano muito bom de vendas

para o setor. Já no ano de 2005, o faturamento total não passou de 0,23 bilhões de reais. Comparando-se o faturamento líquido (descontados os impostos) da indústria de irrigação nacional com o de outras empresas no Brasil em 2004, vê-se com clareza a desproporção entre faturamentos (reais): Petrobrás 49 bilhões, Volkswagen 10,2 bilhões, Nestlé 3,7 bilhões, Bunge Fertilizantes 2,14 bilhões, Votorantin Celulose e Papel 1,5 bilhões, Bayer 11,3 bilhões, McDonald's 1,3 bilhões, Syngenta 1,1 bilhões, AGCO-Massey Ferguson 0,62 bilhões, Tigre (PVC) 0,66 bilhões, John Deere 0,60 bilhões, Citrosuco 0,53 bilhões, Amanco 0,32 bilhões. Sendo o lucro aproximado da irrigação no Brasil de 46 milhões de reais em 2005 (~ 20 % do valor total das vendas), comparado-o aos lucros bancários: Itaú (5,4 bilhões); Banco Bradesco (5,6 bilhões); Banco do Brasil (4,5 bilhões), observa-se uma ordem de grandeza também discrepante de valores. Os equipamentos de irrigação lideram o cenário nacional no consumo de água, porém são pouco expressivos em faturamento.

Atualmente no Brasil em função da disponibilidade de terras existentes, a visão empresarial agrícola de porte está voltada para investimento em plantios de sequeiro (cana-de-açúcar, soja, milho e algodão); somando-se a esse fator os entraves burocráticos (outorgas do uso da água / licenciamento ambiental) e as taxas de financiamento pouco atrativas para investimentos em equipamentos de irrigação, observa-se um crescimento contínuo, porém lento, das áreas irrigadas no território nacional, o que resulta numa certa ociosidade da indústria de equipamentos.

As indústrias de irrigação podem ser agrupadas em 2 categorias distintas: plástico e aço. As empresas de irrigação localizada (plástico) fabricam os tubos de polietileno e emissores (gotejadores / microaspersores), sendo que os demais componentes: PVC, filtros, válvulas, motobombas, motores elétricos e diesel (aproximadamente 65 % do valor de venda), são normalmente adquiridos de terceiros. Por outro lado as empresas que trabalham com a matéria prima aço (pivô, autopropelido, aspersão convencional), apresentam índices de industrialização superiores, o que confere uma maior lucratividade à categoria.

Com relação à irrigação por aspersão convencional, observa-se que esse equipamento possui uma demanda fixa no mercado, porém sem grandes expectativas de crescimento significativo de demanda. O mercado desse equipamento será concentrado em irrigantes iniciantes, arrendatários de terras e irrigação de jardins principalmente. A cultura da batata e pequenas hortas nos cinturões verdes dos grandes centros urbanos são as

atividades que mais utilizam essa tecnologia. Duas empresas nacionais se destacam nessa categoria: Fabrimar e Agropolo.

O faturamento anual da indústria de equipamentos de irrigação de jardins no mercado norte-americano (Rainbird, Hunter, Toro, etc.) supera o faturamento das empresas de irrigação para fins agrícolas, (Valmont, Netafim, etc.), sendo um mercado de destaque em países de primeiro mundo, cujos padrões de moradia baseia-se em condomínios residenciais de luxo com extensas áreas verdes em regiões semi-áridas. Somente na cidade de Phoenix no Arizona aonde a irrigação de jardins é intensiva, a empresa *Intel* produtora de *chips* para computadores, possui um valor de mercado em bolsa, maior do que o valor total das ações de todas as empresas brasileiras, argentinas e venezuelanas em conjunto.

O equipamento autopropelido continuará a ser utilizado com sucesso no Brasil, nas culturas de cana-de-açúcar (vinhaça), citros e café, principalmente por agricultores com maior aversão a riscos na atividade, em áreas com boa disponibilidade hídrica. Duas empresas nacionais se destacam nessa categoria: Irrigabrazil e Lavras Irrigação.

Com relação aos equipamentos pivô central nota-se dois tipos de empresas em território nacional: empresas de grande porte de capital estrangeiro (Valmont e Lindsay) e empresas de pequeno porte de capital nacional (Focking, Krebsfer e Irrigabrás). Constatase que as empresas de médio porte não conseguem sobreviver nesse mercado específico de equipamento, pois a oscilação temporal do mercado interno não permite consolidar crescimentos de longo prazo. Exemplos de empresas que já não atuam mais no mercado nacional de pivô central são expressivos: MTU, Carborundum, Dantas, CBR, Asperbras, Nebraska, Irriganor, Círculo Verde, Brasilit, Alvenius.

A empresa Valmont de capital americano, líder da indústria de irrigação por pivô central no mundo, apresentou no ano 2005 um faturamento em irrigação de 264 milhões de dólares, valor este que se encontra estabilizado nos últimos 6 anos. O total de equipamentos pivô central instalado nos EUA é de aproximadamente 200 mil máquinas, tendo vida útil média de 20 anos, o que exige uma renovação anual da frota de 10 mil máquinas, sendo essa demanda de reposição que mantém “viva” a indústria norte americana de pivô central, uma vez que não existe perspectiva de aumento de área irrigada nos EUA, face às restrições ambientais que estão sujeitos os recursos hídricos atualmente disponíveis em território americano.

O dilema para esse tipo de indústria é: como sobreviver a um mercado com demanda estabilizada? 1) Sair pelo mundo em busca de novos mercados; 2) Diversificar o parque industrial para novos produtos compatíveis como os equipamentos produzidos; 3) Investir em automação e aprimoramento dos processos industriais para aumento da eficiência produtiva.

A busca de novos mercados foi extremamente importante para as empresas americanas de pivô central entre os anos de 1980 e 2000, porém atingiu recentemente também um nível de demanda estabilizado. Atualmente as principais empresas americanas contam com divisões de irrigação nos seguintes países: Estados Unidos, Brasil, Austrália, África do Sul, Espanha, Emirados Árabes, México e China.

Com relação à diversificação do parque industrial, a empresa de pivô central que mais se adequou à nova realidade do mercado foi a empresa Valmont, cujas vendas em equipamentos de irrigação representam atualmente apenas 35 % do faturamento total anual, sendo os demais 65 % do faturamento em postes metálicos de sinalização, serviços de galvanização e torres metálicas para telefonia celular. As demais empresas de irrigação por pivô central nos EUA: Lindsay, T-L, Olson, Reinke e Pierce apresentam uma menor diversificação de atividades: Lindsay - componentes de equipamentos de extração de petróleo em terra e Reinke - carrocerias de caminhão em alumínio.

Com relação à automação (robotização) e melhoria da eficiência do processo produtivo, são inegáveis os avanços e os investimentos que as principais empresas fizeram nos últimos anos. Quando se visita a indústria Valmont na cidade de Valley (Nebraska), chama a atenção a elevada produtividade da indústria e a baixa densidade de operários dentro da fábrica. Níveis de automação menores são observados nas demais empresas.

Um fator negativo para a indústria de pivô central é o fato desse equipamento não apresentar nenhuma inovação tecnológica de impacto nos últimos anos com potencial de mercado abrangente e protegida por patente, que assegure crescimento sólido de uma determinada empresa. Pelo contrário, a tecnologia básica para se fabricar o equipamento em pequena escala é dominada há pelo menos vinte anos e facilmente copiada por pequenas indústrias. É comum neste tipo de indústria o lançamento de “novos produtos” em feiras e exposições, porém muitas dessas “*inovações*” são apenas atualizações de “*design*” de algum produto já comercializado.

Focando a discussão para a indústria da irrigação localizada, observa-se que essa é a que apresenta atualmente a maior taxa de crescimento no setor. Não existe consenso técnico sobre o local de origem da irrigação por gotejamento no mundo, ao que tudo indica, ela surgiu simultaneamente em 4 países: Alemanha, Inglaterra, Estados Unidos e Israel. É inegável admitir que os israelenses são os que mais se dedicam ao desenvolvimento e divulgação dessa tecnologia no mundo, tanto é que das empresas existentes no mercado, as que apresentam maior diversidade de produtos são as empresas israelenses: Netafim, Naan-Dan, Plastro, Azud e Lego.

Há uma particularidade interessante das empresas de irrigação localizada: uma incrível capacidade de internacionalização de suas atividades, com base nas comunidades israelenses espalhadas pelo mundo, em decorrência da Segunda Grande Guerra e que atualmente atuam com escritórios e fábricas nos seguintes países: Antilhas, Argentina, Austrália, África do Sul, Brasil, China, República Checa, França, Alemanha, Grécia, Índia, Itália, Japão, Coreia, Marrocos, México, Filipinas, Rússia, Polônia, Tailândia, Turquia, Estados Unidos e Zimbábue.

A indústria de irrigação por gotejamento é sem dúvida alguma o setor mais promissor da irrigação. No ano de 2005, pela primeira vez na história da irrigação, o faturamento anual da empresa Netafim igualou-se ao faturamento da divisão de irrigação da empresa Valmont, existindo uma perspectiva para os próximos anos, de que a diferença entre faturamentos aumente a uma taxa aproximada de 5 % ao ano.

O crescimento da indústria de irrigação por gotejamento nos países desenvolvidos está ocorrendo com base na conversão de sistemas de irrigação por superfície, visando otimizar o uso de recursos hídricos no meio rural, por exigências de políticas de gerenciamento (outorgas) ou por interesse econômico dos proprietários de terra: venda de cotas de água para cidades e indústrias. Exemplos marcantes dessa conversão são observados nos EUA e Espanha. O mercado espanhol é o líder atual em vendas no setor. O total de área irrigada na Espanha é de 3,64 milhões de ha, sendo 655.000ha sob irrigação localizada. A escassez de recursos hídricos nesse país é a força motriz dessa conversão acelerada.

O sistema de irrigação por gotejamento é considerado o sistema de irrigação mais eficiente em comercialização atualmente, porém existem provas suficientes na literatura

mundial de que esse sistema pode ser também muito ineficiente, como resultado de problemas técnicos associados à qualidade de água, ao manejo inadequado de irrigação e à manutenção indevida do sistema, que resultam problemas sérios de entupimentos dos emissores, comprometendo sobremaneira a eficiência desse sistema no campo.

Os equipamentos pivô central por outro lado, podem ser também bastante eficientes no uso da água, com base nos emissores LEPA e nos emissores de baixa deriva e evaporação (LDN / Wobbler), sendo menos sensíveis a problemas de qualidade da água de irrigação do que na irrigação por gotejamento (entupimento).

Observa-se em termos de legislação de recursos hídricos a nível mundial e nacional, uma preferência intuitiva pela recomendação da irrigação por gotejamento em detrimento a outros métodos de irrigação: autoprovelido e pivô central. Embora tecnicamente essa preferência possa ser contestada por especialistas da área de irrigação, o gerenciamento dos recursos hídricos é normalmente composto por membros dos comitês de bacias que não possuem conhecimento técnico suficiente para efetuar essa autocrítica. Seria necessário que a indústria de irrigação por pivô central se mobilizasse de maneira organizada, a fim de praticar atividades de *lobby* em discussões políticas de gerenciamento dos comitês de bacias, que são em última instância os locais onde as regras de gerenciamento são definidas. O custo dessas atividades de *lobby* político pode não ser compatível com a lucratividade desse setor da indústria de irrigação.

Outros pontos a serem destacados em favorecimento à irrigação localizada no Brasil: 1) Forte apoio jornalístico (televisão, jornal, revistas especializadas) como solução técnica para otimização de recursos hídricos na agricultura; 2) Forte apoio político de consulados e embaixadas israelenses em proximidade ao governo federal; 3) Forte poder “intuitivo” do método em disseminar a idéia de eficiência para o público leigo em geral; 4) Aptidão natural das empresas israelenses em coordenar e difundir atividades de extensão rural e treinamento no meio rural; 5) Sistema de irrigação extremamente flexível podendo ser implementado em qualquer condição topográfica, com diferentes geometrias de áreas, inclusive em culturas perenes já adultas.

A irrigação por pivô central ainda é imbatível na capacidade de irrigar grandes áreas rapidamente. O tempo dedicado na irrigação localizada ao projeto hidráulico e à instalação do equipamento no campo é muito grande. Pode-se afirmar que a relação é 1:10, ou seja,

para cada 1ha de gotejamento projetado e instalado no campo, é possível projetar e instalar 10ha de irrigação por pivô central com o mesmo tempo de trabalho.

É de se esperar no futuro, que as empresas de irrigação por pivô central se unam às empresas de irrigação localizada, para que juntas explorem o mercado mundial de irrigação. Embora nenhuma ação prática tenha sido concretizada nesse sentido até o presente momento, sabe-se no meio empresarial, que as empresas líderes mundiais em seus respectivos segmentos de mercado, há mais de 15 anos, trocam informações e participam de “*reuniões sigilosas*” para tratar desse assunto. A estrutura societária das empresas israelenses (Kibutz) continua sendo um empecilho grande para esse tipo de fusão.

Algumas observações importantes devem ser levadas em consideração quando se procura entender a dinâmica do mercado de irrigação: 1)Agricultores irrigantes não se entregam rapidamente a mudanças tecnológicas bruscas, pois a opção por “*novidades*” no setor é muito grande não sendo possível testar todas elas simultaneamente no curto e médio prazos ; 2) Agricultores irrigantes iniciantes na atividade não estão preparados a fazer manutenção preventiva de longa duração requerida na irrigação localizada; 3)Agricultores irrigantes são fortemente influenciados por relatos de experiências negativas em áreas irrigadas, devido ao elevado valor de investimento em equipamentos e 4) Aproximadamente 10 % dos agricultores irrigantes contrariam as 3 observações anteriores, sendo classificados como agricultores inovadores, pessoas naturalmente motivadas a novos desafios técnicos, estando dispostas a correrem riscos na agricultura irrigada, riscos esses relacionados com aspectos financeiros e de dedicação de tempo. A tecnologia da irrigação é grata a essas pessoas, pois sem inovação nas áreas irrigadas, o aprimoramento de novas tecnologias seria impossível.

Ao que tudo indica, haverá espaço no mercado mundial para os equipamentos autopropelido, pivô central e irrigação localizada por muitos anos, pois os países com potencial de irrigação, apresentam-se em níveis de desenvolvimento bastante diferenciados, o que ocasiona uma defasagem de demanda temporal por diferentes tipos de equipamentos, sendo que a aversão ao risco por parte dos agricultores irrigantes, possui forte influência na seleção do sistema de irrigação no campo.

Os maiores exemplos de sucesso da irrigação localizada no campo continuarão ocorrendo em áreas de conversão de sistemas de superfície em que a “experiência de

irrigação” já existe há vários anos, sendo imperativa a necessidade de métodos mais eficientes de irrigação do ponto de vista ambiental e econômico.

Os maiores exemplos de sucesso da irrigação por pivô central serão observados em áreas novas de cultivos, com boa disponibilidade de recursos hídricos em culturas com caráter empresarial. Exemplos de que a indústria de pivô central ainda é competitiva frente à indústria de gotejamento, pode ser exemplificada na região de Barreiras (BA), onde a irrigação de café por pivô central é soberana em novos plantios, com elevado padrão tecnológico de exploração agrícola (LEPA), apesar das inúmeras tentativas de se difundir a irrigação por gotejamento nessas áreas, sem sucesso.

Os equipamentos de irrigação do tipo autopropelido e aspersão convencional terão suas áreas de atuação limitadas na irrigação mundial, encontrando viabilidade técnica e econômica em alguns nichos específicos de mercado, como exemplo: a) autopropelido: aplicação de água residuária (vinhaça) em cultivos de cana-de-açúcar, citros e café no Brasil, irrigação de grãos no território Europeu; b) aspersão convencional: irrigação de jardins / áreas verdes, irrigação de cinturões verdes ao redor das grandes cidades, etc.

1.2. Perspectivas no Brasil

O território nacional possui uma área total de 851 milhões de ha, apresentando um potencial de irrigação cujas estimativas variam entre 22 a 30 milhões de ha. Considerando que a área irrigada atualmente seja de 3,4 milhões de ha irrigados, ainda restam entre 18,6 a 26,6 milhões de ha para instalação de sistemas de irrigação. A área total irrigada no mundo equivale a 28 % do território total do Brasil.

Na Tabela 1 são apresentados os totais de áreas plantadas no Brasil por cultura (Agrianual 2006) onde se destacam alguns dados interessantes: 1) A área de plantio de cana-de-açúcar ainda não ocupa nem 1 % do território nacional; 2) A cultura da soja com maior área plantada de todas as culturas, abrange 2,4 % do território nacional.

Embora a área irrigada no Brasil não seja grande, observa-se que em determinados cultivos seu uso é intensivo. Aproximadamente 100 % das áreas comerciais são irrigadas nas seguintes culturas: abacaxi, alho, batata, mamão, morango, uva de mesa, melancia, melão, tomate, hortaliças de folhas em geral, maracujá, pepino, pimentão, vagem, cenoura,

cebola, beterraba, rabanete, ervilha, quiabo, repolho, brócolis, berinjela, alcachofra, abobrinha, jiló, e outras, totalizando uma área aproximada de 0,5 milhões de ha.

Em uma outra categoria de culturas que abrange uma área total mais expressiva, 7 milhões de ha (sequeiro e irrigado): café, citros e feijão, tem-se uma porcentagem de área irrigada entre 10 a 25 % da área total. As culturas envolvidas nessa categoria são importantes para a indústria de equipamentos de irrigação pressurizada no Brasil, pois continuamente investem no incremento de área irrigada, de acordo com as perspectivas de preço dos produtos agrícolas comercializados.

A cultura da cana-de-açúcar deve ser classificada em uma categoria a parte, pois atualmente com seus 6 milhões de ha, utiliza equipamentos de irrigação para a aplicação de água residuária nos plantios das usinas de álcool do país, contabilizando aproximadamente 800.000ha de área irrigada via canhão e autopropelido (irrigação com déficit), o que representa um total equivalente de 200.000ha em irrigação plena.

Existem atualmente experimentos (áreas-pilotos) com irrigação por gotejamento em 3.500ha de cana, espalhados por aproximadamente 50 usinas no Brasil (área média 60 ha). Os primeiros resultados evidenciam um aumento de produtividade entre 25 e 30 % com relação à cana de sequeiro, o que muitas vezes paga o investimento na irrigação, porém não proporciona uma remuneração muito atrativa ao investidor, caso a longevidade do canavial não venha a ser ampliada (experimentos de longo prazo estão tentando analisar essa variável). No ano de 2006, estima-se que foram instalados mais 3.000 ha em áreas comerciais de gotejamento em cana-de-açúcar no Brasil, em projetos com áreas médias entre 100 e 250 ha, principalmente em áreas de grandes fornecedores de matéria prima para as usinas.

Nota-se que as variedades até então desenvolvidas pela pesquisa genética, priorizaram os cultivos de sequeiro, sendo que não se tem um conjunto de variedades adaptadas à irrigação de cana no Brasil, de tal modo que o incremento de produtividade pudesse alcançar os patamares desejados entre 35 e 60 %.

Nos próximos 10 anos, tem-se uma perspectiva de ampliação para 12 milhões de ha na área total de cana-de-açúcar no Brasil. Novas regiões de expansão da cultura, no oeste do Estado São Paulo e centro-oeste do Brasil, poderão impulsionar a implementação da

irrigação em maior escala nessa cultura, pois apresentam solos álicos (sistema radicular raso) e déficit hídrico mais severo durante o ano.

Tabela 1. Áreas plantadas por cultura no Brasil e estimativa do número de técnicos envolvidos no processo de produção diretamente no campo.

<i>Culturas</i>	<i>Total Área 2006</i>	<i>Módulo Técnico ha</i>	<i>Agônomo</i>
Abacate	10,053	500	20
Abacaxi	52,942	200	265
Algodão	1,246,503	1000	1247
Alho	10,263	50	205
Amendoim	130,000	200	650
Arroz	3,916,300	1000	3916
Banana	493,752	100	4938
Batata	130,922	100	1309
Cacau	652,000	300	2173
Cafê	2,319,482	300	7732
Cajú	686,000	200	3430
Cana-de-açúcar	5,717,638	3000	1906
Citros	810,000	500	1620
Dendê	70,000	1000	70
Limão	50,000	500	100
Tangerina	64,000	500	128
Côco	276,800	1000	277
Feijão	3,812,800	500	7626
Eucalipto	3,391,000	1000	3391
Goiaba	17,574	100	176
Maçã	35,723	100	357
Mamão	36,244	100	362
Mandioca	1,905,000	300	6350
Manga	68,000	200	340
Maracujá	34,994	100	350
Melancia	82,285	100	823
Melão	16,266	100	163
Milho	13,108,577	500	26217
Seringueira	103,586	1000	104
Soja	21,024,825	5000	4205
Tomate	57,640	100	576
Trigo	2,335,000	500	4670
Uva	73,715	100	737

TOTAL DE AGRÔNOMOS 86432

Fonte: FNP e autor do texto / Linhas em amarelo: culturas normalmente irrigadas.

Ao que tudo indica, os equipamentos autopropelido e pivô central móvel serão inicialmente os mais utilizados na irrigação da cana-de-açúcar; o primeiro por ser um equipamento propício à aplicação de água residuária (vinhaça) e o segundo por viabilizar a irrigação suplementar da cultura apenas durante os primeiros 40 dias após o corte. O emprego do gotejamento na irrigação plena da cana-de-açúcar dependerá de três requisitos básicos: **a)** implementação do espaçamento duplo de plantio (plantio abacaxi) para reduzir o custo de implantação do sistema; **b)** desenvolvimento de novas variedades com maior potencial de resposta à fertirrigação; **c)** colheita mecanizada geo-referenciada para evitar o pisoteio de soqueiras no campo, em virtude do acamamento das plantas no final do ciclo em áreas irrigadas de maior produtividade.

Para a irrigação da cana-de-açúcar, a potência instalada por unidade de área irrigada está deixando de ser parâmetro fundamental de tomada de decisão, uma vez que a crescente co-geração de energia elétrica nas usinas, permite suprir requerimentos de potência mais elevados nessa atividade.

As demais culturas com grandes áreas plantadas: soja, algodão, trigo, mandioca e milho, apresentam baixa perspectiva de irrigação em larga escala, uma vez que o Brasil é bastante competitivo no mercado exterior com base na agricultura de sequeiro. A utilização de equipamentos de irrigação nessas culturas ficará restrita às áreas produtoras de sementes, o que representa um área total aproximada de 120 mil ha (relação 1 ha semente : 100 ha plantio) mais aproximadamente 9 % da área total de produção com rotação milho x feijão.

A irrigação de eucalipto parece ser um mercado promissor no futuro. Em aproximadamente 600ha de irrigação por gotejamento no Brasil em áreas experimentais, observa-se um incremento significativo de acúmulo de matéria seca nas áreas irrigadas, quando comparado às áreas de sequeiro, sujeitas a períodos variáveis de déficit hídrico no solo ao longo do ano. Os primeiros resultados indicam que a cultura do eucalipto responde muito bem à irrigação em áreas de déficit hídrico no Brasil, porém a certificação ambiental nesse tipo de atividade é bastante rigorosa e importante para a comercialização no exterior dos produtos industrializados, o que poderá limitar a extração de água de determinados recursos hídricos superficiais e subterrâneos para fins de irrigação. Assim como na cultura da cana-de-açúcar, o potencial inicial de irrigação do eucalipto será focado na aplicação de

água residuária da indústria de papel e celulose, rica no nutriente sódio, que poderá ser utilizada com menores restrições técnicas na irrigação por gotejamento.

Nas culturas de produção de óleo para o Programa Biodiesel do governo Federal, principalmente nos plantios de dendê (palma) e mamona, a perspectiva de irrigação é pequena. Embora a palma exija precipitações de aproximadamente 2.000 mm ao longo do ano para atingir níveis econômicos de produção, a exploração dessa cultura será concentrada no Estado do Pará (elevado índice de precipitação natural), onde hoje já conta com aproximadamente 70 mil ha instalados. O cultivo do Pinhão-Manso poderá ser feito sob condição de irrigação, porém não existe experiência deste cultivo irrigado em larga escala.

1.3. Ensino e Pesquisa

Os cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Agrícola e Engenharia Agrônômica do Brasil contaram com diversos professores universitários e pesquisadores científicos nos últimos 35 anos, que tiveram experiência de estudo em irrigação no exterior, nos seguintes países: EUA, Israel, Espanha, Inglaterra, França, Canadá e Portugal, sendo que a maior concentração de professores e pesquisadores ocorreu nas universidades americanas. Essa experiência internacional foi responsável por introduzir a tecnologia da Engenharia de Irrigação nos currículos acadêmicos de graduação e pós-graduação no Brasil.

Especiais contribuições para o ensino e pesquisa da Engenharia de Irrigação nas Universidades Brasileiras foram dadas pelos professores: Alberto Daker, Antonio Fernando de Lordelo Olitta e Salassier Bernardo, pioneiros nacionais a publicarem livros técnicos nessa área de conhecimento.

Nos EUA, as principais universidades que receberam os brasileiros para estudos na área de Engenharia de Irrigação foram: *Utah State University, University of Califórnia – Davis, University of Nebraska, University of Oklahoma, Colorado State University, University of Arizona, University of Tennessee e University of Florida*, enquanto que nos demais países, as universidades de maior destaque na área são: *Silsoe College, Southampton University (Inglaterra), University of Jerusalem (Israel), Escuela Técnica*

Superior de Ingeniería Agraria (Espanha), Universidad de La Laguna (Espanha) e Universidad Politécnica de Madrid (Espanha).

Observa-se nas universidades americanas, que nos programas de pós-graduação em Engenharia Agrícola, a tradicional área de concentração em Engenharia de Irrigação persiste somente nas universidades de *Utah State University*, *Colorado State University*, *University of Arizona* e *University of Hawaii*. Nas demais universidades, a área de concentração em Engenharia da Irrigação Pressurizada transformou-se em temáticas mais abrangentes de concentração. A principal razão que justificou essa mudança foi o direcionamento de verbas para fins de pesquisas em Engenharia de Biosistemas e Ambiental por parte das agências de fomento de pesquisa, tornando mais abrangente o enfoque científico em recursos hídricos antes restrito à Engenharia de Irrigação e Drenagem.

Com base em informações disponíveis na Internet, realizou-se uma pesquisa atualizada sobre universidades americanas, seus respectivos departamentos e áreas de concentração, onde são desenvolvidas pesquisas em Engenharia de Irrigação Pressurizada a nível de pós-graduação: **a) Utah State University:** College of Engineering / Áreas Concentração – Biological and Irrigation Engineering; **b) Colorado State University – Fort Collins :** Department of Civil Engineering / Área Concentração - Irrigation and Drainage; **c) University of California – Davis :** Department of Biological and Agricultural Engineering / Área Concentração - Water Engineering; **d) University of Nebraska:** Department of Biological Systems Engineering / Áreas Concentração - Agricultural and Biological systems engineering; **e) University of Hawaii – Manoa :** Molecular Bioscience and Bioengineering Department / Área Concentração - Water Management and Irrigation Engineering; **f) University of Arizona :** Agricultural and Biosystem Engineering Department / Área Concentração - Irrigation and Water Resources Management; **g) University of Florida :** Agricultural & Biological Engineering Department / Área Concentração – Land and Water Resources **h) Texas A&M University:** Biological & Agricultural Engineering Department / Áreas Concentração - Environmental & Natural Resource Engineering; **i) Iowa State University:** Agricultural and Biosystems Engineering Department / Áreas de Concentração – Crop Production Systems, Environmental Impacts; **j) Kansas State University:** Department of Biological and Agricultural Engineering /

Áreas de Concentração - Environmental Engineering, Natural Resource Engineering; **k) University of Idaho** Department of Biological & Agricultural Engineering / Áreas Concentração - Soil and Water Engineering, Water and Waste Management Systems; **l) University of Tennessee:** Biosystems Engineering & Soil Science Department / Áreas Concentração - Environmental Quality and Resource Conservation; **m) Pennsylvania State University:** Department of Biological Systems Engineering / Áreas Concentração – Natural Resources Conservation and Management.

Outro fator importante a ser salientado é a alteração de nome da tradicional Sociedade Americana de Engenharia Agrícola ocorrida em meados no ano de 2005, de *American Society of Agricultural Engineering* (ASAE) para *American Society of Agricultural and Biological Engineering* (ASABE).

Observa-se nos últimos eventos científicos internacionais de Engenharia Agrícola, uma participação crescente de profissionais estrangeiros nas seções de irrigação pressurizada: Espanha, Brasil, Japão, China e África do Sul. A participação de americanos é notada principalmente nas sessões de irrigação localizada.

No Brasil, os cursos de pós-graduação em Agronomia e Engenharia Agrícola concentram basicamente 80 % das pesquisas nessa área específica do conhecimento. Algumas teses e dissertações em irrigação e drenagem são desenvolvidas em alguns cursos de pós-graduação em agricultura e produção vegetal. Trabalhos científicos de pesquisa, em menor número, são desenvolvidos em órgãos de pesquisa: Embrapa, IAC, IAPAR e outros.

Dentre as Universidades Nacionais, os programas de pós-graduação de maior destaque em Agronomia e Engenharia Agrícola na área de concentração de Irrigação são: ESALQ, UFV, UNICAMP, UNESP Botucatu, UFC, UFP e UFSM.

Outros cursos de pós-graduação com diferentes áreas de concentração, exemplo: produção vegetal, solos, hidráulica, saneamento, agrometeorologia, etc., realizam também pesquisas eventuais na área de engenharia de irrigação.

Destaca-se também recentemente, a criação de uma nova carreira profissional a nível de graduação nas Universidades Americanas, que situa-se em uma categoria específica de conhecimento: Gerenciamento de Sistemas Agrícolas (Agricultural System Management), dentro dos Departamentos mencionados anteriormente com ênfase nas especializações: Recursos Hídricos e Irrigação, Sistemas Mecanizados e Ambiente.

Especial atenção deve ser dada a essa nova carreira, pois é uma opção de inovação em cursos de graduação a partir da Engenharia Agrônômica, sem a necessidade de grande expansão do quadro de docentes para atender os requisitos do tradicional curso de Engenharia Agrícola.

1.4. Oportunidades de Emprego

Houve nos últimos anos, um aumento considerável de mestres e doutores com especialização em Engenharia de Irrigação. A maior parte desses profissionais (doutores) estão se empregando em Universidades Públicas Federais e Estaduais, Faculdades Particulares, Agências de Pesquisas (EMBRAPA e Institutos Estaduais de Pesquisas) e Centros Técnicos de Formação Superior, principalmente em regiões menos desenvolvidas do país (Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Bahia e Espírito Santo), onde novas oportunidades de emprego estão surgindo. É fato notório que esses profissionais recém-ingressos no mercado de trabalho, estão iniciando a vida profissional mais velhos, com idade média de 30 anos, em função do tempo despendido no aprimoramento profissional em cursos de pós-graduação (mestrado e doutorado).

Com a expansão prevista do Ensino Público Federal, principalmente em áreas remotas da nação, haverá uma demanda elevada desses profissionais, pois parte significativa dessa expansão se dará no nordeste do Brasil (Recôncavo Baiano). O Governo Federal espera até o ano de 2010 criar 125.000 novas vagas universitárias nas Universidades Federais (aumento de 100 % nas vagas dos vestibulares). Parte dessa expansão está se dando em detrimento às Universidades já estabelecidas; do total de 4.000 vagas que deveriam ser repostas nos quadros atuais federais, 1800 vagas serão destinadas à expansão Universitária. A expansão é justificada pelos seguintes argumentos: a) somente 10 % dos brasileiros entre 18 e 24 anos estão na Universidade; b) 77 % dos universitários americanos estudam em Universidades Públicas, enquanto no Brasil apenas 28 %. Outro ponto a ser considerado é de que nos EUA 50 % dos Universitários fazem cursos universitários nos chamados *community colleges*, onde não se desenvolvem pesquisas científicas, fazendo com que o custo por aluno seja apenas 10 % do custo de uma Universidade de ensino, pesquisa e extensão tradicional. No projeto de expansão

Universitário Brasileiro estão previstas a realização de pesquisas científicas e extensão em todos os novos cursos a serem oferecidos.

A reposição de professores aposentados das universidades brasileiras é extremamente lenta onde se desenvolvem a maioria dos cursos de pós-graduação na área de concentração *Irrigação e Drenagem*; como exemplo, pode-se relatar que a contratação do último professor da ESALQ / USP para trabalhar nessa área específica do conhecimento, ocorreu no ano de 1989 (Total de 253 teses e dissertações já defendidas até 03/2007, 141 M / 112 D).

Os cursos de graduação em Engenharia Agrícola / Agrônômica e de pós-graduação na área de concentração Irrigação e Drenagem no Brasil (Engenharia de Água e Solo), estão normalmente alocados em um contexto Universitário com elevada predominância de profissionais que atuam em outras áreas do conhecimento dentro das ciências agrárias, o que dificulta sobremaneira a preferência e indicação consensual na alocação de recursos financeiros e de novos claros nesse programa mais voltado à área de Engenharia de Água e Solo.

Por outro lado, as oportunidades de empregos na área de Engenharia de Irrigação são grandes também nas indústrias e revendas de equipamentos. Nessa categoria de emprego, a exigência por qualificação técnica a nível de pós-graduação é mais baixa, sendo requisitos importantes as habilidades individuais em vendas técnicas e gerenciamento.

Nas empresas de irrigação, inicia-se a vida profissional na área de Engenharia, somente com o curso de graduação concluído, após um período de treinamento técnico dentro da própria empresa. Profissionais que atuam nas áreas de projeto hidráulico e pós-vendas (orientação agrônômica) nessas empresas demonstram-se satisfeitos no exercício destas funções nos primeiros 5 a 10 anos de trabalho profissional. Posteriormente, a falta de perspectiva de crescimento profissional na área técnica faz com que parte desses profissionais se direcione para a área de vendas onde terão novas oportunidades de reconhecimento. A ausência de uma carreira técnica profissional sólida, face ao baixo faturamento dessas empresas e oscilações de mercado, impossibilita o reconhecimento profissional traduzido em salários e benefícios a longo prazo, observado em empresas multinacionais de maior porte, estabelecidas no Brasil: Caterpillar, IBM, Motorola, etc.

Os profissionais remanescentes que não se adaptam à mudança de perfil de trabalho (vendas), normalmente deixam as empresas para novos desafios ou aprimoramento profissional em cursos de pós-graduação, visando trabalharem como pesquisadores, professores ou consultores técnicos. Dificuldades na re-alocação profissional desses indivíduos são observadas ultimamente, pois já se encontram na faixa etária entre 35 e 40 anos; nesses casos alguns deles decidem-se pela abertura de um negócio próprio, na qualidade de revenda de equipamentos ou consultoria técnica especializada. Exemplos de sucesso dessa opção de trabalho são verificados com certa frequência em diferentes regiões irrigadas do Brasil.

As empresas que comercializam os equipamentos de irrigação atuam mais como empresas de engenharia do que como empresas de comércio. As empresas têm o costume de fazer o projeto de irrigação “*sem custo ao cliente*”, embutindo no preço dos produtos comercializados o valor do serviço de engenharia (projeto hidráulico e assistência agrônômica). Espera-se que no futuro, novas empresas de engenharia de irrigação apareçam no cenário nacional, oferecendo aos agricultores irrigantes o serviço de dimensionamento hidráulico independente da comercialização de equipamentos, o que tornaria mais profissional e ético o mercado.

Capítulo 2. Contribuições na Irrigação por Aspersão

2.1. Física de Solos

2.2. Equipamentos

2.3. Considerações

2.1. Física de Solos

No decorrer do ano de 1988, na condição de aluno da disciplina de Pós-Graduação *LER 830 - Investigações Básicas para Projetos de Irrigação*, ministrada pelo Prof. Rubens Scárdua, uma aula prática voltou a despertar o interesse científico do autor: a determinação em campo da curva de Infiltração de água no solo com base na metodologia dos anéis de infiltração.

Essa metodologia havia sido empregada em um estágio que realizou no final do curso de graduação em Engenharia Agrônômica, na Empresa de consultoria Israelense IDEADECO, na região do Vale do Açu RN, em um projeto de irrigação de algodão (Finobrase) por aspersão na modalidade “*end-town*“. Nesse projeto em particular, a taxa de infiltração de água no solo, determinada com base na metodologia dos anéis, superestimou o valor real da *Velocidade de Infiltração Básica de Água no Solo (VIB)*, ocasionando um problema sério de operação do sistema de irrigação no campo, pois o elevado escoamento superficial de água no terreno, fazia com que a água acumulasse em depressões no terreno, resultando significativa desuniformidade de irrigação e baixa produtividade da cultura. Mas afinal de contas, porque a teoria não funcionou na prática?

Por ocasião das primeiras aulas que ministrou na Disciplina de Graduação *LER571-Irrigação e Drenagem* na ESALQ, o autor seguindo a programação original da disciplina veio a se confrontar com a metodologia dos anéis de infiltração novamente. Como transmitir aos alunos em sala de aula uma metodologia que ele mesmo não confiava no campo ? A resposta para essa indagação, veio na publicação de 2 artigos científicos de sua autoria:

COELHO, Rubens Duarte; MIRANDA, Jarbas Honório de; DUARTE, Sérgio Nascimento. *Infiltração da água no solo: Parte I Infiltrômetro de aspersores versus infiltrômetro de anéis*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 137-141, 2000. Esse experimento teve como objetivo comparar valores de velocidade de infiltração de água no solo, determinados por duas metodologias distintas: infiltrômetro de anéis concêntricos (IANC) e infiltrômetro de aspersores (IAS - Figura 1). Com base em ensaios de campo obtiveram-se pela metodologia do IANC, 36 curvas de infiltração de água no solo e a velocidade básica de infiltração de água nesta área, através da metodologia do IAS. Comparando-se os resultados obtidos em ambas as metodologias, constatou-se que a média aritmética dos valores obtidos pela metodologia do IANC superestimou a velocidade de infiltração de água no solo, obtida pela metodologia do IAS, e que somente os valores da média geométrica e da moda obtidas com o IANC se aproximaram da velocidade de infiltração obtida com o IAS.

Figura 1. Diagrama esquemático da área experimental e disposição do infiltrômetro de aspersores no campo (IAS).

COELHO, Rubens Duarte; MIRANDA, Jarbas Honório de; DUARTE, Sérgio Nascimento. *Infiltração da água no solo: Parte II Acúmulo de água sobre a superfície do terreno. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PA, v. 4, n. 2, p. 142-145, 2000.* Esse trabalho teve como objetivo básico o desenvolvimento de uma metodologia para a quantificação do acúmulo de água na superfície do solo, em função da intensidade de precipitação dos emissores de um infiltrômetro de aspersores (IAS). Em condições de intensidade de precipitação abaixo da velocidade básica do solo (VIB) o microrrelevo superficial comportou-se de maneira estável, apresentando uma superfície espelhada crescente (acúmulo de água) sobre o solo, ao longo dos primeiros 120 min de ensaio e em condições de intensidade de precipitação acima da velocidade básica (VIB) observou-se que a superfície espelhada estabilizava-se em menos de 30 min, apresentando, posteriormente, a formação de canais preferenciais de escoamento de água sobre o solo (erosão laminar). Na Figura 2 é possível visualizar a variação da superfície espelhada do solo em função da intensidade de aplicação de água na área.

O que ficou bastante claro nos dois trabalhos publicados é que a teoria envolvida na determinação da *Velocidade Básica de Infiltração de Água no Solo* é muito mais complexa do que havia aprendido no curso de graduação. A metodologia dos anéis de infiltração é bastante sensível a ocorrência de fluxos preferenciais de água em fraturas no solo, buracos de formigas, podendo resultar um valor de VIB muito superior ao que ocorre na condição de ausência desse tipo de fluxo. Para solucionar o problema de determinação da VIB no campo, o autor sugere algumas alternativas a seus alunos: **a)** Utilizar corante na água (tinta inkjet) na determinação da VIB com anéis de infiltração, para que seja possível abrir uma trincheira no solo no final do ensaio de campo e verificar a ausência de fluxo preferencial no meio poroso, validando assim o ensaio realizado, **b)** Utilizar o infiltrômetro de aspersor no campo: metodologia mais fácil e exata na determinação da VIB do solo, pois leva em consideração o efeito do selamento superficial do solo, pela energia cinética do impacto das gotas de água sobre a superfície do terreno, devendo ser utilizado o aspersor de projeto operando em modo setorial, para variação da intensidade de precipitação, observado-se a dinâmica do empoçamento de água sobre a superfície do terreno e **c)** Utilizar o equipamento *infiltrômetro de tensão*, que evita o escoamento de água em canais preferenciais na superfície do solo.

Figura 2. Área espelhada sobre o solo para os tempos de 30, 60, 120 e 240 minutos de ensaio, para as intensidades de aplicação de 5,69, 11,38, 22,77 e 48,04 mmh⁻¹.

O infiltrômetro de tensão é pouco conhecido no Brasil, não sendo divulgado seu uso por especialistas da área. Na Figura 3 pode-se visualizar o equipamento utilizado em campo. Permite-se que a água infiltre no solo em uma taxa menor do que quando a água fica empoeada sobre a superfície do terreno. Consegue-se isso mantendo-se uma pequena pressão negativa (tensão) na água no momento que ela está infiltrando no solo. A condutividade hidráulica saturada do solo pode ser medida por aproximação, fazendo-se com que a tensão da água próxima a superfície do solo aproxime-se de zero, porém nunca igualando-se a zero; dessa forma a água não caminhará por nenhuma fratura preferencial aberta para a superfície do terreno, mas sim infiltrando somente pela matriz porosa do solo. Medidas feitas dessa maneira são bem mais representativas da matriz do solo como um todo.

Existem métodos descritos na literatura para cálculo das propriedades hidráulicas do solo com base no infiltrômetro de tensão. Realizando-se ensaios de infiltração em várias tensões (entre 0 e -30 cmca), obtém-se um conjunto de dados *condutividade hidráulica não saturada x tensão*. Um dos métodos baseia-se no pressuposto que existe uma relação log-linear entre tensão da água no solo e condutividade hidráulica, hipótese esta válida na faixa de tensão do infiltrômetro,

A determinação da VIB com base no infiltrômetro de tensão é descrita em literatura nos seguintes trabalhos publicados:

Ankeny, M.D., T.C. Kaspar, and R. Horton. 1988. Design for an automated tension infiltrometer. *Soil Science Society American Journal* 52:893-896.

Ankeny, M.D., M. Ahmed, T.C. Kaspar, and R. Horton. 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society American Journal* 55:467-470.

Logsdon, S.D. and D.B. Jaynes. 1993. Methodology for determining hydraulic conductivity with tension infiltrometers. *Soil Science Society American Journal* 57:1426-1431

Figura 3. Equipamento de uso no campo : Infiltrômetro de tensão

Tendo-se entusiasmado com o resultado da pesquisa anterior, o autor analisou a possibilidade de dar continuidade a essa linha de pesquisa em seu curso de Doutorado, realizado inicialmente no Departamento de Hidráulica e Saneamento do Curso de Engenharia Civil da USP em São Carlos, SP. Sob a orientação do Prof. Fazal Hussain Chaudhry (EESC/USP) se preparou para realizar o programa de doutorado sanduíche no exterior. O primeiro obstáculo superado após um período de estudo intensivo da língua inglesa foi conseguir a pontuação exigida pelo CNPq no exame TOEFL (560 pontos). O segundo passo a ser tomado foi a decisão de escolha do local para realização do programa sanduíche nos EUA nos anos de 1994 e 1995. De acordo com orientação do CNPq, o programa sanduíche deveria ser apoiado em algum tipo de pesquisa que não pudesse ser realizada no Brasil. Com base na literatura disponível, identificou a potencialidade de pesquisa no recém-idealizado sistema de irrigação LEPA, aplicado a irrigação das culturas de algodão e milho na planície central dos EUA. Posteriormente contatou o Professor Derrel Martin da Universidade de Nebraska (EUA), que estava liderando as pesquisas nesse tipo de sistema de irrigação o qual se colocou a disposição para recebê-lo e orientá-lo em um projeto de pesquisa dessa natureza.

A idéia de tornar o equipamento pivô central cada vez mais eficiente, conduziu ao conceito LEPA (*Low Energy Precision Application*). Neste sistema, a água é aplicada diretamente sobre a superfície do solo, sem molhar diretamente a folhagem das plantas. Os emissores são colocados em pendurais a uma altura de 30 cm do solo, em entrelinhas alternadas no interior das culturas (plantio circular). A intensidade de aplicação de água no sistema LEPA é muito elevada, quase sempre superando a capacidade de infiltração dos solos. Para se evitar problemas de escoamento superficial é necessário efetuar algum tipo de condicionamento no microrelevo (cultivo por reservatórios ou microbacias), de maneira a propiciar uma maior capacidade de armazenamento superficial no terreno.

O sistema Pivô Central operando no modo LEPA, se por um lado reduz a pressão de operação do sistema e diminui as perdas por evaporação, por outro lado requer um investimento inicial maior em emissores e pendurais, além do plantio circular da cultura e do condicionamento do microrelevo do solo (operação mecanizada extra). A eficiência do sistema LEPA é fortemente relacionada com as propriedades físicas do solo em questão (uma característica local), deste modo, a extrapolação de resultados é arriscada.

A capacidade de armazenamento de água no microrelevo do solo (reservatórios implantados), altera-se com o passar do tempo. As precipitações sobre o terreno, favorecem a ocorrência do processo de subsidência natural na camada de solo mobilizada e proporcionam a deposição de partículas de solo no fundo das depressões, ocasionando o selamento de poros e de canais preferenciais de fluxo, que reduzem a condutividade hidráulica superficial do terreno.

O trabalho idealizado teve como objetivo, analisar o sistema Pivô Central - LEPA, com relação aos processos de armazenamento superficial, degradação temporal do microrelevo condicionado e infiltração da água no solo, de maneira a fornecer subsídios técnicos para o dimensionamento econômico deste sistema.

Para atingir o objetivo traçado, dividiu-se a estratégia de ação em seis etapas distintas: **1)** desenvolvimento de uma metodologia para a mensuração a campo da capacidade de armazenamento superficial do microrelevo condicionado pelo implemento *Dammer Diker*, **2)** avaliação da degradação do volume de armazenamento do microrelevo condicionado durante o ciclo de uma cultura de milho irrigado, **3)** caracterização da variação das propriedades hidráulicas do microrelevo condicionado, durante a estação de

irrigação, **4)** caracterização do processo físico de infiltração de água no solo, no interior dos reservatórios implantados no campo e irrigados pelo sistema LEPA, **5)** simulação da infiltração de água no solo utilizando a técnica de elementos finitos para a solução da equação de Richards (bi-dimensional) e **6)** análise econômica para dimensionamento racional do espaçamento entre emissores, nas culturas de milho, algodão e feijão.

As etapas 1, 2, 3 e 4, foram conduzidas na Estação Experimental de Shelton (MESA), vinculada à Universidade de Nebraska - Lincoln (EUA), durante o período de Jan/94 a Jun/95. As etapas 5 e 6 foram conduzidas na EESC - USP, durante o período de Jul/95 a Jun/96.

Os tratamentos consistiram na combinação de 3 configurações do equipamento condicionador de micro relevo Dammer Diker (DD): 5, 6 e 7 pás (Figura 4) com 5 taxas de aplicações de água do pivô central: 0.91 (AR1), 0.65 (AR2), 0.38 (AR3), 0.13 (AR4) e 0.00 litros / segundo (DRY), aplicadas no modo "meia" (*sock mode*) do sistema LEPA.

Os reservatórios foram implantados 30 dias após a germinação do milho (Figura 5). Cada tratamento foi representado pela amostragem de 12 reservatórios no campo (3 repetições x 4 reservatórios). Um total de 180 reservatórios foi monitorado no campo, totalizando uma área amostrada de 122 m².

A área experimental foi dividida em 4 faixas (Figura 6). As parcelas secas (DRY) receberam somente precipitação natural e estavam distribuídas ao acaso, no interior dos blocos idealizados. Cada bloco representava uma combinação diferente de intensidade de aplicação de água (AR1, AR2, AR3 e AR4) e velocidade de deslocamento do equipamento.

Figura 4. Configurações do implemento Dammer - Diker : 5, 6 e 7 pás.

Os blocos foram dispostos ao longo do balanço final do equipamento linear. Era necessário trocar os bocais e alterar a velocidade do equipamento, toda vez que se iniciava a irrigação de um novo bloco.

A implementação desse projeto de pesquisa ampliou consideravelmente o conhecimento do autor na área de infiltração de água no solo em condição de irrigação por pivô central. A tese apresentada estabeleceu dois novos parâmetros de mensuração da acomodação da superfície do solo na condição do LEPA: *curva de degradação* e *volume de armazenamento dinâmico de água no microrelevo do terreno* (Figura 7).

Os resultados obtidos mostraram que a capacidade de armazenamento do microrelevo condicionado é preservada ao longo do ciclo de irrigação, quando o bocal LEPA trabalha no modo “sock”, de maneira tal que a uniformidade de irrigação sobre a superfície do terreno reflete a mesma uniformidade de infiltração no solo, viabilizando o uso de equipamento no campo.

Figura 5. Implemento Dammer Diker: reservatórios simétricos e assimétricos

Figura 6. Disposição espacial das parcelas experimentais à nível de campo.

Figura 7. Volumes de armazenamento estático e dinâmico, no interior do reservatório.

Um novo equipamento foi idealizado para o acompanhamento da variação do microrelevo do solo: o perfilógrafo motorizado inédito na literatura.

Figura 8. Perfilógrafo de solo desenvolvido para estimativa do volume do reservatório no solo.

Outro aspecto abordado na conclusão do trabalho é quantificação do espaçamento ideal entre emissores LEPA no campo, de maneira tal que a densidade de emissores sobre o equipamento de irrigação pivô central maximize o retorno econômico do sistema LEPA. Para atingir tal objetivo foi necessário simular em computador a infiltração de água no solo dentro dos reservatórios criados pelo implemento *Dammer Diker*, levando em consideração a acomodação natural do terreno como o passar do tempo. Na Figura 9 pode-se observar o perfil médio de solo dentro de um reservatório criado pelo implemento *Dammer Diker*. Observa-se que a geometria do sistema requer uma solução numérica, com base em elementos finitos, para simular a real situação de infiltração de água no sistema de irrigação pivô central - LEPA.

Figura 9. Perfil transversal de solo dentro do reservatório no sistema LEPA e malha gerada para simulação em elemento finitos.

A água no interior de um meio poroso move-se sempre que existir uma diferença de potencial nos diferentes pontos dentro deste sistema. Darcy (1856) foi o primeiro a estabelecer uma equação que possibilitou a quantificação do movimento da água no interior de um meio poroso saturado.

A equação de Darcy é baseada em modelos capilares de fluxo de água em meios porosos. A princípio esta equação só é válida quando o fluxo segue os modelos capilares, sendo assim, a aplicação desta equação em todos os níveis de umidade de um meio poroso é questionável: em baixas umidades o fluxo ocorre predominantemente através de lâminas de água adsorvidas nas partículas de solo. A probabilidade de erro aumenta, à

medida que a umidade diminui, contudo, não existe uma outra equação para fluxo não saturado, que tenha sido validada para uma ampla diversidade de experimentos. Até o presente momento a equação de Darcy, ainda é a melhor aproximação, do movimento de água em meios porosos não saturados.

A equação da continuidade combinada com a equação de Darcy, resulta na equação de Richards que é a equação diferencial mais aplicada ao movimento da água no solo:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \right] \quad (1)$$

A metodologia de elementos finitos (EF) é um método numérico de solução de uma equação diferencial através da solução de um sistema de equações referente a um agrupamento de pequenos elementos de contorno que representa um certo domínio de interesse.

A aplicação da metodologia de elementos finitos na solução de problemas de escoamento de fluídos em meios porosos, tem como base teórica o método de Galerkin, que inspira a solução da maioria dos modelos da atualidade. As formulações matemáticas iniciais para modelagem da prospecção de petróleo em rochas porosas, foram desenvolvidas quase que exclusivamente com base em malhas de elementos retangulares. Um acréscimo significativo de precisão foi alcançado utilizando-se funções polinomiais de grau mais elevado e de elementos triangulares ou quadriláteros irregulares na geração destas malhas (Figura 9).

Diferentemente da metodologia de diferenças finitas, a qual considera o domínio de interesse como uma matriz de pontos em malha, a metodologia de elementos finitos visualiza o domínio de interesse constituído de inúmeras subregiões interconectadas denominadas de elementos finitos; tais elementos que geralmente assumem geometrias simples (triangular, retangular e quadrangular), são posteriormente agrupados, de maneira a representar um domínio de geometria irregular.

O desenvolvimento da metodologia de EF ocorreu concomitantemente nas áreas de matemática pura, física e engenharia. A primeira aplicação de tal técnica se deu na solução de um problema de mecânica estrutural no ano de 1956. A denominação de EF foi

sugerido na literatura somente em 1960; desde então ocorreu um rápido desenvolvimento desta metodologia que atualmente é empregada como ferramenta básica na solução de um grande número de problemas físicos de interesse prático.

A análise de um problema físico através da metodologia de EF pode ser descrita da seguinte maneira:

1) O sistema físico é subdividido em uma série de elementos finitos que estão conectados através de um número discreto de pontos nodais; este processo é frequentemente denominado de "discretização". Cada elemento é identificado por um número de elemento e pelas linhas de fronteiras (contorno) que interconectam os pontos nodais;

2) Uma expressão matricial é desenvolvida para relacionar as variáveis nodais de cada elemento. A matriz resultante é frequentemente denominada de "matriz elemento". Para um problema discreto a matriz elemento pode ser estabelecida diretamente através do equacionamento físico do problema. Para um problema contínuo, a matriz elemento deve ser obtida através de uma formulação matemática que normalmente faz uso de algum método de ponderação;

3) As matrizes elementos são combinadas de maneira a formarem um conjunto de equações algébricas que descrevam todo o sistema global. A matriz coeficiente deste conjunto final de equações é chamada de matriz global. O processo de montagem de tal matriz é idealizado de modo a satisfazer determinadas condições de compatibilidade entre nós comuns a diferentes elementos;

4) Determinadas condições de contorno são incorporadas a matriz global de equações, de maneira a representar adequadamente o processo físico em estudo;

5) O conjunto de equações algébricas simultâneas é então solucionado através de algum procedimento de álgebra linear. Neste ponto é interessante salientar que o algoritmo de solução deverá ser uma rotina otimizada, uma vez que o tempo de simulação e a capacidade do hardware / software são frequentemente limitantes ao processo de solução de problemas de interesse prático. A linguagem computacional FORTRAN é a mais recomendada a este caso, pois apresenta uma extensa biblioteca disponível de rotinas otimizadas na área de cálculo numérico.

Na Figura 10 observa-se a variação de umidade no solo simulada na tese de doutorado do autor com base na metodologia de elementos finitos que possibilitou a definição dos espaçamentos ótimos entre emissores no sistema LEPA. Na Figura 11 pode-se visualizar a conformação das zonas molhadas no solo em função do posicionamento dos emissores no campo.

Figura 10. Isolinhas de umidade no solo dentro do reservatório no sistema LEPA.

Consulte : www.tensiometro.com.br

Figura 11. Diagrama esquemático das opções de espaçamento entre emissores no sistema LEPA

O domínio dessa tecnologia de simulação em elementos finitos permite aplicação também na irrigação localizada, aonde pode-se simular com certa facilidade a formação de bulbos molhados no solo na irrigação por gotejamento.

O sistema de irrigação LEPA é utilizado atualmente no Brasil em áreas de plantio de café na região de Barreiras, Bahia (Figura 12). Nota-se que a tecnologia foi adaptada de maneira bem diferente da idéia originalmente concebida nos EUA. Os emissores LEPA são posicionados exatamente sobre a linha de plantio circular das plantas de café, de modo tal a molhar completamente o dossel da planta adulta, sem molhar a entrelinha de plantio. Dessa forma, assegura-se um choque térmico na planta toda vez que a irrigação é acionada na área. Sendo a altitude de Barreiras um pouco mais baixa (700 m) do que seria o ideal para um café de qualidade superior (900 – 1000 m), esse choque térmico diário no dossel pela água de irrigação, parece estimular a planta a manter altas produtividades com boa qualidade de bebida.

Figura 12. Irrigação de café pelo sistema LEPA de irrigação em Barreiras - BA

(Foto Prof. André Luis Teixeira Fernandes)

O condicionamento de microrelevo não é efetuado na região de Barreiras, podendo ocasionar em equipamentos maiores que 70 ha, escoamento superficial no terreno. A razão de não se utilizar equipamentos de condicionamento de microrelevo do solo nessa região é não existir implementos disponíveis no mercado nacional para efetuar esse tipo de operação. Técnicas de cultivo tais como: aplicação de matéria orgânica e o plantio de

milheto nas entrelinhas do café são as soluções utilizadas para minimizar o problema no campo. Alguns contatos efetuados com empresas de implementos no Brasil evidenciam a falta de interesse por parte da indústria em produzir esses equipamentos, por ser um mercado limitado de vendas no setor agrícola.

A experiência de desenvolver um experimento de campo durante o programa Doutorado Sanduíche em Nebraska, foi extremamente importante na formação científica do autor. O experimento foi conduzido dentro do conceito de estação *experimental nômade*, vinculada à rede de experimentação Federal do USDA, MSEA (*Management Systems Evaluation Área*), que tem como objetivos básicos: a) desenvolver práticas agrícolas para minimizar a contaminação de aquíferos em áreas irrigadas, b) avaliar a eficácia de campo das novas tecnologias de irrigação, desenvolvidas em universidades e centros de pesquisas, c) implementar atividades de extensão rural para difusão de novas tecnologias e d) projeto temático federal, com experimentos similares sendo conduzidos simultaneamente em diversos estados, visando comparação de resultados em regiões edáficas diferentes. Os trabalhos que resultaram da tese de doutorado foram:

COELHO, Rubens Duarte; MARTIN, Derrel L; CHAUDHRY, Fazal Hussain. *Effect of LEPA irrigation on storage in implanted reservoirs. TRANSACTIONS OF THE ASAE , ST JOSEPH, V. (39) 4, JULY - AUGUST, 1996, St. Joseph, v. 39, n. 4, p. 1287-1298, 1996.*

COELHO, Rubens Duarte; MARTIN, Derrel L; CHAUDHRY, Fazal Hussain. *Pivô central LEPA - degradação do armazenamento superficial de água no solo. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1996, Bauru. Resumos (CD ROM). BAURU - SP: Universitária, 1996.*

COELHO, Rubens Duarte; MARTIN, Derrel L; CHAUDHRY, Fazal Hussain. *Simulação da infiltração no sistema pivô central - LEPA, em condição de microrelevo condicionado. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1996, Bauru. Resumos CONBEA 1996 (CD ROM). BAURU- SP: Universitaria, 1996.*

COELHO, Rubens Duarte; MARTIN, Derrel L; CHAUDHRY, Fazal Hussain. *Optimal economic emitter spacing on center pivot LEPA irrigation system. In: INTERNATIONAL ANNUAL MEETING - ASAE, Minneapolis, MN. Paper 972215. ASAE, 1997*

COELHO, Rubens Duarte; CHAUDHRY, Fazal Hussain; MARTIN, Derrel L. *Degradation of surface storage with LEPA irrigation. In: 1995 INTERNATIONAL ANNUAL MEETING - ASAE, 1995, Chicago. Paper 952415. CHICAGO, IL - EUA: ASAE, 1995.*

COELHO, Rubens Duarte; MARTIN, Derrel L; CHAUDHRY, Fazal Hussain.

Considerações sobre a eficiência e a uniformidade de irrigação no equipamento pivô central - LEPA. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1996, Bauru SP. Resumos (CD ROM). BAURU - SP:Universitária, 1996.

COELHO, Rubens Duarte; MARTIN, Derrel L; CHAUDHRY, Fazal Hussain. Espaçamento econômico entre emissores no sistema de irrigação pivô central LEPA. In: IV CONGRESSO ARGENTINO E II INTERNACIONAL DE INGENIERIA RURAL, 1996, Neuquen. Memorias - Trabajos Completos. NEUQUEN - ARGENTINA: Universitaria, 1996. v. 1, p. 686-692.

COELHO, Rubens Duarte; MARTIN, Derrel L; CHAUDHRY, Fazal Hussain. Uniformidade e eficiência da irrigação em um equipamento pivô central LEPA sob cultivo de reservatório. In: IV CONGRESSO ARGENTINO E II INTERNACIONAL DE INGENIERIA RURAL, 1996, Neuquen. Memorias Trabajos Completos. NEUQUEN - ARGENTINA: Universitaria, 1996. v. 2, p. 700-706.

COELHO, Rubens Duarte; MARTIN, Derrel L; CHAUDHRY, Fazal Hussain. Variação temporal do armazenamento hídrico do microrrelevo em um solo irrigado por pivô central - LEPA. In: IV CONGRESSO ARGENTINO E II INTERNACIONAL DE INGENIERIA RURAL, 1996, Neuquen. Memorias - Trabajos Completos. NEUQUEN - ARGENTINA: Universitaria, 1996. v. 2, p. 693-699.

No início de suas atividades profissionais junto à Universidade de São Paulo, o autor exerceu o cargo de Técnico de Nível Superior, junto aos laboratórios de Física de Solos e Hidráulica da ESALQ. Durante o período que atuou junto ao laboratório de solos, implementou de forma sistematizada a prestação de serviço para fins de quantificação das propriedades físicas de solos em áreas irrigadas (granulometria, densidade, porosidade, curva de retenção, condutividade hidráulica), estando contribuído até os dias atuais no serviço de extensão universitária referente à orientação técnica de coleta de amostras indeformadas no campo (anéis de aço inox) e também como responsável técnico pelas análises realizadas.

Dentre alguns dos serviços prestados de caracterização física de solos para fins de projeto e manejo da irrigação destacam-se: Fazendas Daterra e Agronol (café), Cooperativa Holambra Paranapanema (grãos), Fazenda Casa Alta Projeto (milho verde), Empresa Finobrasa Agroindustrial (algodão), Fazenda Ubarana (tomate), Agropecuária Pastor Sodré (pastagem), Companhia de Desenvolvimento do Rio Verde (perímetro público irrigação), Iharabras Indústrias Químicas (estação experimental), Fazenda Agrivale (cebola), Fazenda Califórnia (frutíferas), ODEBRECHT (perímetro público internacional), COTIA Paracatú

(hortaliças), Votorantin Celulose e Papel (eucalipto), Fazenda Caxuana (café), Fazenda Okahara (citrus), Cooperativa Agrícola Centro Oeste (cana-de-açúcar), Fazenda Córrego Azul (feijão) e Fazenda Agronol.

Os resultados das curvas de retenção de uma das Fazendas analisadas podem ser verificados na Figura 13. A equação ajustada para curva de retenção é a proposta por van Genuchten (1980), com base nos parâmetros α , n e m da equação (2), sendo (θ) a umidade atual, (θ_s) a umidade de saturação e (θ_r) a umidade residual.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{(1 + (\alpha \cdot |\psi_m|)^n)^m} \quad (2)$$

2.2. Equipamentos

Desde o princípio de sua carreira profissional na USP o autor manteve fortes vínculos com o laboratório de irrigação pressurizada do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, inicialmente sob a orientação do Prof. Antonio Fernando de Lordelo Olitta tendo desenvolvido os seguintes trabalhos técnicos:

OLITTA, Antonio Fernando de Lordello; BOTREL, Tarlei Arriel; COELHO, Rubens Duarte. Ensaio de uniformidade do aspersor ESCO 233/92. 1988.

OLITTA, Antonio Fernando de Lordello; BOTREL, Tarlei Arriel; COELHO, Rubens Duarte. Ensaio de uniformidade do gotejador e microaspersores MA070 e MA120. 1988.

OLITTA, Antonio Fernando de Lordello; BOTREL, Tarlei Arriel; COELHO, Rubens Duarte. Ensaio de perda de carga em tubos de polietileno nos diâmetros de 1/2 e 3/4 'para a empresa Dantas Irrigação. 1989.

Esse período de atuação profissional em ensaios de equipamentos foi importante, pois o autor teve a oportunidade de aplicar na prática as normas técnicas ABNT, ISO e ASAE referentes aos ensaios de equipamentos de irrigação por aspersão.

Figura 13. Curva de retenção da Fazenda Agronol (irrigação de café).

Consulte : www.tensiometro.com.br

A rotina de determinação dos coeficientes de uniformidade de irrigação de apersores mostra-se adequada para quantificar o padrão de fabricação do equipamento (qualidade industrial e de projeto mecânico do aspersor), porém apresenta-se insuficiente para: 1) garantir a performance do equipamento no campo ao longo dos anos 2) quantificar economicamente o espaçamento ideal de emissores no campo com base na produtividade esperada e 3) estabelecer pontos ideais das regulagens dos aspersores (tensão da mola, velocidade de rotação).

O conhecimento do autor foi aprimorado nessa área específica do conhecimento, com a defesa de sua tese de mestrado intitulada: *“Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas”*. Esse trabalho de pesquisa contou com a colaboração financeira da Embrapa através do seguinte protocolo de pesquisa: *PROJETO : “Influência da velocidade de rotação dos aspersores na uniformidade da lâmina d' água ”. Número do processo 046.89.032/3 - EMBRAPA. Participantes do projeto: Rubens Duarte Coelho (Coordenador), Marcos Vinícius Folegatti e Antonio F. L. Olitta. Valor liberado Cr\$ 10200,00 (01/02/89) .Situação: Concluído; Natureza: Pesquisa. Integrantes: Rubens Duarte Coelho (Responsável).*

A conclusão desse trabalho resultou na publicação dos seguintes artigos:

COELHO, Rubens Duarte; FOLEGATTI, Marcos Vinícius. Influência do nível de tensão da mola no volume d'água desviado do jato principal de um aspersor de impacto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 170-174, 1998.

COELHO, Rubens Duarte; FOLEGATTI, Marcos Vinícius; FRIZZONE, José Antonio. Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a produtividade da cultura de batata. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 278-282, 1998.

COELHO, Rubens Duarte; BOTREL, Tarlei Arriel; OLITTA, Antonio Fernando de Lordelo. Ensaio de uniformidade de aplicação de água dos aspersores, com disposição radial de coletores na área. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1992, Santa Maria. Anais CONBEA 1992. SANTA MARIA - RS: Universitária, 1992.

COELHO, Rubens Duarte; FOLEGATTI, Marcos Vinícius. Considerações sobre o aprimoramento de modelos matemáticos de trajetória balística em aspersores rotativos do tipo impacto. In: IX CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGACAO E DRENAGEM, 1991, Natal, RN. Anais ABID 1991. NATAL - RN: Universitária, 1991.

COELHO, Rubens Duarte; FOLEGATTI, Marcos Vinícius. Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas. In: IX CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGACAO E DRENAGEM, 1991, Natal, RN. Anais ABID 1991. NATAL - RN: Universitária, 1991.

Estes trabalhos marcaram uma nova etapa na condução de ensaios de uniformidade em equipamentos de irrigação no Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, uma vez que possibilitou o desenvolvimento da metodologia de ensaios radiais na condição de ambiente fechado “indoor”, até então somente praticado em laboratórios de irrigação no exterior. O desenvolvimento de um software em linguagem *Basic* possibilitou o cálculo dos coeficientes de uniformidade, para vários espaçamentos simulados a partir de dados coletados em ensaios radiais.

No desenvolvimento desse trabalho de tese, especial atenção foi dada à manufatura de diversas cúpulas de ensaio radial para aspersores em condição “indoor”. Nas Figuras 14, 15, 16, 17, 18 e 19 são apresentados os detalhes dessas cúpulas idealizadas.

Legenda

- 1 – Água pressurizada da motobomba
- 2 – Jato d'água do bocal secundário
- 3 - Jato d'água do bocal principal
- 4 - Água interceptada pelo defletor-martelo
- 5 - Sistema de bloqueio da rotação do aspersor
- 6 - Sensor do contador do número de batidas

Figura 14. Representação esquemática da cúpula utilizada no ensaio do volume de água desviado e no período de oscilação do defletor-martelo.

Legenda

- 1 - Ponto de referência
- 2 - Transferidor sobre polia
- 3 - Rolamento
- 4 - Mini eixo cardã com elemento sensor
- 5 - Extensor do cardã
- 6 - Elemento sensor de deflexão do defletor-martelo
- 7 - Motor elétrico (12 volts)
- 8 - Correia de acoplamento motor-polia
- 9 - Bloqueador de rotação do aspersor

Figura 15. Representação esquemática da cúpula utilizada ensaio para determinação do ângulo de deflexão do conjunto defletor-martelo do aspersor

Legenda

- 1 - Suporte metálico de apoio
- 2 - Rolamento
- 3 - Transferidor 360°
- 4 - Ponto de referência
- 5 - Mola acoplada ao defletor-martelo
- 6 - Balança digital
- 7 - Eixo rígido de suporte de aspersor
- 8 - Manivela

Figura 16. Representação esquemática do ensaio da força tangencial de torção dos aspersores ensaiados.

Legenda:

- 1) Fonte de tensão variável
- 2) Voltímetro
- 3) Amperímetro
- 4) Motor elétrico 12 V
- 5) Correia de transmissão
- 6) Polia
- 7) Rolamento
- 8) Mini-eixo cardã
- 9) Acoplamento topo aspersor
- 10) Totalizador rotação

Figura 17. Representação esquemática da cúpula idealizada para controle de rotação dos aspersores ensaiados

Legenda : 1 - Direcionador de fluxo
2 - Dissipador de energia

Figura 18. Esquema ilustrativo das diferentes vistas da cúpula idealizada para ensaio radial do aspersor no interior do laboratório de irrigação.

Legenda:

1 - Linha principal radial de coletores
2 - Linha secundária de coletores
3 - Cúpula do aspersor ensaiado

4 - Motobomba ;
5 - Sistema de controle da rotação aspersor

Figura 19. Distribuição radial de coletores na área de ensaio do laboratório de Irrigação da ESALQ.

A publicação desses trabalhos de pesquisa permitiu concluir que:

- A uniformidade calculada no ensaio radial (indoor) é equivalente a do ensaio espacial no campo (outdoor) com ausência de vento;

- A velocidade de rotação do aspersor, influencia a distribuição espacial de água e a estimativa de produtividade das culturas, sendo que a velocidade ideal de giro depende do espaçamento entre aspersores;

- Existe um limite máximo de tensão da mola acoplada ao defletor-martelo, que assegura uma boa uniformidade de irrigação;

- Um único valor de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) pode representar duas ou mais distribuições espaciais de água, que resultam diferentes produtividades da cultura de batata (Figura 20);

Observou-se no decorrer dos ensaios realizados, que os aspersores trabalhando em perfeita sintonia mecânica (giro uniforme, batente bem posicionado, mancal livre etc.) apresentam o defletor-martelo desviando entre 5 a 15 % da vazão total do bocal principal, quando esta percentagem é maior, algum problema mecânico está ocorrendo no emissor. Recomenda-se que seja incluído, nas normas nacionais de ensaios de aspersores (ABNT) para fins de certificação, um valor máximo admissível de volume desviado pelo defletor martelo de 15 % da vazão do bocal principal do aspersor.

Figura 20. Valores de coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e porcentagem de queda na produção potencial da cultura da batata

Com base em funções de *produção x lâmina aplicada* é possível calcular para cada valor de espaçamento entre emissores no campo, a uniformidade de irrigação e a produtividade esperada de cada cultura, de tal modo que a seleção do espaçamento ideal entre emissores no campo seja dada por uma análise econômica e não por um valor de uniformidade (parâmetro estatístico). A metodologia desenvolvida leva em consideração os valores de lâminas de irrigação acumuladas em cada ponto da malha de amostragem de

uniformidade no campo. Com a produtividade estimada em cada ponto da malha é possível calcular a produtividade média esperada da área (método numérico).

Analisando-se para um exemplo de campo os valores de uniformidade de um sistema de irrigação (CUC) e produtividade da batata calculada com base na metodologia apresentada na tese de mestrado, observa-se na Figura 21 que a escolha do espaçamento entre emissores no campo pelo critério técnico de $CUC > 80\%$ resultaria na escolha do espaçamento 12 x 18 m.

Figura 21. Seleção do espaçamento ideal entre emissores: análise técnica.

Observa-se nas Figuras 22a e 22b para o mesmo exemplo que a combinação de espaçamento que propiciou o menor custo anual total (incluindo a perda de produção pela desuniformidade de irrigação), foram os espaçamentos entre aspersores de 6 x 12 e 12 x 12m na cultura da batata, o que contraria a o espaçamento de 12 x 18 m indicado pelo critério técnico.

Figuras 22a / 22 b. Seleção do espaçamento ideal entre emissores no campo:
análise econômica.

O mesmo enfoque econômico de uniformidade da irrigação foi aplicado também à diferentes configurações de montagem de um sistema hidráulico no campo:

CAMPECHE, Luis Fernando de Souza Magno; COELHO FILHO, Maurício Antonio; SOUZA, Sérgio Antonio Veronez de; COELHO, Rubens Duarte. Análise comparativa de um projeto de irrigação semiportátil, com diferentes configurações para a cultura do feijão. Irriga, Botucatu, v. 4, n. 1, p. 41-51, 1999.

RESUMO: O objetivo do presente trabalho foi analisar o custo de implantação e a receita líquida de um projeto de irrigação para cultura do feijão em duas regiões, com demandas evapotranspirométricas diárias de 7 e 4 mm. Analisou-se o efeito de diferentes espaçamentos de aspersores, motores (elétrico e Diesel) e condição da adução. Os resultados mostraram que para as duas regiões, as maiores receitas líquidas foram obtidas com o uso de motor elétrico, jornada diária de 16 horas e condição de adução favorável. Em todas as situações as maiores receitas líquidas foram obtidas para o espaçamento de 18x18 metros. A condição de adução foi determinante, podendo inviabilizar o projeto em determinadas situações.

O primeiro autor desse trabalho tornou-se professor da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia em Vitória da Conquista-BA, no ano de 2005.

Nesta mesma linha de pesquisa de simulação da produtividade em função da uniformidade de irrigação na aspersão convencional, incentivou seus alunos de pós-graduação a conduzir mais recentemente o seguinte trabalho:

SILVA, Tonny José Araújo da; COELHO, Rubens Duarte; FRANCO, Ruben Alcides; F. NETO, Miguel; ALVES JÚNIOR, José. Coeficientes de distribuição de água simulados para diferentes espaçamentos entre aspersores e suas implicações na produção de melancia, tomate, cebola e banana. *Engenharia Rural, Piracicaba*, v. 16, n. 1, p. 45-48, 2005.

RESUMO: Este trabalho teve objetivo simular a uniformidade de distribuição de água e a produção dos cultivos de melancia, tomate, cebola e banana em diferentes espaçamentos do aspersor Agropolo NY30 (6x6, 6x12, 12x12, 12x18, 18x18, 18x24, 24x24, 24x30, 30x30, 30x36 e 36x36m), bocal 6,2 x 4,6mm, operando em duas pressões de serviço (350 e 450 kPa). De acordo com a função de rendimento das culturas a lâmina de água obtida por Dantas Neto (1994), para o município de Casa Nova-BA, no Polígono das Secas, obteve-se a produção simulada em cada situação. Um coeficiente de uniformidade de rendimento foi determinado com dados da produção simulada. Nos maiores espaçamentos a diferença entre coeficientes pode ser até 25% e a queda de produção maior que 30% para a maioria das culturas avaliadas. Na Figura 23 são apresentados os valores de CUC para os espaçamentos simulados e a queda de produtividade esperada na área.

O primeiro autor desse trabalho tornou-se professor na Universidade Federal Rural de Pernambuco em Garanhuns, no ano de 2005.

Outros trabalhos inovadores orientados pelo autor na área de projetos hidráulicos em irrigação por aspersão foram:

Figura 23. Percentual de queda de produção em função do CUC para as diferentes culturas estudadas.

MIRANDA, Jarbas Honório de; SANTOS, Carlos Amilton Silva; COELHO, Rubens Duarte. Planilha eletrônica para dimensionamento econômico de um sistema de aspersão convencional portátil. In: AGROSOFT 99 - CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA, 1999, Campinas, SP. Resumos. Universitária, 1999. v.1.

MIRANDA, Jarbas Honório de; SANTOS, Carlos Amilton Silva; COELHO, Rubens Duarte. ASPERDIM - Planilha eletrônica para dimensionamento econômico de um sistema portátil de aspersão convencional portátil. 1999.

O dimensionamento de um sistema de aspersão convencional portátil baseado na análise econômica permite a escolha dos diâmetros a serem utilizados em diferentes situações de trabalho, proporcionando alternativas de projeto não só mais econômicas como também mais convenientes. O aplicativo desenvolvido analisa todas as combinações hidráulicas possíveis de um sistema de aspersão portátil, por meio de uma rotina *Visual Basic for Applications (VBA)*, buscando identificar a combinação de menor custo total por hectare. De acordo com os valores obtidos em combinações da planilha (linha principal: 4, 5, 6 e 8 polegadas; e linha lateral: 2, 3 e 4 polegadas) é possível selecionar as melhores alternativas.

Para a obtenção do dimensionamento hidráulico da linha lateral é necessário apenas que o usuário entre com os dados de comprimento da lateral e coeficiente “C” de Hazen-Williams (referente ao tipo de material utilizado na tubulação). O restante dos dados são automaticamente calculados e o diâmetro da linha lateral é calculado segundo a equação de Hazem-Williams. Os dados calculados são os seguintes: número de aspersores na linha, vazão total da linha lateral, perda de carga admissível, coeficiente F de múltipla saída, perda de carga sem saída, perda de carga unitária. Feita a escolha do diâmetro é feita uma nova aferição automática do sistema de acordo com o diâmetro calculado (valor arredondado). Caso o usuário altere alguma característica do aspersor ou comprimento, esta aferição pode ser verificada pelo mesmo para ver se o sistema está de acordo (célula aferição).

Pode-se conferir todas as pressões no sistema, tais como: pressão no início da linha lateral, pressão no primeiro aspersor, pressão no final da lateral, pressão no último aspersor bem como a pressão no início da linha principal. Neste momento também é necessário especificar se o terreno está em aclave ou declive (referente à linha principal).

Quanto ao dimensionamento econômico o usuário deve ter atenção para dois aspectos: primeiro a forma de utilização do seu sistema, ou seja, eficiência do conjunto moto-bomba, custo da energia, vida útil, taxa de juros coeficiente do material, e meses de operação. Neste ponto obtêm-se o fator de recuperação de capital e o total de horas de funcionamento no período escolhido. O segundo aspecto refere-se a uma tabela que é montada baseada nas células previamente preenchidas, e a escolha do diâmetro da linha principal fica a critério do usuário.

É permitido ao usuário fazer a sua escolha baseada em dados econômicos. Após a escolha feita é calculada automaticamente a perda de carga e pressão na linha principal.

Antes de se efetuar as combinações o usuário deverá preencher algumas células referentes a situação do sistema, tais como: distância da fonte de água até o ponto de entrada na área (comprimento da adutora), desnível da fonte de fornecimento de água até o ponto inicial, altura de sucção, comprimento da sucção, diâmetro escolhido para sucção e diâmetro da adutora.

O programa permite efetuar todas as combinações possíveis dentro de diâmetros previamente estipulados tanto para a linha lateral quanto a linha principal. Para a linha lateral foram utilizados os diâmetros de 2, 3 e 4 polegadas. Para a linha principal foram usados 4, 5, 6 e 8 polegadas. Permitindo uma variação de pressão de 20 e 40%.. Como a Tabela 2 é simplesmente para saída de dados, pode-se conferir diversos parâmetros: número máximo de aspersores, comprimento da linha lateral, área a ser irrigada, custo fixo do sistema, perda de carga na lateral, custo variável, custo total anual/ha, custo de aquisição, vazão total das linhas laterais em operação, perda de carga na sucção, perda de carga na adutora, custo de aquisição/ha, consumo de energia/ha, velocidade na linha principal.

É possível calcular também os custos referentes ao consumo de energia do projeto. O usuário tem a possibilidade de calcular por dois modos: a) Cálculo estimando de uma situação e b) Cálculo real da situação tornando-se necessário entrar com os valores de custo referentes a saída de ramal, ramal rural/m, entrada de serviço, ramal de serviço, estação transformadora. Se desejar fazer uma simulação o usuário deve colocar apenas o custo do ramal/Km e o comprimento da linha.

Observa-se na Tabela 2 a importância de se estudar em projetos de aspersão

convencional a alternativa de uso de reguladores de pressão na base de cada emissor, pois aumentando a variação de pressão admissível entre emissores na linha lateral de 20 para 40 %, em alguns casos diminui-se o custo do sistema de irrigação por unidade de área.

O primeiro autor desse trabalho tornou-se professor da ESALQ / USP, junto ao Departamento de Física e Agrometeorologia no ano de 2004, dedicando-se à simulação em computador do fluxo de água e de íons em solos agrícolas.

Outro fator que precisa ser estudado na irrigação por aspersão convencional é o critério técnico amplamente utilizado de dimensionamento da linha lateral no campo sem reguladores de pressão, que leva em consideração uma variação máxima de vazão admissível de 10 % entre os aspersores extremos, o que resulta para a condição em nível do terreno e coeficiente α vazão.pressão igual a 0,5, uma variação máxima de pressão de aproximadamente 20 %.

Tabela 2. Combinações possíveis de projeto na irrigação por aspersão convencional com regulador de pressão.

Diâmetro Principal "	Diâmetro Lateral "	ΔP %	Número Máximo Aspersor	Compri. Lateral (m)	Área (ha)	Custo Fixo (R\$)	hf Lateral (mca)	Custo Variável (R\$)	Custo Total Anual/ha (R\$)	Custo de Aquisição (R\$)	Vazão (l/s)	hf Adutora (mca)	Preço Aquisição (R\$/ha)	cv/ha	Veloc. L.P. (m/s)
4	2	20	13	153	12.0	843.31	3.00	123.80	80.49	8,433.08	5.19	0.60	701.87	0.18	0.64
4		40	16	196	15.4	964.80	6.03	186.57	74.54	9,648.00	6.67	0.96	624.61	0.21	0.82
4	3	20	26	311	24.5	1,285.21	2.97	340.34	66.36	12,852.06	10.58	2.26	524.67	0.24	1.31
4		40	33	398	31.4	1,528.24	5.92	555.57	66.45	15,282.42	13.55	3.57	487.33	0.31	1.67
4	4	20	43	512	40.4	1,846.71	2.93	861.64	67.11	18,467.09	17.43	5.70	457.63	0.37	2.15
4		40	55	655	51.6	2,244.14	5.91	1,519.54	72.97	22,441.43	22.28	8.98	435.09	0.51	2.75
5	2	20	13	153	12.0	1,107.23	3.00	113.35	101.59	11,072.32	5.19	0.20	921.52	0.16	0.41
5		40	16	196	15.4	1,228.72	6.03	165.17	90.24	12,287.24	6.67	0.32	795.47	0.19	0.53
5	3	20	26	311	24.5	1,549.13	2.97	260.63	73.88	15,491.30	10.58	0.76	632.41	0.19	0.84
5		40	33	398	31.4	1,792.17	5.92	394.31	69.72	17,921.66	13.55	1.21	571.49	0.22	1.07
5	4	20	43	512	40.4	2,110.63	2.93	530.62	65.45	21,106.33	17.43	1.92	523.03	0.23	1.38
5		40	55	655	51.6	2,508.07	5.91	853.01	65.16	25,080.67	22.28	3.03	486.26	0.29	1.76
6	2	20	13	153	12.0	1,327.17	3.00	110.21	119.63	13,271.68	5.19	0.08	1,104.57	0.16	0.28
6		40	16	196	15.4	1,448.66	6.03	158.76	104.06	14,486.61	6.67	0.13	937.86	0.19	0.37
6	3	20	26	311	24.5	1,769.07	2.97	236.75	81.88	17,690.67	10.58	0.31	722.20	0.18	0.58
6		40	33	398	31.4	2,012.10	5.92	346.01	75.20	20,121.03	13.55	0.50	641.62	0.21	0.74
6	4	20	43	512	40.4	2,330.57	2.93	431.46	68.45	23,305.70	17.43	0.79	577.53	0.22	0.96
6		40	55	655	51.6	2,728.00	5.91	653.34	65.56	27,280.04	22.28	1.25	528.90	0.28	1.22
8	2	20	13	153	12.0	1,800.03	3.00	108.56	158.85	18,000.32	5.19	0.02	1,498.13	0.16	0.16
8		40	16	196	15.4	1,921.53	6.03	155.38	134.46	19,215.25	6.67	0.03	1,243.99	0.18	0.21
8	3	20	26	311	24.5	2,241.93	2.97	224.17	100.68	22,419.31	10.58	0.08	915.24	0.16	0.33
8		40	33	398	31.4	2,484.97	5.92	320.55	89.46	24,849.67	13.55	0.12	792.41	0.18	0.42
8	4	20	43	512	40.4	2,803.43	2.93	379.20	78.87	28,034.34	17.43	0.19	694.71	0.16	0.54
8		40	45	540	42.5	2,880.88	3.41	408.38	77.32	28,808.79	18.38	0.22	677.20	0.17	0.57

Provavelmente, em função da sensibilidade da cultura e da precipitação natural esperada na área irrigada durante o período de plantio no campo, deverá existir uma variação desse critério técnico, que poderá ser determinado economicamente pela mesma metodologia apresentada nesses trabalhos. O autor espera que seja possível trabalhar nesta temática de pesquisa nos próximos anos.

Mais recentemente um outro trabalho desenvolvido pelo autor na área de equipamentos pivô central foi a determinação do coeficiente de descarga em emissores fixos da empresa nacional Fabrimar. Este trabalho apresentou uma surpresa técnica aos autores.

TEIXEIRA, Marconi Batista; MÉLO, Ralini Ferreira de; COELHO, Rubens Duarte. Avaliação do coeficiente de descarga dos emissores Fabrimar para pivô central. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Pelotas. Anais - CD Room. Pelotas: Universitária, 2005. v.1.

RESUMO: Com objetivo de avaliar o coeficiente de descarga para diferentes diâmetros de bocais de aspersores fixos para pivô central, analisaram-se 35 bocais de diferentes diâmetros com três repetições, totalizando 105 bocais ensaiados. Para a medição da pressão e vazão, foram utilizados, respectivamente, um manômetro digital e um medidor magnético indutivo de vazão. Foi utilizada água tratada com temperatura ambiente 25°C. Os resultados mostraram que para os menores diâmetros de bocais (diâmetro nominal variando de 2,0 até 5,4 mm) o coeficiente de descarga apresentou alguns valores superiores a 1,0; mostrando que com o aumento da pressão o bocal sofre aumento de diâmetro, resultando numa vazão superior à esperada. Já os bocais com diâmetro superior a 5,4 mm não apresentaram problemas de deformação de sua área com o aumento de pressão, sendo registrados valores de coeficiente de descarga na faixa tradicional de bocais (0,92 – 0,98).

Esse trabalho da estimativa do coeficiente de descarga de emissores fixos nacionais (Fabrimar) evidencia um problema técnico desconhecido até então: a flexibilidade do material utilizado na manufatura do bocal de emissores para pivô central quando pressurizado, evidencia um certo atraso tecnológico da indústria nacional, uma

vez que o similar importado não apresenta esse problema. Espera-se que o contato técnico efetuado com o fabricante resulte na solução desse problema de engenharia.

Figura 24. Fotografias dos bocais de emissores fixos para pivô central, fabricantes nacional (Fabrimar) e americano (Senninger).

Com relação à equipamentos de irrigação por pivô central, mais recentemente orientou os seguintes trabalhos de grande interesse prático :

SCHMIDT, Wulf; COELHO, Rubens Duarte; JACOMAZZI, Marco Antonio; ANTUNES, Mauro Antonio Homem. Distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil : I - Região Sudeste. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 8, n. 2, p. 1-4, 2004.

RESUMO: Quando se buscam em literatura dados sobre a irrigação no Brasil, sua

distribuição por estado e por método de irrigação, os dados encontrados referem-se normalmente a área irrigada. Dados como a sua distribuição dentro dos estados, seu número e seu tamanho são de difícil obtenção mesmo junto às empresas fornecedoras e ou à sua associação. No entanto, esses são dados fundamentais quando se pretende estudar a disponibilidade hídrica ou o potencial de crescimento da área irrigada de uma região, por exemplo. Temas esses bastante atuais com a crescente demanda por água potável a nível mundial e nacional. O presente trabalho objetivou coletar essas informações utilizando-se de imagens do satélite Landsat, e baseado na característica intrínseca do sistema de pivô central de marcar com um círculo, facilmente identificável em vista aérea, o local onde está instalado. Em função do referenciamento cartesiano das imagens e da articulação dessas com os mapas do IBGE, foi possível desenhar os mapas estaduais com as áreas de concentração desse tipo de equipamento

Figura 25. Distribuição espacial dos pivôs centrais no Estado de Minas Gerais.

Figura 26. Distribuição espacial dos pivôs centrais no Estado de São Paulo.

O primeiro autor desse trabalho tornou-se consultor técnico na área de Engenharia de Água e Solo a partir do ano de 2004, sendo atualmente sócio-proprietário da empresa de consultoria RASA (Racionalize Água, Solo e Ambiente), com sede no município de Piracicaba - SP.

A identificação da distribuição espacial dos equipamentos pivô central no Brasil pode ser de interesse em diferentes áreas do conhecimento: gerenciamento de recursos hídricos, marketing rural, sensoriamento remoto, levantamentos estatísticos, interesses diversos acadêmicos e de pesquisa, etc.

Talvez a maior contribuição do autor na área de irrigação por aspersão tenha sido a realização dos trabalhos sempre em parcerias com alunos de pós-graduação e graduação, de tal maneira a despertar novas vocações de recursos humanos na área. Um caso em especial ilustra bem essa contribuição. Nos anos de 1993 e 1994 o autor selecionou para atividades de estágio em iniciação científica o aluno de graduação da ESALQ, André Luis Teixeira Fernandes.

Esse acadêmico não possuía nenhum vínculo direto com a tecnologia de irrigação, porém sempre teve fortes vínculos agrônômicos com a cultura do café. Terminado seu curso de graduação com ênfase em engenharia agrícola e com a recém-expectativa de

irrigação da cultura do café no Brasil, esse profissional realizou cursos de pós-graduação (mestrado e doutorado) se despoitando no cenário nacional de irrigação, sendo atualmente Coordenador do Núcleo de Cafeicultura Irrigada da EMBRAPA, co-autor de 3 livros específicos na área de irrigação por aspersão em malha (pastagem e café) / irrigação por pivô central (café) e professor universitário na Universidade de Uberlândia (UNIUBE).

O trabalho desenvolvido no curso de graduação só veio a ser publicado no ano de 2004, porém felizmente o equipamento ensaiado ainda continua sendo a mesma versão comercializada no mercado nacional.

Neste trabalho, procurou-se conhecer melhor o funcionamento de uma bomba nacional injetora de fertilizantes (Indek), normalmente utilizada em sistemas do tipo pivô central. Simulou-se o efeito que teria o entupimento parcial do filtro de sucção da bomba (fertilizantes não solúveis e impurezas), na vazão injetada sob diferentes níveis de pressurização do sistema de irrigação.

FERNANDES, André Luis Teixeira; COELHO, Rubens Duarte. 2003: Avaliação do desempenho hidráulico da bomba injetora indek para fertirrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 409-414, 2004.

RESUMO: Neste trabalho procurou-se desenvolver e calibrar um modelo matemático que relacionasse as condições de operação da bomba injetora de fertilizantes Indek : regulagens do curso do êmbolo da bomba, pressão na linha de injeção e pressão de sucção, com a vazão de injeção no sistema de irrigação. Através de ensaios em laboratório, simulando condições de campo, obtiveram-se os valores de vazão final injetada, a partir dos quais elaborou-se um modelo matemático. O modelo proposto estimou satisfatoriamente a vazão da solução fertilizante injetada nas mais diversas condições de operação do sistema injetor. O modelo proposto ajustou-se bem para as regulagens do êmbolo de 20, 30 e 40 mm (Figuras 27 e 28). Na regulagem de 10 mm, não se obteve boa correlação entre os valores estimados e os observados de vazão de injeção.

Figura 27. Vazão da Bomba Injetora INDEK, para o curso de 30mm, em diferentes pressões de injeção e pressões de sucção de 0; 13,34; 26,67; 40,0 e 53,32 kPa.

Figura 28. Vazão da Bomba Injetora INDEK, para o curso de 40mm, em diferentes pressões de injeção e pressões de sucção de 0, 26,67; 40,0; 53,32 e 66,62 kPa.

2.3. Considerações

Observa-se nos trabalhos desenvolvidos pelo autor na área de irrigação por aspersão, a ausência de pesquisas em sistemas de irrigação do tipo autopropelido. Isto se deve em parte à impossibilidade de se trabalhar com esse equipamento em áreas experimentais de pequeno porte da ESALQ, aliado ao fato de ser necessário um conjunto moto-bomba de potência bastante elevada para atender à demanda dos canhões hidráulicos que equipam esses equipamentos. O autor espera conduzir um experimento de campo, enfocando o uso da barra irrigadora em experimentos de irrigação por autopropelido, uma vez que é um equipamento bastante adequado para estudos de lâminas de irrigação em áreas experimentais de grande porte na cultura da cana-de-açúcar (Figura 29).

Embora também não tenha sido relatado nenhum trabalho na área de diâmetro de gotas na irrigação por aspersão, no próximo capítulo referente à microaspersão, será apresentada uma abordagem a respeito desse assunto.

O autor estabeleceu também como meta a ser atingida nos próximos anos, o desenvolvimento de um programa computacional para cálculo do dimensionamento e

redimensionamento de emissores em sistemas pivô central. Existe uma certa demanda deste tipo de aplicativo por parte dos profissionais da área de irrigação que trabalham com ensaios de uniformidade em campo. Ensaios de coeficientes de descargas dos bocais de emissores de diferentes fabricantes (Nelson, Senniger e Fabrimar), assim como, o comportamento hidráulico dos reguladores de pressão deverão ser incluídos no aplicativo para viabilizar seu uso prático.

Figura 29. Barra irrigadora acoplada a sistema autopropelido em área experimental de grande porte em irrigação de cana-de-açúcar no Brasil.

Observa-se também a necessidade de se conduzir experimentos de campo, que comparem as eficiências de irrigação entre os sistemas de irrigação por pivô central, autopropelido e gotejamento. A demanda por esse tipo de informação será grande na área de gerenciamento de recursos hídricos, onde futuras outorgas do uso de água irão confrontar o uso de tais equipamentos.

Capítulo 3. Contribuições na Irrigação por Microaspersão

- 3.1. Equipamentos
- 3.2. Diâmetro de Gotas e Efeito de Vento
- 3.3. Considerações

3.1. Equipamentos

A irrigação por microaspersão é a mais adequada para ser implementada em pequenas propriedades (<200 ha) aonde não exista uma experiência prévia em sistemas de irrigação localizada. A possibilidade de se trabalhar com a tradicional adubação sólida nessas áreas irrigadas (adubos mais baratos) e o fato de ser possível desmontar os emissores para limpeza, caso ocorra algum tipo de obstrução por descuido de manutenção de filtros e limpeza química do sistema hidráulico, favorecem o sucesso prático dessa tecnologia no campo.

Os trabalhos desenvolvidos pelo autor nessa área tiveram a contribuição de seu orientado de doutorado, o Pesquisador da Embrapa, Marco Antonio Fonseca Conceição, vinculado ao Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho, Estação Experimental de Viticultura Tropical em Jales SP, desde o ano de 1988 e de outros alunos do curso de pós-graduação. Os seguintes trabalhos foram publicados durante os anos de 2001 e 2004:

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Distribuição do volume de água aplicado pelo microaspersor DAN 2001. Irriga, Botucatu, v. 9, n. 3, p. 207-216, 2004.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Distribuição do volume de água aplicado por microaspersores utilizando rotores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2002, Salvador. Anais - CD ROM. Cruz das Almas - BA: Universitária, 2002. v. 1, p. 1.

O objetivo destes trabalhos foi determinar a distribuição radial do volume de água aplicada por microaspersores autocompensantes. Este é um ensaio padrão de ser realizado em laboratório, para avaliação do desempenho hidráulico deste tipo de emissor. Foram ensaiados microaspersores DAN 2001 com rotores preto (bocais

violeta, cinza e marrom) e azul (bocais azul, verde, laranja e amarelo). Os maiores percentuais dos volumes de água aplicados ficaram entre as distâncias de 1,2 m e 1,8 m, para os bocais violeta, cinza e marrom; entre 1,8 m e 2,4 m para o bocal azul; e entre 2,4 m e 3,0 m, para os bocais verde, laranja e amarelo.

Figura 30. Distribuição de água para os perfis referentes aos bocais azul, verde, laranja e amarelo operando com rotor azul.

Uma outra linha de trabalho com microaspersores é a determinação das curvas de vazão pressão desses emissores. A novidade apresentada foi conduzir o ensaio sob condições adversas de operação :

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Relação vazão x pressão em microaspersores Dan 2001 sob condição adversa de operação (retirada da membrana autocompensante). Irriga, Botucatu, v. 8, n. 1, p. 63-68, 2003.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Relação entre vazão x pressão para microaspersores Dan 2001. In: XXXII CONGRESSO

BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Anais - CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

Os emissores do tipo microaspersores autocompensantes possuem membranas que regulam a sua pressão, mantendo a vazão estável. Operadores de sistemas de irrigação no campo, algumas vezes, para reduzir problemas de entupimento ou para diminuir o tempo de irrigação, costumam retirar as membranas autocompensantes comprometendo o desempenho hidráulico do sistema. Para avaliar o efeito da retirada da membrana sobre as vazões dos microaspersores, conduziu-se esse trabalho para se determinar as relações entre pressão e vazão para sete bocais do microaspersor DAN 2001, operando na ausência da membrana autocompensante. As curvas pressão-vazão sem as membranas dos emissores autocompensantes apresentaram comportamento potencial com expoentes variando entre 0,58 e 0,64. As vazões dos microaspersores sem as membranas aumentaram de forma inversamente proporcional aos diâmetros dos emissores, quando comparadas às vazões nominais com as membranas (Figura 31).

Observa-se nos resultados obtidos a impossibilidade de se operar o sistema hidráulico no campo, caso as membranas sejam retiradas dos emissores, principalmente quando se trabalha com pressões de serviço acima de 20 mca.

SANTOS, Marcio Aurélio Lins dos; SOARES, Tales Miles; COELHO, Rubens Duarte. Influência de barreiras físicas na distribuição de água de microaspersores Dan 2001. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Anais - CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

Neste trabalho estudou-se a influência barreiras físicas na uniformidade de distribuição de água de microaspersores. Uma das desvantagens do uso de microaspersão na irrigação das culturas perenes é o fato desse sistema propiciar o crescimento de plantas daninhas sob a projeção da copa. O crescimento dessas plantas ao redor do microaspersor é indesejável, pois interfere na distribuição de água desse emissor. Como existem vários tipos de plantas daninhas, o efeito desses obstáculos na distribuição de água dependerá do tipo de arquitetura foliar, da altura e da distância que essas plantas estejam situadas em relação ao microaspersor. Como esse trabalho é inédito na literatura, procurou-se trabalhar inicialmente com barreiras artificiais, para que fosse

possível a realização desse primeiro experimento (Figura 32), sendo que o obstáculo idealizado apresentava uma diagramação de arquitetura foliar do tipo horizontal.

Figura 31. Variação das vazões em função da pressão de serviço para diferentes bocais de microaspersores DAN 2001 com e sem a membrana autocompensante.

Quantificou-se nos ensaios realizados, a influência da presença das barreiras físicas nos perfis de distribuição de água do microaspersor Dan 2001. Quanto maior a altura da barreira, quanto mais próxima do emissor e quanto menor a vazão, maior a interferência no perfil de distribuição de água (Figura 33).

Nos emissores de maior vazão e com barreira mais distante, observa-se pouca influência das barreiras físicas sobre o perfil molhado original.

O autor espera nos próximos anos dar continuidade a essa linha de experimentação, com o plantio de diferentes tipos de plantas daninhas em vasos (retangulares), de maneira tal que seja possível simular a real influência de diferentes arquiteturas foliares no perfil de distribuição de água desses emissores.

Figura 32. Barreiras físicas com 75% de passagem de água, largura de 0,024 m, comprimento de 0,55 m e alturas de 0,19 m; 0,35 m; 0,49 m e 0,99 m.

A. Barreira Física a 0,5 m do microaspersor

Figura 33. Perfis de distribuição de água do microaspersor (bocal verde / rotor azul) sem barreira e com barreiras físicas (75%) na distância do microaspersor de 0,5 m e alturas de 0,19, 0,35; 0,49 e 0,99 m.

Um outro trabalho desenvolvido em irrigação por microaspersão foi a determinação do desempenho hidráulico de emissores trabalhando em posição invertida no campo (modelo específico para essa aplicação), condição de operação típica em irrigação de uva na região de Petrolina (Figura 34).

Figura 34. Irrigação de uva na região de Petrolina com microaspersão.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; ARAÚJO, Wellington Farias; COELHO, Rubens Duarte. Distribuição de água aplicada por microaspersor invertido operando a diferentes distâncias do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2002, Salvador. Anais - CD ROM. Cruz das Almas - BA: Universitária, 2002. v. 1, p. 1.

3.2. Diâmetro de gotas e efeito do vento na uniformidade do sistema

Uma nova etapa na pesquisa e experimentação de microaspersores foi desenvolvida com relação a determinação de diâmetro de gotas, ensaios sob condição de vento no laboratório e aferição de modelos de simulação em computador da distorção

do perfil original sob vento. Essa nova linha de trabalho foi desenvolvida para dar uma contribuição inovadora na orientação de doutorado do autor. Os trabalhos desenvolvidos nessa linha de pesquisa foram:

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca. Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento. 2002. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo. Orientador: Rubens Duarte Coelho.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Efeito do vento sobre a distribuição de água em microaspersores Dan 2001. Irriga, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 62-71, 2004.

COELHO, Rubens Duarte; CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca. Simulating wind effect on microsprinkler water distribution. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 205-209, 2004.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Ballistic Model to Estimate Microsprinkler Droplet Distribution. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 775-778, 2003.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Simulating wind effect on microsprinkler water distribution. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING / 2003 - LAS VEGAS, 2003, Las Vegas. Anais - CD ROM. St. Joseph: ASAE, 2003.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Uso de modelo balístico para estimativa dos diâmetros de gotas aplicados por microaspersores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2002, Salvador. CD - ROM. Cruz das Almas - BA: Universitária, 2002. v. 1, p. 1.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Distribuição do tamanho de gotas de microaspesores. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2001, Foz do Iguaçu. Anais (CD ROM). Cascavel: Universitária, 2001.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Simulação do efeito do vento na distribuição de água em microaspersores. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Efeito do vento sobre a distribuição de água por microaspersores sob diferentes condições operacionais. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2004, São Pedro. Anais - CD ROM. Campinas: Universitária, 2004

CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Distribuição

de água em microaspersores sob condição de vento. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003

A coletânea de trabalhos só foi possível ser concretizada com a implantação de um sistema de geração de vento dentro do laboratório. A princípio estudou-se a possibilidade de se construir um túnel de vento padronizado, porém essa hipótese foi logo descartada face à indisponibilidade de verbas para implantação dessa opção. Para viabilizar o estudo da ação do vento na microaspersão, implantou-se de maneira inovadora, porém a um custo bem inferior, uma bateria de 14 ventiladores, que proporcionou a geração do vento desejado na área de ensaio (Figura 35).

Figura 35. Esquema representativo da bateria de ventiladores empregada nos ensaios.

Figura 36. Disposição do microaspersor, coletores e ventiladores no interior do laboratório de irrigação pressurizada.

Os trabalhos desenvolvidos sob orientação do autor com microaspersão em condição de vento artificial (indoor) são inéditos na literatura.

A idéia inicial do trabalho seria desenvolver um software para simular a distorção do perfil de distribuição de água do microaspersor sob condição de vento. Desenvolveu-se toda a teoria balística para equacionamento do problema físico, com base nas informações disponíveis na literatura. Essa teoria é apresentada no anexo B da tese de doutorado do Pesquisador da Embrapa: Conceição, M.A.F. Inevitavelmente identificou-se na busca em literatura um programa já desenvolvido nessa área de interesse : SIRIAS (SIMulación de Riego por ASpersión), que foi disponibilizado pelos autores espanhóis para aferição de sua aplicação em microaspersão, uma vez que havia sido testado originalmente apenas para emissores de maior porte. Com isso economizou-se um tempo precioso em horas de programação que foi convertido na ampliação do tempo de coleta de dados em laboratório (inclusive diâmetro de gotas), estudando-se todas as opções de bocais do microaspersor DAN 2001.

O desempenho do modelo balístico SIRIAS na simulação da distribuição de água na ausência de vento foi classificado como ótimo para todos os bocais analisados (Figura 37).

Figura 37. Perfil de distribuição pluviométrica medido e simulado em computador para a condição de ausência de vento no bocal cinza do microaspersor DAN 2001.

O modelo balístico apresentou um desempenho muito bom para simular a distribuição de água em condição de vento para os bocais de maiores vazões, sendo que nos bocais de vazão intermediária (marrom – Figura 38) o desempenho foi médio e nos bocais de menores vazões (violeta – Figura 39) o desempenho foi razoável. Observou-se

que a geometria interna dos rotores dos microaspersores foi o fator que mais influenciou o desempenho do modelo balístico dos emissores em baixa vazão, fator esse não levado em consideração nos dados de entrada do modelo físico idealizado.

Figura 38. Perfil de distribuição com vento, medido e simulado para o bocal marrom.

Figura 39. Perfil de distribuição com vento, medido e simulado para o bocal violeta.

A importância maior desse trabalho é a possibilidade que se abriu para a prestação de serviço de ensaios de equipamentos de irrigação a um nível técnico mais elevado do que está sendo feito até então no Brasil. Fazendo-se o tradicional ensaio radial em laboratório na ausência de vento e quantificando-se o diâmetro de gotas ao longo do perfil de distribuição do aspersor ou microaspersor é possível simular em computador os coeficientes de uniformidade de irrigação em diferentes condições de

vento no campo. Dessa forma o fabricante de aspersor ou microaspersor poderá disponibilizar essa informação para projetistas de sistemas de irrigação, de tal modo que a intensidade do vento do local possa ser levada em consideração na seleção do modelo de emissor e no espaçamento a ser instalado, otimizando o desempenho do emissor no campo.

Mudando o enfoque da pesquisa para um aspecto prático de campo, porém levando em consideração o vento no local de irrigação, o autor orientou também o seguinte trabalho:

RODRIGUES, Rodrigo Otávio; RIGHI, Evandro Zanini; LUCAS, Ariovaldo Antonio Tadeu; CONCEIÇÃO, Marco Antonio Fonseca; COELHO, Rubens Duarte. Influência da inclinação da haste e da ação do vento na distribuição de água do microaspersor Dan 2001. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2001, Foz do Iguaçu. Anais (CD ROM). Cascavel: Universitária, 2001.

Um dos problemas observados à nível de campo em áreas irrigadas por microaspersão é o fato de que a haste de suporte dos emissores não fica exatamente posicionada no sentido vertical quando em operação. A angulação da haste é decorrente do trânsito de pessoas e máquinas, principalmente durante a operação de colheita no campo. Como os ensaios de laboratório (normas técnicas) não analisam o desempenho hidráulico do emissor nessas condições, o autor propôs a seus alunos de pós-graduação um trabalho investigando o desempenho do microaspersor DAN-2001 com a haste inclinada em 45°; 67,5°; 78,7° e 90° (Figura 40), com e sem vento no mesmo sentido da inclinação, em condições de laboratório. Os bocais autocompensantes utilizados foram: amarelo (95 L h⁻¹), verde (55 L h⁻¹) e violeta (20 L h⁻¹). A ação do vento foi simulada em laboratório, utilizando-se de uma bancada com 14 ventiladores justapostos. Operou-se o sistema por uma hora ininterrupta, em três repetições para cada inclinação, com e sem vento, e para cada bocal estudado. A inclinação causou uma redução da área molhada e distorção do perfil de distribuição da água pelo emissor. O vento repercutiu em deslocamento da área molhada (deriva) e aumento de evaporação. A área molhada pelos microaspersores é reduzida com a inclinação da haste e pela ação do vento. A inclinação e o vento resultam em prejuízo ao desempenho esperado do emissor.

Figura 40. Inclinação da haste de sustentação do microaspersor (a) e disposição dos coletores em diferentes raios de coleta .

Na Figura 41a observa-se a influência da inclinação da haste do microaspersor na ausência de vento, sobre o limite de área molhada no chão. Já na Figura 41b é apresentada a influência da inclinação da haste combinada com a ação do vento sobre o limite de área molhada no chão, o que evidencia uma distorção mais acentuada no perfil original sob condição mais adversa.

Figura 41. (a) Efeito da inclinação da haste e (b) efeito do vento sobre a área molhada.

O resultado desse trabalho pode ser aplicado tanto em projetos de irrigação, aonde eventualmente um emissor irriga até 4 plantas (banana), assim como em atividades de manejo da irrigação, orientando melhor o posicionamento de sensores de umidade do solo.

3.3. Considerações

Pelo que se pode observar, o autor teve uma contribuição ampla na irrigação por microaspersão. Seria interessante se esses ensaios pudessem ser conduzidos de maneira sistemática para outros modelos de emissores disponíveis no mercado nacional. A inclusão do efeito do vento nos catálogos técnicos de produtos comerciais é uma meta realista e que pode ser concretizada nos próximos anos.

Novos desafios de pesquisa na irrigação por microaspersão: determinação de perda de carga em microtubos, perda de carga localizada em microconexões, resistência a entupimentos por causas físicas, químicas e biológicas.

Capítulo 4. Contribuições na Irrigação por Gotejamento

4.1. Aspectos Agronômicos

A principal característica da irrigação por gotejamento é o umedecimento de apenas uma parte do solo onde se concentra o sistema radicular da planta. A tecnologia do gotejamento em culturas de ciclo rápido (hortaliças) já é plenamente dominada, sendo a resposta agronômica comprovada para uma ampla variação de condições edáficas. A aplicação da irrigação por gotejamento em culturas perenes já não apresenta o mesmo sucesso agronômico para condições edáficas tão variadas em condições tropicais.

Um dos fatores críticos no sucesso de um sistema de irrigação localizada em culturas perenes é a definição em projeto da proporção de superfície de solo que deve ser umedecida, com relação à superfície total (espaçamento de plantio), normalmente designada por fração de área molhada. Face às dificuldades técnicas encontradas nesse tipo de estudo, até o presente momento, inexistem na literatura científica trabalhos confiáveis que estabeleçam para as culturas perenes, por exemplo: citros e café, os valores ótimos de fração de área molhada no solo para diferentes condições de fertilidade do solo, porta-enxerto, evapotranspiração e pluviosidade local.

Na região Sudeste do Brasil onde é concentrada a produção nacional de citros, a estação seca do ano coincide com os meses mais frios, o que constitui uma diferença marcante com a tradicional região cítrica da região mediterrânea na Europa, onde a estação seca ocorre nos meses quentes de verão, quando a irrigação é acionada. Essa diferença climática pode influenciar o desenvolvimento do sistema radicular, pois na Espanha e em Portugal o sistema radicular do citros desenvolve-se mais restrito ao bulbo molhado no solo nos meses quentes e secos do verão, enquanto, que nas condições do Estado de São Paulo, as precipitações naturais que ocorrem nos meses quentes é que podem estar condicionando o desenvolvimento do sistema radicular fora do bulbo molhado pelo gotejador.

Pomares cítricos no Estado de São Paulo requerem irrigação nos períodos críticos de pegamento de florada e fixação da carga produtiva do pomar nos meses de setembro a novembro. A dúvida que surge é se o sistema de irrigação localizada, com valor de fração de área molhada restrito, será capaz de suprir adequadamente as quantidades de água e

nutrientes requeridas para garantir o bom pegamento dos frutos e assegurar uma boa safra aos citricultores irrigantes. O abortamento de floradas em áreas irrigadas é observado com uma certa frequência em SP, principalmente em sistemas de irrigação do tipo gotejamento linha simples.

A maioria das experiências relatadas na literatura, com diferentes culturas indica que irrigando-se uma área mínima de 50% da projeção da copa, a planta irá se adaptar rapidamente a esse novo padrão de absorção de água. Do ponto de vista econômico, levando em conta a redução dos custos com as tubulações de polietileno e o número de emissores por planta observa-se a instalação de sistemas de irrigação localizada na citricultura nacional irrigando apenas entre 10 e 15% da projeção da copa (linha simples de gotejo). Outro detalhe a considerar é que, normalmente, os pomares em que se faz a opção pela irrigação apresentam um índice de cobertura do solo pela copa de 30% na condição de sequeiro, o que passará a 60% com a irrigação (podas na área), diminuindo a área molhada para 5 a 7,5% da projeção da copa. Na literatura disponível, o relato de pesquisas em irrigação localizada na faixa de 5 a 15% de fração de área molhada é escassa e, especificamente para citros, inexistente.

Poderá a fertirrigação por gotejamento no estado de São Paulo, com o fornecimento dos nutrientes N, P, K, Ca, Zn, B e S forçar o confinamento do sistema radicular do citros dentro do bulbo molhado, tornando viável a irrigação localizada de uma fração bastante reduzida no solo (10-15%)?

Visando responder a essas questões, o autor desenvolveu alguns trabalhos nesta área do conhecimento, em parceria com seu orientado de mestrado e posteriormente de doutorado, o Engenheiro Carmello Crisafulli Machado, atualmente trabalhando no departamento de engenharia da indústria de equipamentos de irrigação localizada Amanco (Sumaré-SP).

MACHADO, Carmello Crisafulli. Influência da irrigação localizada na absorção de água do porta-enxerto limão 'Cravo' em plantas adultas de lima ácida 'Tahiti'. 2000. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Orientador: Rubens Duarte Coelho.

MACHADO, Carmello Crisafulli. Consumo de soluções fertilizantes por plantas adultas de lima ácida tahiti sobre limão cravo em irrigação localizada. 2004. 140 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Orientador: Rubens Duarte Coelho.

Esses trabalhos de pesquisa tiveram o apoio financeiro da FAPESP através do seguinte projeto aprovado:

PROJETO FAPESP 2 : Estudo da adaptação do sistema radicular da cultura do limão Tahiti (Citrus Latifolia Tan.) à irrigação localizada. Número do Projeto: 97/14625-8. Descrição: Carmello Crisafulli Machado e auxílio tese (Orientador Prof. Rubens Duarte Coelho). Valor liberado R\$3.780,00 (19/09/98). Situação: Concluído; Natureza: Pesquisa. Alunos envolvidos: Mestrado acadêmico (1). Integrantes: Rubens Duarte Coelho (Responsável)

Os trabalhos publicados e apresentados em eventos decorrentes dessas orientações contaram também com a participação efetiva de estagiários de iniciação científica. Os trabalhos finalizados são os seguintes:

MACHADO, Carmello Crisafulli; COELHO, Rubens Duarte. Root efficiency of the Rangpur lemon rootstock under fertigation through drip irrigation. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING / 2003 -LAS VEGAS, 2003, Las Vegas. Anais CD - ROM. St. Joseph: ASAE, 2003.

MACHADO, Carmello Crisafulli; COELHO, Rubens Duarte. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão 'cravo' enxertado com lima ácida 'tahiti'. Revista Laranja, Cordeirópolis, SP, v. 21, n. 2, p. 359-380, 2000.

MACHADO, Carmello Crisafulli; COELHO, Rubens Duarte; COELHO FILHO, Maurício Antonio. Adaptação radicular do porta-enxerto limão cravo à irrigação localizada. Revista Laranja, Cordeirópolis, SP, v. 22, n. 1, p. 215-230, 2001.

PRADA NETO, Ithamar; MACHADO, Carmello Crisafulli; COELHO, Rubens Duarte. Utilização do lisímetro poroso na determinação do coeficiente de cultura (Kc) em plantas jovens de lima ácida Tahiti. In: 10 SIICUSP - SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 2002, Piracicaba. CD - ROM. São Paulo: Sonopress Rimo Ind. e Com. Ltda, 2002.

MACHADO, Carmello Crisafulli; COELHO, Rubens Duarte; PRADA NETO, Ithamar. Consumo de soluções fertilizantes em plantas adultas de lima ácida tahiti sobre limão cravo nas condições de irrigação localizada. Irriga, Botucatu, v. 9, n. 3, p. 235-247, 2004.

MACHADO, Carmello Crisafulli; PRADA NETO, Ithamar; COELHO, Rubens Duarte. Avaliação do lisímetro poroso na medida do consumo de água de plantas jovens de lima ácida Tahiti em porta enxerto citrumelo swingle. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

MACHADO, Carmello Crisafulli; COELHO, Rubens Duarte; PRADA NETO, Ithamar. Determinação do consumo de solução nutritiva através da metodologia do lisímetro poroso em plantas adultas de lima ácida Tahiti sob o porta enxerto limão cravo. In: XIII CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2003, Juazeiro. CD - ROM. Juazeiro: Universitária, 2003.

QUEIROZ, Alvaro; BERNARDES, Marcos Silveira; COELHO, Rubens Duarte; KRONKA, Paulo. Avaliação preliminar do bulbo molhado através da tensiometria em sistema de irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar. In: 8 CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2002, Recife. Anais. Recife: Universitária URFPE, 2002. v. 1, p. 573-580.

O trabalho científico mais citado na literatura onde se estudou o efeito da irrigação parcial do sistema radicular de uma planta foi apresentado por Black e West em 1971 na Austrália, posteriormente divulgado no Segundo Congresso Internacional de Irrigação por Gotejamento em San Diego na Califórnia (1974). Esse trabalho é de difícil acesso, pois os anais do referido evento não se encontram no formato digital e o trabalho original (1971) é antigo com apenas 2 páginas e de circulação restrita na Estação Experimental de Hortaliças de Scoresby. O autor teve acesso a uma cópia do trabalho original (Anexos-A) e fará uma descrição mais detalhada do experimento a seguir.

Na primavera de 1966, o experimento foi estabelecido selecionando-se plantas jovens de maçã uniformes com 12 meses de idade em relação à enxertia do cavalo. Os pesquisadores não foram precisos na especificação de datas, deste modo, estima-se que isto se deu entre os dias 23 de Setembro a 22 de Dezembro, com base nas referências das estações do ano.

Esse experimento foi conduzido dividindo-se o sistema radicular das mudas de maçã em quatro porções distintas (corte de serra) até uma altura de 15 cm no tronco a partir da inserção das raízes, justapondo-se quatro recipientes de formato quadrado com 9 litros de capacidade cada um, que foram amarrados compondo um único conjunto sobre uma plataforma, posteriormente revestido com folha dupla de alumínio para isolamento térmico.

Inicialmente os recipientes foram irrigados diariamente no local de ensaio, de tal modo que o sistema radicular em crescimento fosse conduzido simultaneamente para os 4 recipientes sem deficiência hídrica no solo. Terminado o primeiro surto de crescimento vegetativo em meados do primeiro verão (data estimada: 5 de Fevereiro 1967), o crescimento de área foliar era mínimo e o sistema radicular estava bem desenvolvido em todos os recipientes. Dez dias antes que os tratamentos fossem impostos, todos os recipientes foram pesados e irrigados diariamente até se obter um início de drenagem, com base na diferença de peso observada e no volume de água aplicado. Após esse período inicial de calibração (data estimada: 16 de Fevereiro 1967), a irrigação foi suspensa em alguns recipientes de acordo com os tratamentos idealizados. Não é especificado no trabalho o número de plantas utilizado por tratamento, aparentemente foi apenas 1 planta.

A planta cujo tratamento foi a suspensão da irrigação nos 4 recipientes (100 % do sistema radicular sem irrigação), serviu como referência de pesagem, para se detectar o momento em que atingiu-se o ponto de murcha permanente no solo. No final do experimento todos os tratamentos foram irrigados totalmente durante 8 dias, para se verificar a recuperação das plantas. As perdas por transpiração dos vários tratamentos foram expressas como uma porcentagem da planta de referência com 100 % do sistema radicular irrigado. A evaporação (EV) foi calculada dia a dia com base em uma estação climatológica adjacente ao local, e seu valor acumulado (EVc) a partir da imposição dos tratamentos. O trabalho não esclarece como a evaporação foi medida, aparentemente foi utilizado o tanque classe A para essa determinação.

A planta de maçã que ficou com 100 % do sistema radicular sem irrigação, apresentou o sintoma inicial de murcha permanente, após 48 mm de (EVc) evaporação acumulada (data estimada: 25 de Fevereiro de 1967), sendo que com 146 mm acumulados todas as folhas caíram. A partir desse ponto (data estimada: 17 de Março de 1967), considerou-se que as demais plantas estavam totalmente dependentes dos tratamentos impostos. As taxas relativas acumuladas de evapotranspiração nos diferentes tratamentos foram contabilizadas para o período compreendido entre 150 e 215 mm de (EVc) acumuladas (17 Março - 6 Abril de 1967), quando então o experimento foi finalizado. O gráfico da Figura 42a é uma imagem melhorada do original apresentado no trabalho divulgado.

As perdas por transpiração das macieiras foram expressas em porcentagem do consumo da planta de referência (100 % do sistema radicular irrigado): 74%, 88%, 94 % e 100 % para áreas molhadas de 25%, 50 %, 75% e 100%. A taxa de recuperação da transpiração das plantas ao final do experimento, quando todos os recipientes foram irrigados, evidencia que as raízes nos recipientes secos, não sofreram danos permanentes. O mais interessante é que os pesquisadores australianos, em nenhum momento citam a irrigação localizada por gotejamento no texto apresentado, apenas conclui que: *“irrigando-se diariamente um planta em apenas parte de seu sistema radicular, resulta um regime hídrico adequado na planta, comparável à irrigação de todo o sistema radicular em um*

intervalo de tempo de por exemplo 14 dias; dessa maneira a economia proporcionada por uma taxa baixa de irrigação pode se tornar uma vantagem na irrigação de pomares “.

Observa-se na Figura 42a alguns pontos importantes: **a)** no início do experimento o consumo hídrico relativo das plantas monitoras não era tão uniforme, porém dentro de uma faixa de variação pequena e aceitável para esse tipo de experimento, **b)** durante a fase inicial de imposição dos tratamentos entre 50 e 150 mm de evaporação acumulada, observou-se a maior diferenciação de consumo entre as porcentagens de áreas molhadas, sendo que a planta sem irrigação já exibia sintomas de murcha permanente com apenas 48 mm de evaporação acumulada; quando o stress hídrico atingiu o acumulado (EVc) de 125 mm, a diferença de consumo hídrico entre 25 e 100% de área molhada era de 40 % (consumo relativo 60 %), **c)** quando os pesquisadores Black e West iniciaram a contabilização do consumo relativo das plantas (data estimada: 17 de Março de 1967), provavelmente uma menor demanda evaporativa da atmosfera no período, reduziu essa diferença de consumo para apenas 5 %, sendo que esse valor volta a aumentar posteriormente 35 % (consumo relativo 75%), **d)** o término do período de contabilização do consumo relativo, ocorreu por volta de 6 de abril de 1967, sendo que as plantas voltaram a ser irrigadas plenamente até o dia 16 de abril de 1967.

Esse experimento não investigou a irrigação do sistema radicular na faixa molhada de 10 %, porém imaginando-se uma linha média (linha tracejada em cor roxa na Figura 42) entre os tratamentos de 25 % e 0 % de área molhada, condição encontrada na irrigação de citrus com linha simples de gotejamento em pomares no Estado de São Paulo, para o período de (EVc) acumulada de 75 a 150 mm, nota-se que o valor de consumo relativo poderia chegar facilmente ao valor de 30 %, o que representa 70 % de diferença no consumo hídrico da planta de referência em um determinado momento. Para a irrigação de pastagem, isso não seria nenhum problema grave, porém no momento de pegamento de uma florada de citros no Estado de São Paulo, em pleno mês de outubro, sem nuvens e com muita radiação disponível no ambiente, a situação é bem mais crítica.

Figura 42a. Taxas de transpiração de macieiras sob diferentes áreas molhadas no solo.

É interessante observar na literatura, como o resultado desse experimento é interpretado por diferentes autores:

Olitta (1985) – “Os resultados mostraram uma alta porcentagem de transpiração (74%) nas plantas que apresentavam somente 25% de seu sistema radicular irrigado (1 recipiente), quando comparada com as plantas que possuíam todo o sistema radicular irrigado. Esta porcentagem aumentava conforme um número maior de recipientes em cada árvore recebia água. Estes dados sugerem que o molhamento de somente parte do sistema radicular é adequado para o desenvolvimento da planta, não havendo necessidade absoluta de se alcançar todo o sistema radicular”.

Pizarro (1986): *Que volume de solo necessita ser irrigado para as plantas ? Vamos descrever a experiência clássica realizada por Black em Southern Victoria (1966) ... 25 % de área molhada apresentou 74 % da transpiração da planta de referência. Nos tratamentos com irrigação, as doses foram as mesmas aplicadas em cada árvore. Ao final do experimento as quatro macieiras de todos os grupos foram irrigadas e todas as árvores alcançaram a mesma transpiração. Até que ponto pode-se reduzir o volume de solo molhado sem detrimento ao rendimento da cultura é uma questão muito importante sobre a qual nossos conhecimentos são muito limitados. Podemos dizer que entre 30 e 40 % é um valor geralmente aceito, porém com um valor menor aumenta-se o risco que seja insuficiente.*

Abreu, López, Regalado e Hernández (1987): *As diferenças de valores médios de transpiração obtidos, foram expressos com relação à planta testemunha, sendo que com 25 % de volume radicular molhado, a planta transpirou 74% da planta de referência.. Ao se supor que a diminuição de transpiração obtida seja proporcional à diminuição da atividade fotossintética, as diferenças parecem tão pequenas frente às reduções dos volumes radiculares umedecidos, que poderíamos concluir que, para as condições do ensaio com alta disponibilidade de água mediante irrigação diária, pode não se molhar 100 % do volume radicular sem que seja produzido um stress hídrico importante.*

Machado(2000) – *“Em ensaio de curto prazo, observou que as maçãs jovens continuam crescendo, normalmente, mesmo que só se aplique água à quarta parte do sistema radicular ($P=25\%$). Cerca de 50 por cento ($P=50\%$) parecem ser suficientes. Uma média razoável para o cálculo de um projeto é umedecer pelo menos um terço ($P=33\%$) do conjunto da zona radicular potencial, no caso de um pomar onde as plantas estejam espaçadas”.*

Observa-se que a interpretação pessoal apresenta forte influência sobre a conclusão final deste trabalho publicado, sendo que algumas considerações não se sustentam nos resultados originais apresentados por Black e West.

Visando esclarecer um pouco mais a questão, o autor entrou em contato com o Pesquisador Timothy Forster do Setor de Informações Meteorológicas da Austrália (Victorian Region) em abril de 2006, solicitando as informações meteorológicas da Estação Experimental de Scoresby nos anos de 1966 e 1967, no período em que o experimento foi conduzido. A solicitação foi prontamente atendida, sendo que os dados diários coletados na época de maneira sistematizada e disponibilizados foram: precipitação, temperaturas máxima e mínima e horas de brilho solar (Anexo – A), não estando disponíveis com base diária os dados de umidade relativa do ar, evaporação do tanque classe A e nem evapotranspiração. O que se conseguiu em complementação aos dados diários foi a média histórica de várias informações meteorológicas detalhadas, entre os anos de 1948 e 2004 (Anexo – A).

Pelos dados climatológicos analisados, observa-se que a estação de Scoresby está localizada ao sul da Austrália, sendo possível visualizar no *Google Earth* a estação meteorológica, com base nas coordenadas geográficas de identificação. A estação localiza-se nas proximidades do mar a 100 metros de altitude, sendo que a média total anual de chuvas é de 899 mm. Observa-se também que a região está sujeita a uma ampla variação térmica ao longo do ano, com temperatura média de 25,9 °C em Janeiro e 12,9 °C em Julho, resultando numa evaporação diária potencial de 5,8 mm e 1,4 mm respectivamente. É uma região que chove de maneira bem distribuída ao longo do ano (Janeiro 55,9 mm e Julho

77,5 mm), porém sempre apresenta déficit hídrico no solo na primavera e verão, em função das taxas de evaporação de 3,6 a 5,8 mm/dia, em contraste com as taxas de evaporação de 1,3 a 2,7 mm/dia observadas no inverno e outono. O plantio de macieiras é favorecido pelo número significativo de dias com temperaturas abaixo de 2°C nos meses mais frios do ano.

As datas estimadas do experimento foram calculadas com base na evaporação média diária apresentada na série histórica. Confrontando-se os dados de consumo diferenciado do experimento em função dos tratamentos, com os dados diários climatológicos disponíveis, observa-se que existe uma boa correlação com as horas de brilho solar. Na Figura 42, no acumulado de evaporação de 160 mm, quando a diferenciação de consumo caiu bastante entre os tratamentos estudados, observa-se entre os dias 17 e 26 de março de 1967 uma instabilidade muito grande do número de horas com brilho solar (nebulosidade na área) quando ocorreu uma precipitação de 20 mm na área (média histórica do mês de março 56 mm). Esta instabilidade voltou a ser observada posteriormente na primeira quinzena de abril, quando o acumulado de evaporação do experimento estaria entre 200 e 240 mm.

Com base nos dados climatológicos consultados, observa-se que o experimento de Black e West teve a contabilização da diferenciação de consumo das diferentes áreas molhadas estudadas efetuada em um período de baixa demanda evaporativa, o que diminuiu as diferenças de consumo observadas nos tratamentos avaliados de áreas molhadas diferenciadas. Os pesquisadores ficaram preocupados em assegurar que as árvores estariam 100 % sob condição dos tratamentos impostos, esperando 20 dias para que a planta sem irrigação que já estava apresentado sintoma visual de murcha permanente, viesse a perder todas as folhas. Neste período o clima estava bem definido, porém posteriormente a demanda climática ficou variável em função da nebulosidade e das chuvas esparsas observadas. Nota-se nos dados climatológicos históricos que a evaporação média cai bruscamente entre os meses de março e abril (4,1 e 2,7 mm/dia respectivamente), justificando o fato do experimento ter sido encerrado pelos pesquisadores.

A questão que se faz é a seguinte: com base nos resultados apresentados por Black e West (1966) seria seguro afirmar que a irrigação parcial de somente 10 % do sistema radicular garantirá a viabilidade econômica de um projeto de irrigação por

gotejamento linha simples em pomares de laranja ou café no Brasil ? Na opinião do autor deste texto “*não seria seguro fazer tal afirmação*”.

O experimento de Black e West forneceu ao autor um aprendizado científico importante no que diz respeito à leitura cuidadosa que um pesquisador deve ter ao analisar um artigo científico. A interpretação dos dados de um experimento é influenciada pela maneira como o pesquisador apresenta os resultados obtidos. Em algumas situações o entusiasmo pelo assunto abordado poderá induzir o pesquisador a emitir uma opinião pessoal intuitiva, não comprovada estatisticamente pelos resultados obtidos.

O autor tem recomendado a seus orientados, que sempre disponibilizem nos anexos de suas teses, todos os dados básicos coletados nos experimentos conduzidos, para que os mesmos possam ser analisados sob outros enfoques, sem nenhum tipo de influência dos autores do trabalho, pois é observado com certa frequência, que pesquisadores jovens em formação acadêmica são mais sensíveis a este tipo de problema, pelo fato de se preocuparem em validar as hipóteses iniciais de seus trabalhos, visando demonstrarem mérito científico nas dissertações e teses a serem defendidas perante a banca examinadora.

A maior parte dos trabalhos publicados na área de adaptação do sistema radicular à irrigação por gotejamento, enfoca plantas jovens conduzidas em condição de recipientes individualizados (casa de vegetação), pois o trabalho com plantas adultas é extremamente difícil de ser conduzido em campo. A dificuldade de se conduzir esse tipo de experimento em plantas adultas no campo só foi parcialmente superada com a utilização de medidores de fluxo de seiva. Um dos primeiros trabalhos com base nessa nova metodologia foi apresentado por Green e Clothier (1995) na cultura de kiwi.

A aplicação de sensores de fluxo de seiva, além da dificuldade técnica de uso dessa metodologia em troncos irregulares de grande diâmetro (plantas adultas de citros), apresenta um outro inconveniente: elevado custo dos equipamentos.

Para superar essa dificuldade metodológica em plantas adultas, o autor idealizou o lisímetro poroso (Coelho¹ 1998) que foi aplicado pela primeira vez a campo por Machado (2000), baseado na utilização de cápsulas de cerâmica porosas com pressão de borbulhamento de 2 mca, diâmetro externo de 5 cm e altura de 22 cm. Com base nessas

¹ - Comunicação Pessoal. Prof. Rubens Duarte Coelho Departamento de Eng. Rural ESALQ/USP.

cápsulas porosas construíram-se os emissores porosos de carga constante, (Figura 42b), cuja função foi fornecer água para as plantas de maneira controlada, a partir de um reservatório de água, operando como ‘*Tubo de Mariote*’, para que fosse possível controlar o potencial mátrico da água no solo ao redor da cápsula porosa enterrada.

Figura 42b. Esquema de funcionamento do lisímetro poroso.

Conhecendo-se o volume de solo molhado (Figura 43) a partir de uma única cápsula enterrada no solo, é possível associar em série um número variável de cápsulas porosas, de tal modo a definir uma determinada área molhada no solo, compatível com o experimento a ser conduzido no campo. Promovendo-se o isolamento sub-copa da planta com cobertura plástica (Figura 44) e isolando-se o fluxo de água lateral no solo (abertura de trincheira e enterrio de lona plástica no perímetro da planta) pode-se controlar a entrada de água no sistema radicular quase que exclusivamente pelo lisímetro poroso. Esse procedimento permite quantificar de maneira inovadora, o volume de água acumulado pela transpiração da planta ao longo do ciclo da cultura. Uma certa oscilação do tamanho do bulbo molhado no solo (demanda evapotranspirativa variável) poderá induzir estimativas diárias defasadas de consumo hídrico, cujo erro é minimizado à medida que se aumenta o período acumulado em dias de consumo.

Figura 43. Bulbo molhado no solo definido por 1 cápsula do lisímetro poroso.

Consulte : www.tensiometro.com.br

Figura 44. Disposição dos tubos de controle do lisímetro poroso (PVC azul) e isolamento sub-copa de uma planta adulta no campo (plástico transparente).

O experimento da dissertação de mestrado do orientado Carmello Crisafulli Machado foi instalado no ano de 1999 na área experimental de irrigação, vinculada ao

Departamento de Engenharia Rural na Fazenda Areão, pertencente à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, no município de Piracicaba, SP, em um solo classificado como Terra Roxa Estruturada. O pomar de lima ácida Tahiti (porta-enxerto limão cravo) foi implantado inicialmente na condição de sequeiro no ano de 1993, no espaçamento de 8m x 7m, no final do ano de 1995, instalou-se um sistema de irrigação localizada, utilizando microaspersores DAN 2001, com vazão de 22 l/h e bailarina preta.

Entre os anos de 1995 e 1997, o sistema de irrigação do pomar era operado esporadicamente, com finalidades didáticas não se conduzindo a irrigação de maneira contínua e sem fertirrigação, caracterizando o típico desenvolvimento de um pomar em condição de sequeiro. O manejo agrônômico da área empregava a seguinte estratégia: nas entrelinhas do pomar o solo era mantido com vegetação natural, com controle mecânico quando necessário, e nas saias das plantas, o controle da vegetação se fazia com herbicidas ou capina manual. As adubações do pomar eram realizadas no período chuvoso e parceladas em três aplicações, totalizando 250g de uréia e 170g de KCl (cloreto de potássio) por planta do pomar. As aplicações se faziam manualmente, distribuindo-se os adubos na área de projeção da copa da planta.

A escolha das duas plantas monitoradas nesta dissertação de mestrado foi baseada no trabalho de Coelho Filho (1998), que estudou a variabilidade espacial do consumo hídrico de todas as plantas desse pomar de lima ácida Tahiti'. O pomar foi classificado em 4 regiões diferenciadas de consumo hídrico, sendo que as duas plantas escolhidas, com diâmetro de copa de 5,6m, pertenciam à mesma zona de consumo com baixa variabilidade espacial entre elas (kc entre 0,76 a 0,96).

Na planta 1 deste experimento foi instalado na segunda quinzena de agosto de 1999, um lisímetro poroso composto de 64 cápsulas porosas associadas em série e na planta 2 um outro lisímetro poroso com 32 cápsulas adequadamente espalhadas sob a projeção da copa dessas plantas. Para o potencial matricial estabelecido de 10 kPa (tubo de 'mariote') o diâmetro molhada no solo ao redor de cada cápsula foi de 30 cm. Com base nesse valor, calculou-se a área molhada total para cada lisímetro poroso instalado,

com base na área total do espaçamento entre plantas do pomar (PW) e com base na área de projeção da copa (P), cujos valores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de PW e P em porcentagem e a área molhada pelo sistema proposto.

	PW (%)	P (%)	Área Molhada (m ²)
Planta 1	10,80	24,40	6,08
Planta 2	5,38	12,25	3,02

Observa-se que os valores de área molhada da projeção da copa de 24,40 e 12,25 % são valores compatíveis com linha dupla e simples de gotejamento respectivamente para a cultura de citros no espaçamento considerado. Nota-se que esses valores de áreas molhadas da projeção da copa irão diminuir com o crescimento do dossel das plantas irrigadas ao longo dos anos até atingir um certo valor mínimo, quando então serão necessárias podas por questões fitossanitárias e de tráfego na área.

Os volumes de água consumidos pelos lisímetros porosos instalados sob a copa das plantas foram confrontados com a necessidade de irrigação, calculada com base climatológica: **a)** equação de Penman-Monteith, **b)** coeficiente Kc estimado para pomares de lima ácida Tahiti na município de Limeira - SP por Vieira e Ribeiro em 1993 e **c)** coeficiente de irrigação localizada Kr (Equação de Keller). Na Tabela 4 são apresentados os volumes acumulados de irrigação ao longo de dois períodos analisados: seco e chuvoso.

Os resultados da Tabela 4 mostram que a planta 1, no primeiro seco, teve 99,25% de sua necessidade hídrica suprida, enquanto a planta 2, apenas 45,85%. No período chuvoso analisado, a planta 1 absorveu 81,99% do volume total de irrigação estimado para o período, enquanto que a planta 2 somente 50,66%.

A equação de Penman-Monteith, no período chuvoso apresentou resultados inconsistentes, o que não seria muito adequado a comparação dos resultados nessa época do ano.

Na Figura 45 é apresentado um gráfico comparativo do consumo hídrico entre as metodologias utilizadas, somente para dados coletados em períodos secos, tendo-se estabelecido como referência (100%) o volume de água consumido calculado com base climatológica.

Tabela 4. Volumes acumulados da água absorvida pelas plantas 1 e 2 e estimado pela equação de Penman-Monteith.

		Volume Absorvido Lisímetro Poroso (litros)		Volume Calculado Climatológica (litros)
Período		Planta 1	Planta 2	
26/8 a 6/10	seco	1108,13	511,98	1116,48
7/10 a 2/12	chuvoso	1492,08	922,07	1819,85

Observa-se a influência marcante da porcentagem de área molhada no consumo hídrico total, não de maneira linear e com uma certa dinâmica de alteração ao longo do tempo. No início do experimento a formação dos bulbos molhados no solo fez com que ocorresse uma maior demanda hídrica no lisímetro poroso, que caiu posteriormente, estabilizando-se e voltando a subir lentamente, sendo que a planta 2 (menor área irrigada) tendeu a diminuir a diferença de consumo em relação à planta 1.

Na Figura 46 é apresentada a comparação entre as duas plantas analisadas, sendo a planta 1 estabelecida como a referência 100%. Observa-se que embora a área molhada da planta 2 seja 50 % da área molhada da planta 1, o consumo relativo ficou acima de 50%, sendo que no final do período analisado, a planta 2 já consumia aproximadamente 70 % do volume da planta 1, evidenciando a adaptação radicular lenta, porém progressiva.

Nessa dissertação de mestrado é proposta a criação de um novo coeficiente para correção do cálculo da lâmina de irrigação via climatológica: K_{ar} (*coeficiente de adaptação radicular à irrigação localizada*), pois se a porcentagem de área molhada no solo é menor que 50% da projeção da copa, nos primeiros anos é necessário corrigir o volume de irrigação do cálculo climatológico, pois haverá um excesso de aplicação de água que poderá lixiviar ions fertilizantes para fora do bulbo molhado no solo, ocasionando redução da aeração do solo e a acidificação do bulbo molhado pela perda de bases em profundidade no perfil.

Figura 45. Análise comparativa entre o volume de irrigação calculado via climatológica (referência 100%) e o volume percentual absorvido pelas plantas 1 e 2.

Figura 46. Análise comparativa entre o volume de irrigação absorvido pela planta 1 (referência 100%) e o volume percentual absorvido pela planta 2.

Algumas lições apreendidas na condução desse experimento foram: **1)** A adaptação radicular para porcentagens de área molhada no solo de aproximadamente 12 % da projeção da copa não é tão rápida quanto se imaginava inicialmente, **2)** Existe uma necessidade imediata de se estudar a questão da fertirrigação nesse tipo de experimento, pois fica uma dúvida a respeito do potencial de uso dessa ferramenta na solução do problema, **3)** O trabalho de campo para monitoramento de plantas adultas é exaustivo nesse tipo de experimento, principalmente nos períodos chuvosos, **4)** Existe a necessidade de se trabalhar com um número maior de repetições e **5)** O experimento de adaptação radicular precisa ser conduzido sob uma perspectiva de longo prazo.

Após um período de descanso, reflexão e planejamento, o novo experimento da tese de doutorado do orientado Carmello Crisafulli Machado foi implementado a campo. A maior ênfase desse novo trabalho foi dada para a questão da fertirrigação na adaptação do sistema radicular sob condição de área molhada no solo correspondente a linha simples de gotejamento. O experimento idealizado no doutorado permitiu explorar uma quantidade de informação bem maior do que no mestrado, trabalhando-se com apenas duas plantas monitoradas no pomar e aumentando-se o número de repetições dos tratamentos.

O experimento foi baseado no monitoramento de 2 plantas no campo, sendo cada uma delas considerada um bloco experimental e isoladas das precipitações naturais através de uma cobertura plástica sub-copa. A projeção da copa de cada planta foi dividida em nove setores, sendo que em cada um deles foi instalado um conjunto lisimétrico composto por 8 emissores porosos associados em série e 1 tubo reservatório de controle. Dos nove conjuntos lisimétricos, três foram destinados ao fornecimento da solução do Tratamento 1 (água pura - testemunha), outros três a solução do Tratamento 2 (N, P e K) fertirrigação nível básico e os três restantes ao fornecimento da solução do tratamento 3 (N, P, K, Ca, Zn ,B e S) fertirrigação nível avançado, obtendo assim, três repetições por tratamento em cada bloco experimental (Figuras 47 e 48).

Figura 47. Esquema de instalação do bloco experimental na área de projeção da copa da planta com os nove setores monitorados.

Figura 48. Vista geral dos emissores porosos instalados em série na parcela experimental.

Na projeção do dossel de cada planta, havia um total de 72 emissores porosos instalados. A área molhada de cada emissor poroso foi controlada pela carga hidráulica do

tubo de Mariote, o que proporcionou uma área irrigada unitária de aproximadamente 0,038 m², resultando numa área total molhada por planta de 2,74m². Sendo a área de projeção das copas das plantas de aproximadamente 19,63m², obtiveram-se valores de porcentagem de área molhada no solo de 5 % com base na área total do espaçamento de plantio, o que significa 13 % de área molhada na projeção da copa. É conveniente salientar que o emissor poroso desse novo experimento apresentava o dobro de altura do emissor utilizado no experimento de mestrado (mesmo diâmetro).

Observa-se que neste experimento não se trabalhou com variação de área molhada como no ensaio anterior da dissertação de mestrado, pois já havia sido detectado que quanto maior a área molhada no solo maior a absorção de água observada. Atribuiu-se às plantas no experimento de doutorado a condição mais crítica de área molhada no solo: linha simples de gotejo; nessa situação procurou-se estudar o efeito da fertirrigação em promover uma maior absorção de água dentro do bulbo molhado no solo.

Antes de dar início à aplicação das soluções fertilizantes no lisímetros porosos idealizados, promoveu-se um período de aferição dos 18 conjuntos lisimétricos instalados nas duas plantas adultas entre os dias 19 a 29 de junho de 2002, sendo que neste período todos tratamentos receberam água sem fertilizantes. Os resultados iniciais de consumo de água via lisímetro poroso, evidenciou uma diferença de consumo: a planta 1 sempre apresentava um menor consumo hídrico quando comparada à planta 2. Na Figura 49 observa-se a diferença de volume consumido na fase de aferição.

A escolha das plantas na área foi efetuada com bastante cuidado, levando-se em consideração o trabalho de Coelho Filho (1998) e a aparência visual das plantas no pomar, de tal modo que as duas plantas selecionadas, apresentassem o mesmo porte, vigor e arquitetura de copa. Uma das hipóteses mais forte que justifica essa diferença de consumo hídrico observado, é que a planta 1 apresentava um sistema radicular mais desenvolvido em profundidade no solo, de tal modo que o lisímetro poroso apresentava um menor consumo de solução, pois parte da absorção não estava sendo feita via lisímetro e sim via raízes profundas, fora da zona de abrangência das cápsulas porosas, o que não é possível de se controlar em uma planta adulta no campo.

Figura 49. Consumo total de água por planta do pomar adulto no período de aferição dos lisímetros e a evapotranspiração de referência (ETo) estimados pelo método de Penman-Monteith (mm dia⁻¹) no período analisado.

Outro detalhe importante é que o consumo de água não foi uniforme nos nove setores monitorados de cada planta durante o período de aferição. Para se ter uma idéia dos valores de consumo de cada setor na planta 1, no dia 29 de Junho de 2002, foram observados os seguintes consumos em ordem crescente: 0,82 ; 1,25; 1,29; 2,48; 2,61; 2,68; 3,01; 3,24 e 3,71 litros / dia. A disposição espacial dos tratamentos e suas repetições teve que ser revista, de modo tal que a soma dos valores de água pura consumida nas 3 repetições de cada tratamento fossem inicialmente equivalentes para os 3 tratamentos analisados, o que fez com que as repetições de cada tratamento não pudessem ficar agrupadas conforme o esquema apresentado da Figura 46.

Após a finalização do período de aferição dos equipamentos no campo, o fornecimento de água aos lisímetros porosos foi interrompido durante todo o mês de julho, de forma a simular a realidade de campo observada nos pomares irrigados do Estado de São Paulo, onde se impõe um certo nível de stress hídrico na área, para que o processo de florescimento das plantas cítricas seja mais intenso e uniforme com a volta da irrigação posteriormente.

Nas Figuras 50 e 51 estão apresentados os valores acumulados de consumo de solução dos lisímetros porosos para os três tratamentos em estudo para as duas plantas, respectivamente, onde podemos observar um maior consumo para o tratamento T3 (N, P, K, Ca, Zn, B e S) nas duas plantas. Sendo este mais evidente na planta 2 (Figura 49).

Os consumos de solução monitorados na planta 1 não apresentaram efeitos significativos a 0,05 de probabilidade pelo teste F (Tabela 5). Os resultados da análise multivariada detectou efeito significativo dos tratamentos apenas na planta 2 (Bloco 2), estes foram verificados a partir do 92º dia após a implantação do experimento (Tabela 5). A comparação de médias para os consumos de solução da planta 2 foi realizada pelo teste de Tukey (Gomes, 2000), e os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Figura 50. Consumo de solução acumulado por tratamento em litros para a planta 1 no período analisado.

Figura 51. Consumo de solução acumulado por tratamento em litros para a planta 2 no período analisado.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para consumo acumulado de solução nos diferentes tratamentos, para cada intervalo de tempo ao longo do período experimental.

Causa da variação	Dias Após Implantação (DAÍ)				
	31	61	92	122	145
	F				
	Planta 1				
Tratamentos	0,20	0,76	0,11	0,28	0,62
	Planta 2				
Tratamentos	4,93	14,07	25,02*	20,30*	11,15*

* Significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F.

O volume total de solução fertilizante consumido por cada tratamento foi aplicado em três dos nove conjuntos lisimétricos instalados por planta, ou seja, em apenas um terço da área molhada total aplicada pelos sistemas lisimétricos, supondo que as soluções de cada tratamento fossem aplicadas na área total irrigada pelos lisímetros, obtém-se o valor estimado de consumo total em litros por planta no período analisado, em seguida foi dividido o valor total de consumo pelo número de dias do período (120 dias), determinou-se assim o valor médio de consumo diário por tratamento em litros. Dividiu-se o valor de consumo diário pela área de projeção da copa da planta, e determinou-se a

evapotranspiração da cultura em mm dia-1, esses resultados são apresentados na Tabela 7. A inclusão dos elementos Ca, Zn, B, e S na solução de N, P e K (Tratamento T3) promoveu aumento na absorção de água e nutrientes de 48% quando comparada à testemunha e a aplicação de apenas os elementos N, P e K (Tratamento T2) foi superior a testemunha em 9%. O consumo de solução do tratamento T3 (N, P, K, Ca, Zn, B, e S) foi superior ao tratamento T2 (N, P e K) em 35%.

Tabela 6. Consumo acumulado médio de solução (L Tratamento-1) para a planta 2 (Bloco 2), para cada tratamento, aos 92, 122 e 145 dias após a implantação (DAI) do experimento, e resumo da análise estatística.

Tratamentos	Dias Após Implantação (DAI)		
	92	122	145
	Litros/Tratamento		
T1 (Testemunha)	280 B	374 B	445 b
T2 (N, P e K)	333 B	429 B	487 ab
T3 (N, P, K, Ca, Zn, B e S)	394 A	555 A	661 a

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Tabela 7. Estimativa do consumo total e diário de solução fertilizante para os três tratamentos na planta 2, evapotranspiração da cultura (mm dia-1) e porcentagem de incremento de consumo dos tratamentos em relação ao volume estimado de consumo de água (Tratamento T1).

	Consumo Médio L trat.- 1 período-1	Consumo Total L planta-1 período-1	Consumo diário L tratamento-1 dia-1	ETC mm dia- 1	% de incremento
T1	445	1335,0	11,13	0,57	100,00
T2	487	1461,0	12,18	0,62	109,44
T3	661	1983,0	16,53	0,84	148,54

A metodologia do lisímetro poroso foi adequada para a medição do consumo hídrico da planta 2, aonde o sistema radicular encontrava-se ativo e restrito ao volume de solo umedecida pelo equipamento desenvolvido. Na planta 1 os resultados obtidos da planta 2 não se confirmaram, provavelmente pelo fato do sistema radicular dessa planta estar mais profundo e um tanto fora da zona de abrangência do equipamento idealizado. Durante o processo de aferição dos lisímetros antes do início do experimento, esse problema já havia sido detectado e naquele momento deveria ter sido feito a opção de

mudança dos equipamentos para uma outra planta no pomar, o que não foi feito pela falta de experiência dos autores em lidar com esse tipo de problema.

Embora a hipótese inicial do trabalho tenha sido confirmada apenas na planta 2 monitorada, abre-se a perspectiva de que a fertirrigação apresente realmente o potencial de acelerar de maneira efetiva a velocidade de adaptação do sistema radicular à irrigação por gotejamento em condições tropicais para porcentagens de área molhada na projeção da copa de aproximadamente 13 % (linha simples de gotejo).

O autor já idealizou um novo projeto de pesquisa que será submetido no futuro a aprovação pela FAPESP, visando dar continuidade a essa linha de pesquisa de uma maneira mais abrangente e controlada. O módulo experimental será instalado e conduzido na condição de ambiente protegido no Departamento de Engenharia Rural da ESALQ / USP. O sistema radicular das plantas cítricas ficará confinado em recipientes compartimentados, que poderão ser irrigados de maneira independente, atribuindo-se diferentes valores de área molhada no solo de 7, 12, 25, 50, 75 e 100 % (Figuras 51 e 52). Serão estudadas diferentes combinações de copa e porta enxertos utilizados na citricultura do Estado de São Paulo (Tabela 7).

Os objetivos do novo projeto são: 1) determinação da resistência à seca dos diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura paulista, 2) determinação do limite mínimo de área molhada no solo na irrigação por gotejamento em diferentes combinações copa x porta-enxerto sob condição de fertirrigação e 3) determinação do nível de pegamento da florada, em função da porcentagem de área molhada do sistema radicular.

A determinação da resistência à seca dos outros porta-enxertos alternativos ao limão-cravo, norteará quais combinações porta-enxertos e copas devam ser irrigadas. Na segunda e terceira etapas será determinada a área molhada ideal para cada combinação, sendo esta informação de fundamental importância para a adoção da tecnologia da irrigação por gotejamento em larga escala na citricultura nacional. A integração destas informações permitirá aos citricultores irrigantes tomarem suas decisões, embasados tecnicamente, aumentando a alocação racional de recursos financeiros e reduzindo os riscos econômicos envolvidos na atividade. O delineamento experimental será em blocos casualizados com 16 tratamentos (Tabela 8) e quatro repetições, com 2 plantas por parcela de acordo com as

Figuras 52 e 53.

Tabela 8. Lista de Tratamentos: combinações copa x porta enxerto

Tratamento	Porta - enxerto	Copa	Área Molhada (%)
1	Tangerina Cleópatra	Pêra	25 - 50
2	Tangerina Cleópatra	Valência	25 - 50
3	Tangerina Cleópatra	Hamlin	25 - 50
4	Tangerina Cleópatra	Pêra	75 - 100
5	Tangerina Cleópatra	Valência	75 - 100
6	Tangerina Cleópatra	Hamlin	75 - 100
7	Citrumelo Swingle	Valência	25 - 50
8	Citrumelo Swingle	Hamlin	25 - 50
9	Citrumelo Swingle	Valência	75 - 100
10	Citrumelo Swingle	Hamlin	75 - 100
11	Tangerina Sunki	Pêra	25 - 50
12	Tangerina Sunki	Valência	25 - 50
13	Tangerina Sunki	Hamlin	25 - 50
14	Tangerina Sunki	Pêra	75 - 100
15	Tangerina Sunki	Valência	75 - 100
16	Tangerina Sunki	Hamlin	75 - 100

Para diminuir o tamanho da área experimental, os tratamentos com diferentes porcentagens de área molhada no solo (AM), serão defasados no tempo: Fases 1, 2 e 3 .

Na Fase 1 serão conduzidos os Tratamentos com 7 e 100 % de área molhada;

Na Fase 2 serão conduzidos os Tratamentos com 13 e 75 % de área molhada;

Na Fase 3 serão conduzidos os Tratamentos com 25 e 50 % de área molhada.

A duração das fases ainda não é bem certa, pois dependerá das análises parciais dos resultados a serem obtidos durante o decorrer do experimento. Esse experimento será conduzido com base em medidas fisiológicas das plantas: potencial de água nas folhas, condutância estomatal e taxa de fotossíntese (IRGA) e também com base em medidas de solo: potencial mátrico e peso dos vasos.

Figura 52. Esquema e dimensões do módulo experimental do futuro experimento.

Figura 53. Esquema detalhado do módulo experimental em irrigação por gotejamento.

4.2. Monitoramento e Controle de Entupimento

Um dos aspectos mais importantes na irrigação por gotejamento é a uniformidade de distribuição de água do sistema. Vários fatores podem comprometer esta uniformidade: o processo de fabricação, o dimensionamento hidráulico do sistema, a instalação do equipamento no campo e o entupimento dos emissores com o passar do tempo.

Na irrigação por gotejamento a qualidade da água deve ser observada, pois o entupimento de emissores é um problema grave associado ao uso desse método no campo, sendo a limpeza ou substituição dos emissores entupidos onerosa.

Atualmente há diversos tipos de gotejadores disponíveis no mercado nacional, apresentando diferentes sensibilidades ao entupimento (Ravina et al., 1992; Resende, 1999 e Pizarro, 1996). Segundo Ravina et al. (1992) os gotejadores apresentam vulnerabilidade variável ao problema do entupimento, entretanto, os modelos autocompensantes ou os que possibilitam maior turbilhonamento da água no seu interior apresentam-se menos suscetíveis ao problema.

Diversos trabalhos têm apontado para o fato de apenas a filtragem da água ser insuficiente para prevenir o entupimento de emissores (Nakayama & Bucks, 1986; Gilbert et al., 1986; Gilbert et al., 1979). De modo geral, o elenco de medidas deve incluir o tratamento químico da água, sendo a acidificação e a cloração os tratamentos mais utilizados para controlar o entupimento de origem biológica.

Segundo Nakayama & Bucks (1991) são diversas as causas que podem provocar o entupimento parcial ou completo dos emissores e tubulações, prejudicando o fluxo de água no sistema. As principais causas são: areia, silte, argilas, fitoplâncton, algas, zooplâncton, larvas e ovos de lesmas, bactérias, plásticos (oriundos do corte de tubulações durante instalação e manutenção do sistema), resíduos lubrificantes (oriundos por falta de manutenção adequada no conjunto moto-bomba), ação de bactérias (oxidando ferro, manganês e enxofre) e precipitados (carbonato, fosfato, hidróxidos) por uso de fertilizantes que aumentam a alcalinidade da água de irrigação.

Segundo Pizarro (1990), ainda não se dispõe de um método prático e eficiente para avaliar com segurança o risco de obstruções ocasionado pelo uso de uma determinada água de irrigação, isto porque alguns fatores que interferem são variáveis, como o caso da temperatura, que afeta a formação de precipitados e o desenvolvimento de microorganismos, enquanto, outros dependem de produtos adicionados, principalmente fertilizantes. No entanto, é interessante dispor de alguma orientação do tipo quantitativo. Bucks et al. (1979) propuseram uma classificação de qualidade de água para determinar o risco de entupimento do gotejador, apresentada na Tabela 9. Para as condições de qualidade

de água que indicarem grau de restrições de ligeira a severa, Ayers e Westcot (1985) recomendam submeter a água a um programa de ensaios de laboratório para determinar os custos e as possíveis soluções.

Tabela 9. Sugestão de classificação da qualidade de água relacionada a seu potencial de entupimento em gotejadores

	Problemas	Unidade s	Grau de restrição de uso		
			Nenhum a	Ligeira moderada	Severa
Físico	Sólidos em suspensão	mg L ⁻¹	<50	50 -100	> 100
	pH		< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
	Sólidos solúveis	mg L ⁻¹	< 500	500 – 2.000	> 2.000
Químico	Manganês	mg L ⁻¹	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
	Ferro	mg L ⁻¹	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
	Ácido sulfídrico	mg L ⁻¹	< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0
Biológico	Populações Bacterianas	Nº máx /ml	<10.000	10.000 – 50.000	>50.000

Observa-se nos projetos de irrigação localizada no Brasil, uma incidência elevada de problemas operacionais relacionados ao entupimento de emissores no campo. Os solos ricos em óxidos de ferro de diversas regiões do Brasil, contribuem para uma alta concentração de ferro na água de irrigação superficial, normalmente acima de 2 ppm, o que tornaria impossível o uso do sistema de gotejamento em vários projetos já implantados e em operação com base na Tabela 9.

Atualmente essa tem sido a linha de pesquisa de maior dedicação do autor, pois considera um assunto de extrema importância para a difusão e consolidação da irrigação por gotejamento no Brasil, uma vez que a extrapolação da experiência internacional para as condições nacionais, tem-se mostrado limitada na solução desse problema em campo.

A Tabela 9 apresentada por Bucks et al. (1979) deve ser analisada com precaução. Os valores sugeridos não são suportados por trabalhos científicos na literatura, aparentemente a classificação proposta se baseia na experiência de campo dos referidos autores. Com relação ao nível de ferro na água, observam-se no Brasil alguns casos interessantes: projetos de irrigação com teores de ferro na água em torno de 0,5 e 0,8 ppm

com problemas sérios de entupimento, enquanto que em outros casos, níveis de ferro na água acima de 2 ppm sem apresentar distúrbios significativos de vazão. No trabalho original dos autores a Tabela 9 é apresentada com o título de “Sugestão de Classificação”, sendo que posteriormente à medida que a tabela foi sendo divulgada na literatura, o termo “Sugestão” foi abolido do título original, dando idéia de que é uma classificação técnica já comprovada universalmente.

Nessa área específica do conhecimento o autor já aprovou e implementou 3 Projetos FAPESP de auxílio a pesquisa, tendo resultado na orientação de 3 dissertações de mestrado e 4 teses de doutorado (algumas em ainda andamento). Os projetos aprovados foram:

PROJETO FAPESP 3 : *Susceptibilidade de gotejadores ao processo de entupimento de origem biológica - Número do Projeto : 98/13599 - 6. Descrição: Coordenador do Projeto - Prof. Rubens D Coelho, Valor liberado R\$ 12.000,00. Situação: Concluído; Natureza: Pesquisa. Alunos envolvidos: Mestrado acadêmico (1). Integrantes: Rubens Duarte Coelho (Responsável).*

PROJETO FAPESP 8 : *Potencial de intrusão radicular em gotejadores na irrigação localizada subsuperficial na cultura de cana de açúcar. Número do Projeto 02/10267-4. Coordenador do Projeto : Prof. Rubens D Coelho - Valor Liberado R\$ 41.000,00. Situação: Concluído; Natureza: Pesquisa. Alunos envolvidos: Doutorado (1). Integrantes: Rubens Duarte Coelho (Responsável).*

PROJETO FAPESP 10 : *Distúrbios de vazão em gotejadores na irrigação localizada de citros no Estado de São Paulo - Número do Projeto 2003/12863-1. Valor Aprovado R\$ 198.000,00 (Setembro 2004). Situação: Em andamento; Natureza: Pesquisa. Alunos envolvidos: Graduação (1); Doutorado (1). Integrantes: Rubens Duarte Coelho (Responsável); Marconi Batista Teixeira; Rallini Ferreira de Mélo.*

As orientações já concluídas pelo autor na área de entupimento de gotejadores foram:

RESENDE, Ronaldo Souza. Susceptibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação. 2000. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Rubens Duarte Coelho.

FARIA, Luis Fernando. Variação de vazão de gotejadores enterrados na irrigação de citros e café. 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Rubens Duarte Coelho.

RESENDE, Ronaldo Souza. Intrusão radicular em irrigação por gotejamento enterrado na cultura da cana de açúcar e feijão. 2004. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Rubens Duarte Coelho.

TEIXEIRA, Marconi Batista. Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes (irrigação localizada). Ano 2006. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Rubens Duarte Coelho.

4.2.1. Entupimento de Emissores: Causas Biológicas

Os primeiros trabalhos desenvolvidos pelo autor nessa área específica de entupimento de gotejadores, tiveram a participação efetiva do seu orientado de mestrado o Eng. Ronaldo Souza Resende entre os anos de 1998 a 2000, o qual trabalha desde 2003 como pesquisador científico da EMBRAPA, vinculado ao Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros - CPATC, Aracaju- SE.

Não existem normas técnicas sobre ensaios de resistência à entupimento por emissores do tipo gotejador. A principal razão para isso foi um problema jurídico que o laboratório CIT Center for Irrigation Technology (Fresno - CA), teve com a realização de um ensaio laboratorial intitulado “Emitter plugging test results comparing Drip In PC (0.53gph) vs. Netafim Ram (0.63 and 0.42 gph)”. Esse ensaio foi solicitado pela empresa americana *Drip In Irrigation Company*, que utilizou os resultados obtidos no ensaio idealizado para fins comerciais, aonde o produto mostrava-se superior em desempenho ao emissor concorrente RAM (Netafim) sob determinada situação de laboratório não padronizada. Face ao problema jurídico enfrentado nesse primeiro ensaio realizado, o laboratório CIT estabeleceu como norma interna não mais efetuar esse tipo de teste, o que impossibilitou o desenvolvimento das normas técnicas nessa área .

Realmente a imagem comercial de um produto do tipo gotejador, poderá ficar comprometida com a realização de um determinado tipo de ensaio hidráulico não padronizado em norma técnica. Face ao exposto, o autor em comum acordo com seu orientado, idealizou um experimento de entupimento com base em causas biológicas para sua tese de mestrado, que comparasse somente emissores de um mesmo fabricante para evitar qualquer tipo de especulação comercial com base nos resultados que seriam obtidos. Foram avaliados 5 diferentes famílias de gotejadores, da marca comercial Netafim, comumente utilizados em sistemas implantados no Brasil, operando na segunda maior vazão especificada pelo fabricante. Foram eles: Ram 17L (RAM), Streamline 100 (SL), Tiran 17 (TR), Typhoon 20 (TY) e Dripline 2000 (DL). O modelo Dripline 2000 recebe, em alguns países, a denominação Typhoon 32, sendo ambos equivalentes. Todos

os emissores utilizados apresentaram coeficiente de uniformidade de fabricação - CV < 5%. Os dados de cada modelo de emissor utilizado encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10. Características operacionais dos gotejadores estudados.

Cód.	Modelo	Q(L/h)	H(kPa)	Orif.(mm)	Parede (mm)	Diâm. (mm)
SL100	STREAMLINE	1,60	100	0,53	0,25	16,0
RAM 17	RAM 17L	2,30	100	1,04	0,62	14,6
DL 2000	DR1PLINE 2000	2,00	100		0,90	15,2
TR16	TIRAN 17	2,00	100	1,38	1,20	14,6
TY20	TYPHOON 20	1,75	100	0,71	0,50	15,4

Para a condução do ensaio, construiu-se uma bancada em madeira, com dimensões de 6 m de comprimento x 1,3 m de largura e 1,45 m de altura, onde foram instaladas as linhas de gotejadores (Figura 54).

Figura 54. Primeira bancada de ensaio de entupimento de gotejadores, utilizada no Laboratório de Irrigação Pressurizada da ESALQ.

A parcela experimental consistiu de uma linha lateral, com gotejadores espaçados a 0,11 m, totalizando um comprimento de 6m (50 emissores por linha). Cada linha de gotejador foi composta por apenas um modelo. Foi adotado um delineamento estatístico em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo tempo de operação a sub-parcela, com cinco tratamentos (modelos de gotejadores) e quatro repetições e utilização

dos testes “F” para a análise de variância e Tuckey, no nível de 5% de probabilidade, para comparação de médias.

Na primeira fase do ensaio, conduzida com duração de 4 meses, e totalizando 2160 horas de funcionamento do sistema, acompanhou-se o processo de entupimento, em função dos diferentes tipos de emissores, com base em um funcionamento de 8 ciclos diários, com duração de duas horas cada e intervalos de descanso de 1 hora, totalizando 16 horas por dia.

A água utilizada no ensaio era proveniente de um lago utilizado na irrigação por gotejamento, no município de Sumaré - SP. Essa água foi escolhida por uma característica marcante: era uma água cristalina de represa, com baixo valor de sólidos em suspensão, que estava ocasionando problemas sérios de entupimentos em gotejadores na irrigação de tomate dos agricultores irrigantes Fernando Aparecido de Andrade e João Roberto do Amaral Júnior, em uma área piloto de 5 ha de gotejamento com emissor Typhoon (Netafim).

Após a contagem da população bacteriana existente, foram isolados 7 diferentes gêneros não identificados de bactérias e multiplicados em meio de cultivo. A cada dois dias, era efetuada uma contagem populacional da água coletada nos tanques da bancada de ensaio. A determinação da população bacteriana foi efetuada através do método contagem em placa de petri (HPC), utilizando agár (triptona, glucose, extrato de levedura e agár) como meio de cultura e tempo para contagem de 48 horas. Quando o nível populacional decrescia abaixo do mínimo pré-estabelecido no meio de cultura, um conjunto de bactérias isoladas, era inoculado. Dessa forma, procurou-se manter a população bacteriana no reservatório do ensaio acima de 5×10^4 unidades formadoras de colônia (UFC), por ml de água (risco alto de entupimento biológico). Observa-se que na água original da represa, a contagem bacteriana resultava valores próximos de $6,8 \times 10^3$ UFC, sendo classificada no limite superior de baixo risco de entupimento, tendo sido necessário incrementar a contagem bacteriana para níveis mais críticos, visando atingir o objetivo do experimento.

Mensalmente foram efetuadas coletas de água, à saída dos gotejadores, para fins de análise de pH, condutividade elétrica, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} ,

NO_3^- e sólidos suspensos. Nenhum desses parâmetros avaliados apresentava risco de entupimento de acordo com as informações disponíveis na literatura.

As medições individuais da vazão dos gotejadores foram efetuadas quinzenalmente, correspondendo a intervalos de 240 horas de funcionamento do sistema, totalizando dez medições no período do ensaio, de acordo com os valores apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Vazão média, expresso em L/h e como percentual da vazão nominal (%), dos gotejadores avaliados, no período do ensaio.

Horas/Mod.	SL	RAM	DL	TR	TY
0	1,60(100)	2,00 (100)	2,00(100)	2,00(100)	1,75 (100)
240	1,59 (99)	2,02 (101)	1,86 (93)	1,84 (92)	1,64 (94)
480	1,55 (97)	2,00 (100)	1,75 (87)	1,84 (92)	1,65 (94)
720	1,51 (94)	1,92 (96)	1,70 (85)	1,72 (86)	1,56 (89)
960	1,61 (100)	1,91 (95)	1,74 (87)	1,63 (81)	1,59 (91)
1200	1,57 (98)	1,74 (87)	1,68 (84)	1,56 (78)	1,55 (88)
1440	1,61 (100)	1,81 (90)	1,65 (82)	1,49 (74)	1,57 (90)
1680	1,62(101)	1,82 (91)	1,76 (88)	1,45 (72)	1,55 (88)
1920	1,66(103)	1,80 (90)	1,70 (85)	1,36 (68)	1,59 (91)
2160	1,66(103)	1,90 (95)	1,73 (86)	1,38 (69)	1,54 (88)

De forma geral, as reduções de vazão deram-se uniformemente, ao longo do período do ensaio, embora tenham sido mais pronunciadas, para os modelos Dripline, Tiran e Typhoon, nas primeiras 240 horas de funcionamento. Nesse aspecto, o gotejador Streamline constituiu exceção, uma vez que a vazão média apresentou aumento ao longo do ensaio, sendo que as épocas de 1920 horas e 2160 horas foram estatisticamente superiores às demais. Nos modelos Ram e Dripline, reduções significativas de vazão, da ordem de 5% e 14%, respectivamente, ocorreram a partir de 960 horas, embora apresentando recuperação na vazão, ao final da primeira fase do ensaio. Para o gotejador Typhoon, redução significativa de vazão ocorreu mais tardiamente, a partir de 1200 horas de operação. A redução de vazão mais uniforme

ocorreu com o gotejador Tiran, a qual mostrou significância entre quase todas as épocas de amostragem.

Para todos os tipos de gotejadores estudados, o coeficiente de variação (CV) ao longo do experimento, Tabela 12, apresentou tendência de crescimento ao longo do tempo, tendo sido essa variação mais pronunciada para os emissores, Streamline, Typhoon e Dripline. O gotejador Ram apresentou o menor valor de CV (9,48 %) após 2160 horas de ensaio.

Tabela 12. Coeficiente de variação (%) médio das vazões individuais dos gotejadores no período do ensaio.

Horas/Mod.	SL	RAM	DL	TR	TY
0	3,09	4,73	2,30	3,40	5,50
240	10,60	5,31	13,40	8,79	13,35
480	11,61	6,94	25,79	3,61	9,49
720	17,63	6,73	30,48	4,46	11,25
960	12,38	7,39	25,92	6,63	11,21
1200	13,71	11,5	29,42	9,22	12,48
1440	18,58	9,36	25,43	8,01	13,28
1680	17,64	7,87	23,41	11,24	15,62
1920	16,42	9,32	27,79	17,89	13,17
2160	20,68	9,48	27,80	20,65	17,66

O gotejador Tiran, embora apresentando os maiores valores de redução de vazão média, alcançando até 31% no período avaliado, apresentou o melhor desempenho com respeito ao CV, até o tempo de operação de 1680 horas, indicando que a redução de vazão se deu uniformemente para todos os emissores ensaiados. O aumento observado a partir de 1680 horas resultou em um valor final de 20,65%, similar ao do Streamline, sendo superior apenas ao modelo Dripline. De modo contrário, o modelo Streamline, embora se destacando por não apresentar redução significativa de vazão, apresentou uma perda crescente de uniformidade no decorrer do ensaio, sendo seu CV final inferior apenas ao do modelo Dripline.

Na Figura 55 é apresentado para os emissores Tiran e Typhoon o percentual do número total de 200 emissores ensaiados de cada modelo, por nível de redução de vazão no final das 2160 horas de operação do sistema. Observa-se que o emissor Tiran não apresentou nenhum emissor com redução de vazão 100 %, o que já não se observa para o emissor Typhoon.

Figura 55. Percentual do número de emissores por nível de redução de vazão para os emissores Tiran (à esquerda) e Thyphoon (à direita).

A segunda fase do ensaio, iniciada imediatamente após o final da primeira, consistiu na avaliação da eficiência de diferentes dosagens de cloro na recuperação dos gotejadores que apresentassem entupimento total ou parcial. Para cada bloco, composto por cinco linhas dos diferentes gotejadores, foram efetuadas duas aplicações nas dosagens de 150 mg/L, 300 mg/L, 450 mg/L e 600 mg/L de cloro.

Na Figura 56 é apresentado o efeito da aplicação de cloro nos emissores Tiran e Typhoon após completadas 2160 horas de ensaio.

Figura 56. Recuperação da vazão dos emissores Tiran e Typhoon após a aplicação de diferentes dosagens de cloro.

Tendo já se destacado na primeira fase do ensaio, pela intensidade e pela uniformidade na ocorrência do entupimento, o gotejador Tiran apresenta novamente comportamento diferenciado dos demais modelos, com relação ao nível de recuperação da vazão. Para a primeira aplicação de cloro, apenas as dosagens de 300 mg/L e 600 mg/L aumentaram significativamente a vazão do emissor, em relação àquela antes da aplicação. A segunda aplicação resultou em uma vazão estatisticamente superior à primeira, para todas as dosagens de cloro. O maior acréscimo de vazão, na primeira aplicação, ocorreu com a dose de 300 mg/L, passando de 71%, antes da aplicação, para 86% da vazão nominal, enquanto, para a segunda aplicação, a dose de 450 mg/L resultou em acréscimo de vazão de 30%, com relação à situação sem aplicação, passando de 65% para 95% da vazão nominal.

Para o gotejador Thyphoon a aplicação do cloro não resultou em efeito significativo de redução do entupimento, tanto para as doses estudadas como também para o número de aplicações efetuadas. Apenas a segunda aplicação da dosagem de 450 mg/L resultou em recuperação de vazão significativa desse emissor, passando de 84% para 93% da vazão nominal do modelo.

Figura 57. Recuperação do coeficiente de variação de vazão dos emissores Tiran e Typhoon após a aplicação de diferentes dosagens de cloro.

No gotejador Typhoon observou-se um aumento dos valores de coeficiente de variação de vazão (CV) para as dosagens de 600 mg/L e 150 mg/L. O cálculo do CV apresenta elevada sensibilidade aos valores extremos na amostra, como no caso de

emissores totalmente obstruídos. O melhor efeito do tratamento com cloro no aumento da uniformidade de aplicação foi observado no modelo Tiran, no qual todas as doses estudadas apresentaram eficiência semelhante, tendo esse efeito sido sentido mais marcadamente com a segunda aplicação de cloro.

Com base nos resultados obtidos, observa-se a importância de se estudar a resistência natural dos diferentes emissores ao processo de entupimento e também seu comportamento durante o processo de limpeza química. Os emissores Tiran e Typhoon embora apresentem níveis próximos de redução de vazão após 2.160 horas, apresentam comportamentos bem diferentes do ponto de vista de recuperação de vazão e grau de uniformidade quando submetidos ao tratamento de cloração. Finalizada a tese de mestrado (2000), os resultados foram apresentados aos referidos agricultores irrigantes que fizeram a opção pelo gotejador Tiran na expansão da área irrigada de tomate.

Durante a elaboração deste texto em agosto de 2006, o autor entrou em contato telefônico com os agricultores irrigantes Fernando Aparecido e João do Amaral Júnior (Sumaré – SP), para saber como estava indo o sistema de irrigação com o gotejador Tiran na irrigação de tomate, após 6 anos de uso no campo. Conforme previsto, o modelo de gotejador Tiran está desempenhando sua função de irrigação de maneira exemplar, sem nenhum problema de entupimento do sistema, desde o momento em que o tratamento químico começou a ser imposto de maneira sistemática na área, sendo que o tubo de polietileno com espessura de parede de 1 mm, resiste até o momento ao plantio sistemático de tomate desde o ano de 2000, superando todas as expectativas iniciais de desempenho e durabilidade no campo em 100 ha plantados anualmente.

4.2.2. Entupimento de Emissores: Intrusão radicular em gotejamento enterrado

Observa-se no Projeto FAPESP 8 aprovado, um novo enfoque no estudo de entupimento de emissores no Brasil: intrusão radicular em gotejamento subterrâneo. A irrigação subsuperficial (SDI) é a aplicação localizada de água diretamente na zona radicular da cultura embaixo da terra. Essa tecnologia é a ferramenta mais promissora em termos das perspectivas técnicas futuras na irrigação localizada: a) maior eficiência de uso de água e minimização dos riscos à saúde humana quando da utilização de águas residuais,

b) aplicação de ar e gás carbônico em profundidade no solo, c) aplicação de adubos de baixa mobilidade no solo, diretamente na zona de maior atividade radicular e outras.

Para o sistema de gotejamento enterrado, a intrusão radicular constitui um dos principais aspectos de manejo a ser considerado visando assegurar a vida-útil prevista em projeto (Camp et al., 2000). Outro fator a ser considerado também nesse sistema de irrigação é a ocorrência de vácuo no interior das linhas laterais no campo, após o desligamento da irrigação, podendo resultar em succionamento de partículas sólidas do solo para o interior dos gotejadores, constituindo-se uma causa adicional de entupimento. As principais medidas adotadas pela indústria de equipamentos para contenção da intrusão radicular baseiam-se em princípios químicos, através da incorporação de herbicidas no material plástico do gotejador (Camp et al., 2000) ou da aplicação de um herbicida registrado diretamente através da água de irrigação (Zoldoske, 1999) e de princípios físicos, ligados à arquitetura interna ou configuração do orifício de saída do gotejador (Barth, 1999) e a instalação estratégica de válvulas anti-vácuo no sistema hidráulico.

Os primeiros trabalhos idealizados pelo autor na área de intrusão radicular em gotejadores tiveram a participação efetiva de seus orientados o Eng. Luis Fernando Faria (Mestrado) e o Eng. Ronaldo Souza Resende (Doutorado), entre os anos de 2000 e 2004. Esses trabalhos são inéditos na literatura mundial, sendo até o momento a contribuição mais inovadora do autor na área de irrigação por gotejamento. Procurou-se nesses trabalhos analisar a susceptibilidade de diferentes emissores à intrusão radicular sob condição controlada de umidade no solo em ambiente protegido, tendo como barreira física o *design* de cada emissor. O uso de herbicidas não foi considerado nestes ensaios conduzidos, pois seria preciso quantificar inicialmente a ação do emissor como barreira física isoladamente.

O primeiro orientado nessa área de gotejamento subterrâneo é atualmente agricultor irrigante na região de Patos de Minas (MG) tendo trabalhado no experimento de intrusão radicular com as culturas de café e citros, enquanto que o segundo orientado (pesquisador EMBRAPA) estudou as culturas de cana-de-açúcar e feijão (cultura de referência para ensaios rápidos de intrusão radicular). Um experimento recente para a cultura do eucalipto foi conduzido no ano de 2005, sendo que o trabalho científico correspondente estará sendo apresentado no Congresso da SBEA (2007).

Escolheram-se 14 modelos de gotejadores, dando prioridade aos recomendados pelos fabricantes em sistemas enterrados, e também aos mais comercializados no Brasil. Dentro do grupo selecionado de emissores, observa-se a presença de gotejadores convencionais e autocompensantes. Na Tabela 13 são apresentados os emissores selecionados e as principais características de cada um deles.

Tabela 13. Principais características dos tubos gotejadores utilizados.

Fabricante	Modelo	Vazão (L.h ⁻¹)	H (kPa)	Fluxo	Código
Carborundum	Carbodrip	2,20	100	Normal	CD
Carborundum	Carbodrip PC	2,20	100	Auto comp.	CP
Drip In	Drip In Classic	1,52	100	Normal	DI
Drip In	Drip In PC	4,00	100	Auto comp.	DP
Irrimom	Vip	3,60	100	Auto comp.	VP
Naan	Naan Tif PC	1,60	100	Auto comp.	NT
Netafim	Ram 17L	2,30	100	Auto comp.	RM
Netafim	Tiram 2000	2,05	100	Normal	TR
Netafim	Typhoon	2,00	100	Normal	TY
Plastro	Hydro Drip II	2,30	100	Normal	HD
Plastro	Hydrogol	2,00	100	Normal	HG
Plastro	Hydro PC	2,20	100	Auto comp.	HP
Rain Bird	Drip Line	3,40	100	Auto comp.	DL
Toro Ag.	Aqua Traxx	1,14	70	Normal	AQ

Foram montados 20 vasos para cada cultura, sendo que cada vaso recebeu 14 emissores diferentes em cada profundidade de instalação (15 e 30 cm), totalizando 28 emissores por vaso. O tratamento nível de irrigação foi aplicado para 10 dos 20 vasos por espécie vegetal. Cada tratamento possuía 10 repetições (10 vasos), sendo portanto 10 vasos com a cultura do café com o tratamento seco e 10 vasos com o tratamento úmido. A mesma distribuição foi feita para as culturas de laranja, feijão e cana-de-açúcar. Foram montados 10 vasos sem cultivos como testemunhas, totalizando 90 vasos, conforme esquematizado na Figura 58.

O delineamento estatístico idealizado inicialmente, seguiu um esquema inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas e fatorial 2 x 14, constando de 10 repetições (gotejadores) por parcela, sendo a profundidade a subparcela. Os 10 vasos sem

cultivos da testemunha foram utilizados no sentido de isolar outras causas de obstrução dos emissores, que não à intrusão radicular.

Figura 58. Vista geral do experimento dentro da estufa.

As espécies vegetais perenes analisadas são o cafeeiro Icatu (9 mudas/vaso) e a laranja Pêra com enxerto de tangerina Cleópatra (6 mudas/vaso) por serem variedades utilizadas pelos produtores que planejam suas lavouras para o sistema de produção irrigado. Para o experimento com feijão foi utilizada a cultivar Carioquinha, sendo abertas 6 covas e mantidas 3 plantas por cova, totalizando 18 plantas em cada vaso. A variedade de cana plantada foi a SP-801842, que apresenta um desenvolvimento radicular mais agressivo, além de ser uma das mais plantadas no Estado de São Paulo, sendo utilizados dois toletes com 3 gemas em cada vaso, no sentido longitudinal à maior dimensão do vaso e espaçados de 0,15 m entre si.

As mudas, sementes e toletes foram plantados em vasos de cimento amianto (0,58 x 0,43 x 0,43 m) com 100 L de capacidade. Os vasos foram previamente preparados para receber as mudas conforme o esquema da Figura 59, com duas camadas de furos sendo que, a primeira a 15 cm de profundidade e a segunda a 30 cm. Cada camada foi formada por 14 perfurações, totalizando 14 tubos gotejadores por profundidade, sendo que em cada segmento de tubo havia somente um gotejador conforme esquema da Figura 60. A ordem dos gotejadores em cada camada foi obtida por sorteio para garantir a condição de aleatoriedade, procurando quando possível manter o gotejador posicionado para cima.

Foram feitos furos na parte inferior dos vasos para drenagem de eventuais irrigações excessivas. Para proporcionar a drenagem segura, sem haver carreamento de substrato, foi posta uma camada de 2 cm de espessura de brita nº 1, sobreposta por uma manta de geotêxtil. Foram transplantadas nove mudas de café e seis mudas de laranja para cada vaso (Figura 61).

Figura 59. Preparação dos vasos para recebimento das mudas: (a) furação das dos vasos; (b) instalação da 1ª linha de emissores; (c) preenchimento com solo; (c) Instalação da 2a linha; (d) preenchimento com solo.

Figura 60. Esquema de montagem dos vasos com os tubos gotejadores.

Figura 61. Disposição das mudas de café e citros nos vasos.

O solo utilizado no preparo do substrato para preenchimento dos vasos foi um Latossolo Vermelho-Amarelo, classificado como textura arenosa, com 67% de areia, 5% de silte e 28% de argila, sendo a fração areia construída por 3% de areia grossa, 24% de areia média e 40% de areia fina. A opção pelo solo arenoso, deu-se pela melhor drenagem do excesso d'água de irrigação, pela menor capacidade de retenção de água e pela maior facilidade de crescimento do sistema radicular em solos dessa textura.

Realizou-se uma calagem no solo com calcário dolomítico para a correção do pH e da saturação de bases (V%). A adubação química dos cultivos baseou-se em fertilizante

de liberação lenta (Osmocote), de acordo com a recomendação do fabricante para plantas em viveiros de mudas.

O manejo da irrigação foi realizado com o auxílio de uma bateria de tensiômetros para cada tratamento (cultura x nível de irrigação). No tratamento úmido determinou-se como limite de tensão de água no solo o valor de -30 kPa para o tensiômetro superficial à 7,5 cm de profundidade para dar início à irrigação. Já no tratamento seco, para ambas culturas, esperou-se que as plantas apresentassem sintomas de estresse hídrico pela manhã (murchamento das folhas) para iniciar a irrigação. Nesse tratamento, procurou-se não promover a saturação do solo nem tampouco elevar a umidade do solo à capacidade de campo, promovendo continuamente déficit hídrico moderado de água no solo, de modo que a planta não viesse a morrer.

Para a determinação da vazão individual dos gotejadores, utilizou-se um medidor magnético indutivo, modelo IFC-090-F, fabricado pela empresa Krohne/Conaut, capaz de medir vazões na faixa de vazão de 0 a 10 L.h^{-1} , com precisão de 0,3%. Como cada gotejador era abastecido isoladamente, foi possível determinar a vazão individual de cada emissor, desconectando o microtubo de abastecimento de cada gotejador da rede de PVC e conectando-o ao medidor de vazão, sem que fosse preciso desenterrar o gotejador para efetuar essa avaliação.

Para possibilitar a avaliação do efeito dos tratamentos e a comparação entre os gotejadores estudados, os quais apresentam vazões nominais diversas (Tabela 9), os dados de vazão foram proporcionalizados em relação à vazão nominal do respectivo modelo, conforme a equação 1.

$$Qr = \left(\frac{qa}{qn} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

onde:

Qr – vazão relativa, %

qa – vazão atual, L.h^{-1}

qn – vazão nominal do modelo, L.h^{-1}

Na Figura 62 são apresentados os sintomas de murcha das folhas de café e citros, no tratamento sob condição de déficit hídrico no solo.

Figura 62. Sintomas de déficit hídrico das plantas no tratamento seco: (a) café seco e (b) citros seco.

No emissor convencional Carbodrip (cana-de-açúcar), o comprimento do percurso, da saída do filtro até o final do labirinto, é de 115 mm; a área de filtragem total é de 17,7 mm², porém a área líquida é de apenas 3 mm². Possui três orifícios de saída de água, os quais se localizam em uma única câmara das duas existentes, tornando a outra uma câmara morta. O ponto crítico do fluxo é a saída do labirinto, distante, aproximadamente, 24,2 mm do orifício de saída de água mais próximo; uma vez a raiz tenha atingido esse local, a ponto de comprometer significativamente sua seção de passagem, obstruirá o emissor, independentemente de o outro orifício de saída de água estar livre de intrusão. A área da câmara de saída de água é de 181mm². A segunda câmara, que não tem a função de saída da água, tem o mesmo valor de área. Ressalte-se que no processo de fabricação do gotejador o local onde é efetuado o orifício de saída da água não é fixo em relação às câmaras de saída. Assim as medidas apresentadas acima podem sofrer variação em função da localização do orifício. Uma vez que em amostras dissecadas a maioria dos orifícios se encontrava na câmara adjacente ao filtro, essa foi a configuração adotada na Figura 63.

Após penetrar em qualquer dos dois orifícios de saída de água, a raiz se desenvolve inicialmente na câmara de saída. Para se expandir, ela passará, necessariamente, pelo ponto final do labirinto (ponto crítico do fluxo), podendo penetrar neste ou passar perpendicularmente, indo em direção à câmara morta e, posteriormente, penetrar no labirinto como sugere a Figura 63.

Figura 63. Desenho esquemático do modelo CD.

Os gráficos da evolução da vazão desses gotejadores denotam claramente o momento em que o processo de intrusão refletiu na vazão. O círculo vermelho na Figura 63 localiza-se no ponto do labirinto onde se encontrava a coifa de uma raiz secundária no gotejador apresentado na Figura 64b. Embora o avanço se verifique com uma raiz fina, a porção anterior do labirinto e da câmara morta já se encontra totalmente tomada por uma massa densa resultante do desenvolvimento da raiz no interior do gotejador.

O desenvolvimento da raiz no interior do gotejador é favorecido pela presença de solo succionado e depositado na câmara de saída de água; a sucção de solo se constitui em fator adicional de variação de vazão dos gotejadores enterrados.

Para o gotejador Carbodrip apresentado na Figura 64, o início do processo de intrusão ocorreu entre 150 e 180 dias do início do experimento, sendo esse período comum para a maioria dos modelos testados.

Figura 64. Desenvolvimento de raízes, no modelo CD, na câmara de saída de água (a), na saída do labirinto (b) e evolução da vazão em função do tempo (c).

Outro modelo de gotejador estudado o emissor Ram da empresa Netafim apresenta arquitetura peculiar em relação aos demais gotejadores do tipo plano. Tal peculiaridade se refere ao fato de que o caminhamento da água ocorre em dois níveis, com relação à altura do emissor: no primeiro nível ocorre a entrada da água para o interior do gotejador através de uma área de filtragem, de 27 mm², a qual é seguida de um labirinto de 17,8 mm de comprimento e largura de 1,0 mm entre dentes, que deságua em uma câmara com área de 71,0 mm² (câmara de saída de água 1, na Figura 65a). Nessa câmara, um orifício de 1,0 mm de diâmetro faz a comunicação com o segundo nível do gotejador, formado por outra câmara de saída de água (câmara de saída de água 2, na Figura 65c), com 143,2 mm² de

área, no centro da qual se localiza o orifício de saída de água do gotejador, já na parede do tubo de polietileno, com aproximadamente 1,6 mm de diâmetro.

Figura 65. Desenho esquemático do modelo Ram, em vistas inferior (a), lateral (b) e superior (c)

Contrariamente aos gotejadores do tipo cilíndrico a probabilidade da raiz interceptar os dois orifícios não é aditiva, porquanto, em relação ao fluxo da água, os dois orifícios representam uma ligação em série. Hipoteticamente, essa probabilidade se reduz em relação aos gotejadores com apenas um orifício (gotejadores do tipo plano) sendo ainda menor para aqueles com 2 orifícios (gotejadores do tipo cilíndrico).

A raiz, para atingir o interior da câmara de compensação passa por um desenvolvimento inicial na câmara de saída de água 2, já que seria baixa a probabilidade de a raiz penetrar nos dois orifícios em uma sequência rápida. Para o gotejador apresentado na Figura 66a, embora tenha havido passagem de raiz através do filtro (detalhe não visualizado), a passagem ocorreu primeiramente pelo lado oposto da borda onde se assenta a membrana de silicone e a partir daí ocorreu o enovelamento no interior do tubo. Foi dada

continuidade ao experimento até o segundo corte da cana-de-açúcar. Assim, a imagem da Figura 66a foi obtida aos 450 dias após o início do experimento e, portanto, após o final do período de coleta de dados, o qual foi de 270 dias. Dessa forma, não foi possível precisar, no intervalo de 180 dias, o momento de ocorrência da intrusão (Figura 66b).

a **b**

Figura 66. Penetração de raiz no interior do tubo através da borda da membrana de silicone (a) e evolução da vazão do modelo RM em função do tempo (b).

Os resultados obtidos permitiram evidenciar as seguintes conclusões: a) existem diferenças marcantes entre modelos de emissores quanto ao seu desempenho sob condição de enterrio, tanto na suscetibilidade à intrusão de raízes quanto à ocorrência de vácuo nas linhas laterais; b) o desempenho dos emissores em irrigação subsuperficial evidencia elevada correlação com o tipo de emissor e tempo de enterrio: emissores convencionais mostraram-se mais estáveis que os emissores autocompensantes na irrigação subsuperficial; c) o manejo da irrigação sem déficit hídrico no solo não reduz, por si só, o potencial intrusivo de raízes em gotejadores; d) a profundidade de instalação do gotejador, na faixa avaliada no experimento (0,15 e 0,30 m), não se constitui em fator determinante do potencial de intrusão de raízes em gotejamento subsuperficial; e) a cultura do feijão não apresenta característica favorável de crescimento radicular rápido e vigoroso para ser utilizada como cultura de referência em ensaios rápidos de intrusão radicular de gotejadores, na irrigação subsuperficial f) existe uma tendência de diferenciação no nível de intrusão radicular nas culturas estudadas, sendo o café a cultura aparentemente mais agressiva aos gotejadores enterrados, g) a intrusão radicular no gotejamento enterrado é aleatória, sendo que a amostragem destrutiva do sistema radicular no vaso, tanto na cultura do café quanto na cultura do citros, não apresentou evidências de que existia um crescimento preferencial das raízes em direção ao emissor enterrado. Aparentemente o sistema radicular vai se espalhando pelo solo e se coincidir do orifício do gotejador estar na direção de crescimento da coifa radicular a intrusão ocorrerá de maneira irreversível e h) quanto ao aspecto construtivo (barreiras físicas), poucos emissores ensaiados demonstraram possuir mecanismos físicos que impeçam de maneira efetiva a penetração das raízes em seu interior.

Nas Tabelas 14 e 15 são apresentados os valores médios observados de vazão relativa e coeficiente de variação de vazão dos emissores enterrados na a cultura do café. O código de cores adotado evidencia níveis diferenciados de variação dos dados coletados: a cor verde a condição mais estável e a cor rosa a condição mais instável de vazão. Observa-se que entre 150 e 330 dias de enterrio, ocorreu uma intrusão intensiva de raízes na maioria dos emissores. São impressionantes os altos valores atingidos de coeficiente de variação de vazão no experimento conduzido. Para os emissores autocompensantes os que mais

resistiram à intrusão radicular foram: Drip In, Ram e VIP. Com relação aos emissores convencionais os de melhor desempenho foram: Hydrogol e Tiram.

No gráfico da Figura 67 é possível constatar a eficiência da irrigação localizada em função do coeficiente de variação de vazão e do número de emissores por planta, para emissores autocompensantes ($q_{min} / q_{medio} = 1$), segundo a equação proposta por Keller e Karmelli em 1974. Observa-se pelos resultados obtidos no experimento conduzido, que a eficiência da irrigação localizada poderá atingir valores baixos de eficiência entre 40 e 70 %, para níveis de coeficiente de variação entre 40 e 80 %, quando o número de emissores por planta é pequeno ou quando o entupimento não ocorre de maneira aleatória no campo, concentrando-se nos finais das linhas laterais.

Na Figura 68 são apresentados os gráficos de vazão relativa para os emissores convencionais e autocompensantes analisados, em função do nível de vácuo submetido no interior do tubogotejador enterrado no solo. Os emissores convencionais apresentam redução de vazão com o succionamento de partículas sólidas do solo, enquanto que os emissores autocompensantes apresentam aumento de vazão, sendo que o nível de sensibilidade é bastante variável entre os modelos analisados, podendo prejudicar de maneira intensiva a performance hidráulica do equipamento de irrigação no campo. Para os emissores autocompensantes os que mais sofreram com a intrusão de partículas sólidas foram: Hydro PC e Naan PC. Com relação aos emissores convencionais os de pior desempenho sob vácuo foram: Drip In Classic e Hydro Drip II.

A importância desse tipo de estudo fica evidente, para um caso em particular na região do Triângulo Mineiro, aonde um projeto de 100 ha de gotejo enterrado em café com o gotejador Hydro PC não obteve sucesso em sua operação hidráulica no campo, o que poderia ter sido previsto pelos resultados obtidos nesse estudo, sem que ocorresse prejuízo econômico ao cafeicultor irrigante e à empresa de equipamento (impasse jurídico).

Tabela 14. Vazão relativa para emissores convencionais e autocompensantes em função do número de dias enterrados no solo na cultura do café.

CONVENTIONAL EMITTERS										SELF COMPENSATING EMITTERS									
CONTROL 15 cm																			
Days	Parameter	CD	DI	TR	TY	AQ	HG	HD	DP	NT	CP	RM	DL	VP	HP				
0	RQR	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00				
60	RQR	104.19	103.52	101.90	102.76	110.83	107.17	104.88	101.90	90.48	94.73	96.72	96.78	92.33	96.76				
90	RQR	100.36	100.43	101.31	100.79	109.83	101.15	100.99	100.17	91.77	99.05	100.68	118.02	91.24	97.06				
120	RQR	99.51	101.30	97.71	98.47	111.51	99.06	101.09	100.34	91.87	100.83	96.20	109.20	91.93	98.10				
150	RQR	95.59	96.11	95.28	94.63	108.16	96.70	98.01	98.51	93.21	110.39	96.75	112.81	92.75	95.75				
330	RQR	97.69	112.07	99.21	98.85	121.78	95.61	99.59	101.08	95.62	116.64	108.59	110.89	91.60	100.72				

COFFEE / DRY 15 cm															
Days	Parameter	CD	DI	TR	TY	AQ	HG	HD	DP	NT	CP	RM	DL	VP	HP
0	RQR	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
60	RQR	110.85	106.94	103.29	108.34	106.15	112.10	119.68	102.43	109.36	120.52	98.05	103.86	112.49	105.52
90	RQR	109.62	108.17	101.05	105.66	116.80	109.28	119.52	97.18	108.31	130.50	103.28	107.51	115.81	121.35
120	RQR	106.42	106.85	98.76	101.87	106.31	107.56	114.57	104.72	109.01	131.81	102.16	115.18	113.41	119.58
150	RQR	100.26	101.48	92.44	99.70	101.29	101.88	109.52	100.98	106.92	126.98	102.76	101.81	113.02	113.97
330	RQR	93.49	84.38	66.92	91.46	75.73	84.66	66.02	84.20	122.55	100.39	107.33	88.70	76.34	93.32

COFFEE / WET 15 cm															
Days	Parameter	CD	DI	TR	TY	AQ	HG	HD	DP	NT	CP	RM	DL	VP	HP
0	RQR	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
60	RQR	106.59	104.89	101.53	105.76	111.85	105.05	93.05	106.71	104.09	117.69	97.96	102.34	103.27	98.82
90	RQR	105.58	100.88	102.22	102.57	108.08	104.74	95.69	106.07	137.65	203.72	103.41	119.52	107.67	195.36
120	RQR	109.62	101.13	99.61	101.06	100.57	105.37	100.80	103.09	143.78	204.82	108.67	104.05	107.47	194.78
150	RQR	98.88	87.29	96.84	97.83	105.26	97.83	84.66	103.49	141.48	232.77	101.37	125.48	105.25	150.29
330	RQR	67.48	74.89	82.59	51.03	21.87	94.18	51.87	68.32	125.96	117.40	108.11	80.36	47.11	68.30

Tabela 15. Coeficiente de variação de vazão para os emissores em função do número de dias enterrados no solo na cultura do café.

CONVENTIONAL EMITTERS																SELF COMPENSATING EMITTERS															
CONTROL 15 cm																															
Days	Parameter	CD	DI	TR	TY	AQ	HG	HD	DP	NT	CP	RM	DL	VP	HP																
0	CQV	3.09	4.49	2.40	5.11	7.14	5.25	3.43	6.40	28.75	19.13	7.19	13.39	9.99	7.64																
60	CQV	3.17	4.58	4.95	5.40	2.89	8.20	4.13	5.45	3.48	6.20	6.62	4.14	8.41	2.98																
90	CQV	3.43	4.86	3.56	5.01	2.71	4.96	5.32	5.68	4.25	17.27	12.98	24.63	11.10	4.59																
120	CQV	1.85	5.30	3.30	4.99	2.21	3.18	2.21	5.58	4.30	15.54	5.09	18.03	9.39	4.86																
150	CQV	1.46	5.73	3.47	2.87	2.24	3.04	2.53	10.00	6.12	30.88	5.73	23.54	12.25	3.82																
330	CQV	3.43	38.93	2.50	4.75	31.84	3.77	2.63	6.04	17.44	38.27	14.98	21.87	11.89	12.48																

COFFEE / DRY 15 cm																	
Days	Parameter	CD	DI	TR	TY	AQ	HG	HD	DP	NT	CP	RM	DL	VP	HP		
0	CQV	6.41	6.26	10.53	5.07	6.35	3.32	8.00	7.68	5.00	5.20	4.74	22.02	38.83	10.77		
60	CQV	6.68	4.38	5.56	7.68	5.85	10.49	4.04	5.32	8.99	35.84	13.00	38.45	8.14	12.23		
90	CQV	6.64	6.20	5.42	6.32	5.39	2.33	4.74	15.67	4.30	36.21	7.04	36.30	21.33	38.16		
120	CQV	5.41	6.17	5.56	2.52	6.89	2.46	3.17	4.89	4.71	30.56	11.95	43.90	25.01	40.58		
150	CQV	9.12	6.36	8.31	3.50	6.49	1.79	5.04	10.00	3.85	32.64	11.76	47.94	20.78	46.51		
330	CQV	33.71	35.85	59.48	33.39	52.53	48.67	84.52	43.14	25.63	46.55	6.60	72.34	74.62	71.13		

COFFEE / WET 15 cm																	
Days	Parameter	CD	DI	TR	TY	AQ	HG	HD	DP	NT	CP	RM	DL	VP	HP		
0	CQV	4.41	5.62	3.67	3.37	2.57	4.95	6.43	16.52	33.11	20.29	3.63	6.81	14.12	4.85		
60	CQV	2.33	5.03	3.23	7.80	1.03	3.64	31.62	6.57	30.80	29.00	4.06	5.03	13.50	4.22		
90	CQV	3.24	12.02	4.74	3.62	35.59	3.50	29.12	5.64	52.08	51.27	15.55	18.71	18.56	89.97		
120	CQV	2.15	6.64	2.37	5.99	18.10	3.63	35.37	5.89	44.36	63.00	22.33	16.29	15.91	88.94		
150	CQV	2.79	18.72	5.69	2.83	9.82	3.85	37.00	10.00	50.95	52.00	12.82	33.35	13.60	84.98		
330	CQV	70.32	57.14	48.46	98.72	116.06	18.43	127.18	64.89	62.12	113.11	12.25	84.77	92.47	80.82

Figura 67. Eficiência da irrigação localizada em função do coeficiente de variação de vazão e do número de emissores (N) por planta.

Figura 68. Variação na vazão relativa (Q_r) para gotejadores enterrados, após dois níveis de vácuo terem sido aplicados no interior dos tubos gotejadores (-13 e -20 kPa).

A realização de novas pesquisas na área de monitoramento e controle do entupimento na irrigação por gotejamento, vinculadas ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, está sendo viabilizada pela construção da bancada multiobjetiva de

ensaios, idealizada pelo autor (Projeto FAPESP 10 2003/12863-1), inédita na literatura e sem similar no mundo (Patente Requerida), que contou com o auxílio efetivo de seu ex-orientado de Doutorado, o Eng. Marconi Batista Teixeira, atualmente em Programa de Pós-Doutorado nesta área de conhecimento, sob sua supervisão, com apoio financeiro do CNPq.

Os trabalhos atualmente em andamento na bancada de ensaios são os seguintes:

TEIXEIRA, Marconi Batista. Tópicos avançados em entupimento de gotejadores. Ano 2007-2008. Universidade de São Paulo, Bolsista Pós Doutorado - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Supervisor: Rubens Duarte Coelho.

MÉLO, Ralini Ferreira de. Caracterização de entupimento de gotejadores com carbonatos de cálcio e magnésio e técnicas de desobstrução. Início:2004. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. (Orientador).

CARVALHO, Lilian Cristina Castro de. Caracterização de entupimento de gotejadores para diferentes tipos de precipitados de Ferro. Início:2006. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. (Orientador).

RIBEIRO, Pabblo Atahualpa de Aguiar. Influência de diferentes tipos de cloreto de potássio, (branco e vermelho) no entupimento de gotejadores sob condição de fatores biológicos na água de irrigação. Início:2006. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo. (Orientador).

SILVEIRA, Pedro Rodrigues Alves. Dinâmica da aplicação de CO₂ na uniformidade de irrigação por gotejamento. Início:2007. Iniciação científica (Graduando em Engenharia Agrônômica) - Universidade de São Paulo. (Orientador).

REIS, João Batista Ribeiro da Silva; GARZELLA, Tiago Cappelo; COELHO, Rubens Duarte. Caracterização do deslocamento partículas sólidas em tubogotejadores para diferentes velocidades e inclinação da tubulação. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007, Bonito. Anais - CD ROM. Campo Grande: Universitária, 2007.

MEDEIROS, Pedro Róbinson Fernandes de; COELHO, Rubens Duarte; BARROS, Allan Cunha; BARBOZA JÚNIOR, Cícero Renê Almeida; HARTWING, Marcelo Peske; CALUNGO, Jokasta; MÉLO, Ralini Ferreira de. Dinâmica da resistência de diferentes tubogotejadores ao entupimento por precipitação química de carbonato de potássio. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007, Bonito. Anais - CD ROM. Campo Grande: Universitária, 2007.

HARTWING, Marcelo Peske; COELHO, Rubens Duarte. Dinâmica de entupimento de gotejadores durante a aplicação de água residuária. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007, Bonito. Anais - CD ROM. Campo Grande: Universitária, 2007.

BARBOZA JÚNIOR, Cícero Renê Almeida; HARTWING, Marcelo Peske; COELHO, Rubens Duarte; BARROS, Allan Cunha; MÉLO, Ralini Ferreira de; MEDEIROS, Pedro Róbinson Fernandes de. Dinâmica do entupimento de gotejadores em função da aplicação de cal hidratada na água de irrigação. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007, Bonito. Anais - CD ROM. Campo Grande: Universitária, 2007.

RETTORE NETO, Osvaldo; COELHO, Rubens Duarte. Histerese em gotejadores autocompensantes novos com aplicação de CO₂ na água de irrigação. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007, Bonito. Anais - CD ROM. Campo Grande: Universitária, 2007.

CARDOSO, Gabriel Greco de Guimarães; CALUNGO, Jokasta; COELHO, Rubens Duarte. Perda de carga localizada em conexões de emissores. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007, Bonito. Anais CD - ROM. Campo Grande: Universitária, 2007.

RETTORE NETO, Osvaldo; ALVES, Paulo Mateus; TEIXEIRA, Marconi Batista; COELHO, Rubens Duarte. Variação de vazão em gotejadores autocompensantes devido a aplicação de CO₂ na água de irrigação. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007, Bonito. Anais CD- ROM. Campo Grande: Universitária, 2007.

BARROS, Allan Cunha; COELHO, Rubens Duarte; MEDEIROS, Pedro Róbinson Fernandes de; BARBOSA JÚNIOR, Cícero René A; HARTWING, Marcelo Peske; MÉLO, Ralini Ferreira de; SOUZA, Robson Alexsandro de. Viabilidade técnica da aplicação de super simples e ácido nítrico na irrigação localizada. In: XXXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007, Bonito. Anais CD ROM. Campo Grande: Universitária, 2007.

A bancada de ensaios foi construída em estrutura metálica, sendo composta por três andares, com 11,0 m de comprimento por 4,0 m de largura e 5,80 m de altura, sendo cada andar da bancada independente e subdividido dos demais, permitindo a realização de seis ensaios de pesquisa de grande porte simultaneamente (Figura 69). De acordo com o cronograma de trabalho, a bancada estará com a capacidade máxima de trabalho implementada até o segundo semestre de 2007.

Figura 69a. Visão frontal da bancada de ensaios de gotejadores, aonde observa-se os quatro módulos de ensaios compartimentados.

Nas Figuras 69a e 69b são apresentadas em vista frontal a distribuição das linhas gotejadoras no nível térreo da bancada, para os lados direito e esquerdo. No nível térreo é possível trabalhar com um total de 140 linhas gotejadoras, no primeiro andar da bancada mais 224 linhas gotejadoras e no segundo andar 140 linhas gotejadoras com fluxo de água individualizado de acordo com a necessidade de controle do experimento, totalizando entre 5040 e 10080 emissores em avaliação simultânea (espaçamento entre gotejadores de 1 e 0,5 m respectivamente).

Caso o espaçamento entre emissores seja reduzido para 25 cm, pode-se analisar até 20160 gotejadores simultaneamente na bancada, o que requer no mínimo 4 pessoas trabalhando conjuntamente na condução dos ensaios de laboratório.

Figura 69b. Detalhamento da bancada de ensaios com o detalhamento de linhas gotejadoras no nível térreo.

Figura 70. Detalhe de montagem do nível térreo e da vista lateral da bancada de ensaios.

As linhas de gotejadores em cada nível são sustentadas por dispositivos que possuem uma angulação de 10° , o que induz um certo desalinhamento das linhas na direção

vertical, impedindo assim o contato da água emitida pelo primeiro nível com os demais e assim sucessivamente, sendo que o espaçamento entre as linhas de tubogotejadores na vertical é de 0,15 m e de 0,095 m na horizontal (Figuras 71a, b). Os tubogotejadores são sustentados nestes dispositivos, por parafusos de aço inox, que suportam os tubogotejadores (Figuras 71c, d).

a

b

Figuras 71a, b. Detalhe do dispositivo utilizado para sustentação dos tubogotejadores

c

d

Figuras 71c, d. Detalhe do parafuso em aço inox de sustentação dos tubogotejadores.

A Figura 72a, b mostra como são fixadas as linhas gotejadoras na bancada, através do *mainfold* de controle individualizado de vazão para cada linha ensaiada.

Figura 72 a, b. *Mainfold* de controle das linhas gotejadoras na bancada de ensaios.

Os trabalhos publicados em periódicos e textos divulgados em revistas e jornais de notícias decorrentes dessas orientações, contaram também com a participação efetiva de alunos da disciplina que o autor oferece à nível de Pós-Graduação (LER 879 – Irrigação Pressurizada I) e de estagiários de iniciação científica e são os seguintes:

COELHO, Rubens Duarte. Citros: Para a irrigação dar certo!. Agrianual 1999 (FNP) - OESP, Piracicaba, SP, p. 45-49, 03 nov. 1998.

RESENDE, Ronaldo Souza; COELHO, Rubens Duarte. Irrigação localizada: boa manutenção garante eficiência. Agrianual 2000 (FNP) - OESP, São Paulo, SP, v. 1, p. 45-49, 02 nov. 1999.

RESENDE, Ronaldo Souza; COELHO, Rubens Duarte; PIEDADE, Sonia Maria de Stéfano. Eficiência da cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 382-389, 2000.

RESENDE, Ronaldo Souza; COELHO, Rubens Duarte; PIEDADE, Sonia Maria de Stéfano. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 368-375, 2000.

RESENDE, Ronaldo Souza; CASARINI, Edivaldo; FOLEGATTI, Marcos Vinícius; COELHO, Rubens Duarte. Ocorrência de entupimento de origem biológica em sistema de irrigação por gotejamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 156-160, 2001.

RESENDE, Ronaldo Souza; COELHO, Rubens Duarte; LEAL, Maria de Lourdes da Silva; MATA, Samuel Silva da. Suscetibilidade à intrusão radicular de gotejadores convencionais na irrigação subsuperficial de cana-de-açúcar. Irriga, Botucatu, v. 9, n. 2, p. 150-165, 2004.

FARIA, Luis Fernando; COELHO, Rubens Duarte; RESENDE, Ronaldo Souza. Variação de vazão de gotejadores de fluxo normal enterrados na irrigação de café. Engenharia Agrícola,

Jaboticabal - SP, v.24, n. 3, p. 589-602, 2004.

DIAS, Nildo da Silva; OLIVEIRA, Marcus Vinícius A M; COELHO, Rubens Duarte. Resistência de diferentes tipos de tubogotejadores ao entupimento por precipitação química de cálcio. Irriga, Botucatu, v. 9, n. 2, p. 115-125, 2004.

Com o objetivo de avaliar a susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos à base de sulfato de cálcio, foi desenvolvido um experimento no Laboratório de Irrigação da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Foram utilizados três tipos de tubogotejadores não autocompensáveis (T₁ - Carbo Drip 2,30 L/h; T₂ - Hydro Gol, 2,00 L/h e T₃ - Typhoon 1,70 L/h) instalados em uma bancada, com 6 m de comprimento x 1,3 m de largura e 1,45 m de altura, com cinco segmentos de linhas para cada tipo de tubogotejador. Verificou-se a influência causada pela indução forçada de precipitação química no coeficiente de variação de vazão (CVq), no desvio padrão, na vazão média e na taxa de redução de vazão dos emissores. Os resultados mostram que o tempo de funcionamento dos emissores influenciou no CVq devido à ocorrência de obstruções tanto parcial como total. A obstrução do orifício de saída dos tubogotejadores, decorrente do tempo de funcionamento, contribuiu para o aumento dos coeficientes de variação. O emissor Hydro Gol foi o que mais resistiu à obstrução por precipitação química, apresentando no final do ensaio um nível de obstrução de apenas 14 %, enquanto que o emissor Typhoon apresentava um nível de entupimento de 52% e o emissor Carbo Drip 20 % de redução de vazão original.

TEIXEIRA, Marconi Batista; COELHO, Rubens Duarte; MELO, Ralini Ferreira de. Gota a Gota : Entupimento na irrigação localizada. Cultivar, Pelotas, v. 30, p. 28-30, 01 maio 2004.

TEIXEIRA, Marconi Batista; COELHO, Rubens Duarte; CARRARO, Denis Cesar. Atenção ao Ferro na água de irrigação por gotejamento. Agrianual 2005 - Anuário da Agricultura Brasileira, São Paulo, v. 10, p. 62-66, 01 nov. 2004.

AIROLDI, Rogério P S; TEIXEIRA, Marconi Batista; COELHO, Rubens Duarte; BOTREL, Tarlei Arriel. Água Limpa : Sistemas de Filtragem na Irrigação. Cultivar Máquinas, Pelotas, v. 39, p. 14-19, 01 mar. 2005.

Outros trabalhos desenvolvidos também pelo autor que foram apresentados em eventos na forma de trabalhos completos:

CARRARO, Denis Cesar; SOUZA, Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo; TEIXEIRA, Marconi Batista; MELO, Rogério Freitas de; COELHO, Rubens Duarte. Desentupimento de tubogotejadores com emissores autocompensantes após uso com esgoto doméstico tratado. In: XV CONIRD – CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2005, Teresina. CD ROM. Teresina: Universitária, 2005.

COELHO, Rubens Duarte. Entupimento de emissores devido à utilização de águas residuárias. In: I ENCONTRO CIENTÍFICO DA PÓS GRADUAÇÃO NA ESALQ, 2005, Piracicaba. CD-ROM. Piracicaba: Universitária, 2005.

MELO, Ralini Ferreira de; TEIXEIRA, Marconi Batista; COELHO, Rubens Duarte. Principais causas de obstruções associadas a água usada na irrigação localizada e possíveis soluções. In: XV CONIRD - CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2005, Teresina. CD ROM. Teresina: Universitária, 2005.

COELHO, Rubens Duarte. Suscetibilidade à intrusão radicular de gotejadores convencionais na irrigação subterrâneas de cana-de-açúcar. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Canoas. Anais CD-ROM. Canoas: Universitária, 2005. v. 1.

COELHO, Rubens Duarte; RESENDE, Ronaldo Souza. Vacuum effects on the hydraulics of subsurface drip irrigation of sugar cane. In: 2005 ASAE - ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2005, Tampa - FL. CD - ROM. Tampa: Universitária, 2005. v. 1, p. 1.

D'ALBUQUERQUE, Boanerges Siqueira; MOUSINHO, Francisco Edinaldo Pinto; COELHO, Rubens Duarte. Caracterização da intrusão radicular em gotejadores enterrados nas culturas de citrus e café. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Anais - CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

VINÍCIUS, Marcus; DIAS, Nildo da Silva; COELHO, Rubens Duarte. Caracterização hidráulica de tubogotejadores carbodrip submetidos a precipitação química de cálcio. In: XIII CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2003, Juazeiro. Anais - CD ROM. Juazeiro: Universitária, 2003.

COELHO, Rubens Duarte; FARIA, Luis Fernando. Comparing drippers for root intrusion in subsurface drip irrigation applied to citrus and coffee crops. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING / 2003 - LAS VEGAS, 2003, Las Vegas. St. Joseph: ASAE, 2003.

MINGOTI, Rafael; COELHO, Rubens Duarte; LOURENÇÃO, Mateus dos Santos; FARIA, Luis Fernando. Resistência de gotejadores autocompensantes enterrados à intrusão radicular de citros e café a médio prazo. In: 10 SIICUSP - SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 2002, Piracicaba. CD - ROM. São Paulo: Sonopress Rlmo Ind. e Com., 2002.

COELHO, Rubens Duarte; RESENDE, Ronaldo Souza. Biological clogging of Netafim's drippers and recovering process through chlorination impact treatment. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING / 2001 - USA, 2001, Sacramento - CA. Anais (CD ROM). St. Joseph: ASAE, 2001. v. 1.

VILLELA, Luiz Artur Alvarenga; RESENDE, Ronaldo Souza; SOARES, Adriano José; SÁ, Jocelito Sacol de; COELHO, Rubens Duarte. Entupimento de gotejadores em decorrência de pulsos de partículas sólidas na malha hidráulica. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2001, Foz do Iguaçu. Anais (CD ROM). Cascavel: Universitária, 2001.

Rupturas de tubulações em sistemas de irrigação localizada resultam, inevitavelmente, na entrada de partículas sólidas de solo para dentro da malha hidráulica ocasionando sérios problemas de entupimento de gotejadores no campo. Em um experimento realizado em condição de laboratório, foi avaliada a sensibilidade de cinco modelos de gotejadores ao entupimento de causa física, através da simulação de pulso de sujeira com partículas de solo, em função do tempo de operação, da posição de instalação do gotejador e da textura do solo (partículas intrusivas). Os resultados demonstraram que os gotejadores que ficaram voltados para baixo no tubogotejador, apresentaram níveis mais elevados de

redução de vazão. Os modelos Ram (RM) e Tiran (TR) demonstraram menor sensibilidade ao pulso de sujeira na malha hidráulica, enquanto que os modelos Streamline (SL), Dripline (DL) e Typhoon (TY) mostraram maior sensibilidade ao entupimento, apresentando uma redução significativa da vazão original após o pulso de sujeira na tubulação (Tabela 16).

Tabela 16. Vazão relativa, Qr, dos gotejadores em função da aplicação dos tratamentos

SOLO/MODELO	SOLO ARGILOSO					SOLO ARENOSO				
	SL	RM	DL	TR	TY	SL	RM	DL	TR	TY
GOTEJADORES USADOS										
ANTES DO PULSO										
P/CIMA	99	68	88	83	53	97	35	78	79	83
P/BAIXO	99	70	74	61	97	94	62	82	59	98
APÓS O PULSO										
P/CIMA	56	68	33	43	62	57	68	29	55	85
P/BAIXO	28	38	14	38	23	24	70	17	54	28
GOTEJADORES NOVOS										
ANTES DO PULSO										
P/CIMA	112	97	106	101	109	107	98	106	101	104
P/BAIXO	105	97	99	102	105	111	99	101	99	104
APÓS O PULSO										
P/CIMA	99	104	96	90	95	77	96	87	92	97
P/BAIXO	31	89	39	86	34	36	85	41	87	71

RESENDE, Ronaldo Souza; COELHO, Rubens Duarte. Eficiência da cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2000, Fortaleza, CE. Anais (CD ROM). Universitária, 2000. v. 1.

COELHO, Rubens Duarte; RESENDE, Ronaldo Souza. Susceptibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2000, Fortaleza, CE. Anais (CD ROM). Universitária, 2000. v. 1.

COELHO, Rubens Duarte; RESENDE, Ronaldo Souza; CASARINI, Edivaldo; FOLEGATTI, Marcos Vinícius. Ocorrência de entupimento de origem biológica em sistemas de irrigação por gotejamento no município de Atibaia, SP. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais. Universitária, 1999. v.1.

O entupimento de emissores constitui-se em um dos principais problemas relacionados à irrigação localizada. O uso de águas superficiais aliado à prática de fertirrigação potencializam o problema aumentando a possibilidade de entupimento causado por algas e bactérias. Os métodos usuais

de filtragem normalmente não são efetivos na prevenção do entupimento, uma vez que não conseguem reter a passagem de microorganismos. Avaliou-se uma parcela de um sistema de irrigação por gotejamento para produção de flores sob estufa, com 5 anos de uso, na propriedade do Sr. Ademar Maeda, no município de Atibaia-SP. Em uma amostra de 25 gotejadores o coeficiente de variação de fabricação médio para 8 pressões avaliadas entre 50 kPa e 400 kPa foi de 7,7%, comparado com o valor de 3% para o emissor novo. O expoente x da equação vazão x pressão do emissor avaliado foi igual a 0,1. Os valores de 73% para o coeficiente de uniformidade de aplicação de água, 97% para o coeficiente de uniformidade hidráulica e 26% para o coeficiente de performance do emissor, juntamente com a avaliação do resultado de análise química, física e de contagem bacteriológica da água amostradas na fonte de água, após sistema de filtragem e final de linha de gotejadores, permitiram evidenciar a ocorrência de entupimento de origem biológica afetando a uniformidade de aplicação de água do sistema. A maioria dos emissores com problemas mais severos de entupimento localizavam-se no final das linhas laterais.

4.3. Hidráulica de Sistemas

Na irrigação localizada, os distúrbios de vazão dos emissores decorrentes de fatores de entupimento, poderão aumentar inicialmente a vazão da parcela de irrigação nos emissores autocompensantes ou diminuir a vazão da parcela nos emissores convencionais. No caso de aumento da vazão, o primeiro sintoma notado é um aumento da amperagem do motor elétrico que resultará no desligamento automático do mesmo, caso o circuito de proteção da rede elétrica esteja funcionando adequadamente. No caso da redução de vazão do sistema, haverá um aumento de pressão na malha hidráulica decorrente da diminuição da perda de carga no sistema, que poderá ocasionar ruptura da tubulação no campo em sistemas hidráulicos sem a existência de válvulas de alívio (maioria dos projetos instalados). Em ambos os casos a operação do sistema de irrigação ficará prejudicada. Visando compreender melhor como a redução de vazão de uma parcela pode alterar a pressão da malha hidráulica, foi conduzido o seguinte trabalho:

FARIA, Luis Fernando; COELHO, Rubens Duarte; FLECHA, Pablo Alberto Nunez; ROBLES, Walter Geremias R; VÁSQUEZ, Manuel Antonio Navarro. Entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 195-198, 2002.

Este trabalho teve por objetivo quantificar a elevação de pressão na rede hidráulica

de um sistema de irrigação por gotejamento enterrado, quando ocorre redução da vazão por entupimento dos emissores. A área avaliada tem 280ha, irrigando citrus através de gotejamento subsuperficial, com emissores autocompensantes. A metodologia consistiu num modelo matemático baseado na equação de Bernoulli, utilizando recursos de programação de Visual Basic for Applications (VBA) para simular os efeitos do entupimento dos emissores nas subunidades de irrigação da malha hidráulica. Para avaliar a variação de pressão no sistema, simulou-se obstrução dos emissores de 0% à 100% e observou-se que a redução de vazão dos mesmos provocou aumento considerável de pressão na tubulação, sendo que com 50% de redução de vazão a malha hidráulica ficou comprometida em 80% de sua extensão. Descuido no controle da rotação do conjunto moto bomba diesel poderá comprometer seriamente a malha hidráulica do projeto de irrigação: para a situação analisada, caso a rotação do motor de 1750 rpm atinja 2100 rpm (20 % acima da ideal) para um nível de entupimento de 50%, a tubulação ficará acima da classe de pressão nominal em 98% de sua extensão. O problema poderá ser agravado caso o operador do sistema de irrigação no campo, ao perceber a redução da vazão dos emissores, aumente a rotação do conjunto moto bomba para maior pressurização do sistema.

Na Figura 73 observa-se a pressão nominal da tubulação e a pressão atual na malha hidráulica para a condição de projeto quando não existe entupimento dos emissores no campo. Observa-se que a pressão na malha hidráulica em todos os trechos do projeto hidráulico está sempre abaixo da pressão nominal da tubulação, indicando que o projeto foi adequadamente dimensionado para a rotação de bomba de 1750 rpm.

Figura 73 . Emissores operando na vazão nominal e moto bomba a 1750 rpm

Na eventualidade do nível de entupimento dos emissores chegar a 50 % da vazão nominal, observa-se na Figura 74 que grande parte da malha hidráulica irá operar com sobrepressão no sistema, o que poderá resultar em rompimento da tubulação no campo. Quanto mais o sistema romper no campo, mais partículas sólidas entrarão na tubulação, aumentando ainda mais o nível de entupimento e a pressão na malha hidráulica, o que resultará em um aumento da frequência de rompimento no campo.

Com base no modelo matemático idealizado, pode-se determinar uma nova rotação na bomba para que a pressão na tubulação não ultrapassasse o limite de pressão da tubulação. Na Figura 75, observa-se que com a bomba em rotação de 1500 rpm e nível de entupimento de 50%, consegue-se controlar a pressão em níveis adequados para a tubulação.

Figura 74. Emissores operando com 50% de entupimento e moto bomba a 1750 rpm

Figura 75. Emissores operando com 50% de entupimento e moto bomba a 1500 rpm

Na eventualidade dos operadores do sistema de irrigação aumentarem a rotação da moto-bomba para 2100 rpm, observa-se na Figura 76, que praticamente toda a malha hidráulica ficará comprometida.

Figura 76. Emissores operando com 50% de entupimento e moto bomba a 2100rpm

A idéia desenvolvida nesse trabalho de simulação hidráulica para entupimento dos emissores no campo evoluiu para uma orientação de dissertação de mestrado, desenvolvida pelo Engenheiro Guilherme Bussi de Carvalho, atualmente consultor técnico na área de irrigação da empresa RASA, localizada em Piracicaba –SP.

CARVALHO, Guilherme Bussi de. Dimensionamento e Simulação Hidráulica da Irrigação Localizada sob Condição Variável de Setores de Operação. 2004. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Rubens Duarte Coelho.

Este trabalho teve como objetivo, desenvolver um programa computacional em linguagem Visual Basic for Application para dimensionamento de qualquer malha hidráulica de sistemas de irrigação localizada para diferentes combinações de parcelas em funcionamento simultâneo na área (setores de operação), visando analisar o comportamento dos parâmetros dimensionais da malha hidráulica: vazão, velocidade da água, pressão real e pressão nominal ao longo da tubulação, pressão de entrada no cavalete das parcelas e rendimento do conjunto moto-bomba. O modelo foi aplicado a um projeto hipotético de irrigação localizada por microaspersão com emissores autocompensantes na cultura de citros. As equações utilizadas para os cálculos da perda de carga foram Hazen-Williams e Darcy-Weisbach, podendo o usuário do aplicativo escolher entre as duas fórmulas para realizar as simulações desejadas. O aplicativo mostrou-se eficiente nos cálculos hidráulicos, permitindo ao usuário, por meio das simulações, escolher qual a combinação de parcelas de funcionamento associadas às características do conjunto moto-bomba e às necessidades do produtor em utilizar o sistema que melhor se ajusta ao projeto de irrigação. A Figura 77 apresenta o fluxograma geral do aplicativo de acordo com as etapas a serem executadas.

Figura 77. Fluxograma geral do aplicativo PLANLOC 1.0

FIGUEREDO JÚNIOR, Luis Gonzaga Medeiros; SILVA, Guilherme Oliveira; COELHO, Rubens Duarte; ALVES JÚNIOR, José. Sistemas de automação na irrigação localizada. Engenharia Rural, Piracicaba, v. 15, n. único, p. 31-36, 2004.

OLIVEIRA, Cleomar Ferreira de; COELHO, Rubens Duarte; OLIVEIRA, Wagner de. Dimensionamento econômico de sistemas de filtragem para diferentes Mesh na irrigação localizada - 1. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Canoas. Anais - CD Room. Canoas:Universitária, 2005. v. 1.

OLIVEIRA, Cleomar Ferreira de; COELHO, Rubens Duarte; OLIVEIRA, Wagner de. Dimensionamento econômico de sistemas de filtragem para diferentes Mesh na irrigação localizada - 2. In: XV CONIRD - CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2005, Teresina. CD ROM. Teresina: Universitária, 2005.

MOUSINHO, Francisco Edinaldo Pinto; D'ALBUQUERQUE, Boanerges Siqueira; COELHO, Rubens Duarte. Características de design dos principais gotejadores disponíveis no mercado nacional. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Anais - CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

CORRÊA, Rodrigo Alessandro de Lima; CARVALHO, Guilherme Bussi de; LAURINDO, Valério Tadeu; COELHO, Rubens Duarte. Hidráulica de sistemas de irrigação por gotejamento dimensionado para linha dupla e operando inicialmente com linha simples. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Anais - CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

Atualmente a irrigação por gotejamento vem se expandindo em áreas de sequeiro no Brasil, principalmente nas culturas perenes de citrus e café. O projeto de irrigação por gotejamento dessas áreas pode ser dimensionado com linha simples ou com linha dupla de tubogotejadores, entretanto, nos pomares jovens, os irrigantes, optam no início pela implantação de apenas uma linha de tubogotejadores, visando reduzir o custo de implantação do sistema no primeiro ano. Como as plantas nesta fase inicial de desenvolvimento apresentam uma projeção de copa pequena, a irrigação da área com base em somente uma linha lateral é suficiente para suprir a necessidade hídrica da cultura.

Desse modo, é prática comum o dimensionamento do projeto de irrigação para operar com linha dupla, porém sendo a implantação inicial na área efetuada com linha simples. Neste caso poderá ocorrer um sobre pressão na malha hidráulica do sistema dentro das parcelas, pois com a redução em 50 % da vazão de projeto na linha de derivação (linha simples), reduz-se a perda de carga e aumenta-se a pressão na malha, podendo-se ultrapassar a pressão nominal das tubulações em alguns trechos, e em casos extremos, ocasionar ruptura da malha hidráulica, além de alterar a variação de pressão admissível dentro da parcela, o que poderá reduzir a uniformidade do sistema.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, o comportamento da pressão dentro de dois sistemas de irrigação por gotejamento, com emissores convencionais e autocompensados, dimensionados para operar com linhas duplas, mas inicialmente operando com linhas simples, em diferentes condições de topografia do terreno.

Nos resultados obtidos verificou-se que os sistemas dimensionados com emissores convencionais, inicialmente operando com linha simples, enquadram-se dentro dos padrões de dimensionamento somente quando a declividade na linha de derivação é nula. Para emissores são autocompensados, verificou-se que existe uma flexibilidade maior quanto a

declividade do terreno, sendo a pressão nominal da tubulação o limite para que não ocorra a ruptura da tubulação.

Analisando-se a Tabela 17, verifica-se que nas parcelas dimensionadas com emissores convencionais para operar com linha dupla na condição de declividade nula (0 %), a variação de pressão é reduzida quando esta opera com linha simples, melhorando a uniformidade do sistema. Isso ocorre devido à redução da perda de carga da derivação, ocorrida pela redução da vazão. Verifica-se que a perda de carga sofreu uma redução de 77% quando a redução da vazão foi de 50%, e que a pressão mínima na parcela passou de 10,27 mca para 11,43 mca, considerando um mesmo valor de pressão máxima na parcela (igual à pressão inicial).

Tabela 17. Valores da pressão no início da parcela (P início), Variação de pressão (ΔP), Pressão máxima (P máx), Pressão mínima (P mín) e Perda de carga na derivação (Hf) verificada na parcela quando operando com linha dupla e linha simples.

Linha dupla						Linha simples				
Declividade (%)	P início (mca)	ΔP (%)	P máx (mca)	P mín (mca)	Hf (mca)	P início (mca)	ΔP (%)	P máx (mca)	P mín (mca)	Hf (mca)
0	13,07	21,14	13,07	10,27	1,7	13,07	12,44	13,07	11,43	0,4
-2,5	11,50	21,53	12,54	9,84	5,5	11,50	32,45	15,48	10,45	1,5
-5,0	11,50	22,01	13,49	10,52	9,3	11,50	46,87	19,97	10,61	2,5
-7,5	15,00	22,22	18,90	14,70	15,0	15,00	47,00	27,90	14,80	4,1

Nas parcelas dimensionadas em declives uniformes, não se verifica o mesmo resultado, pois no dimensionamento da derivação considera-se o ganho de energia do sistema proveniente da energia potencial. Com isso é necessário aumentar a perda de carga através da redução do diâmetro da tubulação da derivação, para que a variação de pressão na parcela esteja conforme o critério de dimensionamento. Quando o sistema opera com linha simples, a perda de carga ocorrida não consegue compensar o ganho de energia potencial, aumentando a pressão máxima da parcela e conseqüentemente provocando o aumento da variação de pressão. Verifica-se que em todas os declives testados houve uma redução de aproximadamente 73% da perda de carga da tubulação da derivação,

provocando um aumento de 23% na pressão máxima da parcela com declive de 2,5% e 48% nas parcelas com declives de 5,0% e 7,5% ocasionando em inadequados valores de variação de pressão na parcela.

Na Figura 78 observam-se as curvas do comportamento da pressão ao longo da derivação em todas as situações de declividades estudadas. Comprova-se que quando a parcela se encontra no plano (Figura 78a), a pressão no final da derivação sofre pequenos incrementos que diminuem a variação de pressão do sistema, quando opera com linha simples. Entretanto, quando existem declives (Figura 78b, 78c, 78d) estes aumentos são mais pronunciados, aumentando a variação de pressão para fora do critério de dimensionamento. Percebe-se que quanto maior o declive, maior é a diferença entre a pressão no final da derivação comparando os projetos com linhas simples e duplas.

Figura 78. Pressão ao longo da derivação nas declividades de 0% (a), -2,5% (b), -5,0% (c) e -7,5% (d) em um projeto com emissores convencionais.

Na Tabela 18 observam-se os valores de pressão inicial, pressão máxima, pressão mínima e perda de carga na derivação para parcelas dimensionadas com emissores autocompensados. Nestes sistemas, o critério de dimensionamento não se baseia mais na variação de pressão da parcela e sim na pressão mínima e máxima do sistema, que devem atender à compensação da vazão do emissor e à pressão nominal da tubulação.

Tabela 18. Valores da pressão no início da parcela (P início), Pressão máxima (P máx), Pressão mínima (P mín) e Perda de carga na derivação (Hf) verificada na parcela quando operando com linha dupla e linha simples.

Declividade (%)	Linha dupla				Linha simples			
	P início (mca)	P máx (mca)	P mín (mca)	Hf (mca)	P início (mca)	P máx (mca)	P mín (mca)	Hf (mca)
0	32,0	32,0	10,0	1,43	32,0	32,0	11,0	0,38
-2,5	31,8	31,8	10,3	6,24	31,8	35,68	11,3	1,64
-5,0	31,0	33,4	10,5	8,94	31,0	39,49	10,6	2,48
-7,5	31,0	34,4	10,6	14,58	31,0	43,50	10,8	3,96

Verifica-se que mesmo ocorrendo uma redução de aproximadamente 73% da perda de carga na derivação, não ocorreria alteração da vazão dos emissores, pois a pressão mínima estaria acima do valor mínimo para a compensação (10 mca). Entretanto, observa-se que no declive de 5,0% a pressão máxima já atinge o limite da pressão nominal da tubulação, podendo ocorrer rupturas com a ocorrência de qualquer elevação inesperada da pressão no sistema. No declive de 7,5% este valor já é ultrapassado e possivelmente ocorreria a ruptura em algum trecho da tubulação.

A Figura 79 apresenta o comportamento da pressão ao longo da derivação, seguindo o mesmo comportamento das curvas para os emissores convencionais. Observa-se, na Figura 79d, que próximo ao trecho 20 ocorre o limite da pressão nominal da tubulação, e que a partir deste ponto pode ocorrer a ruptura da tubulação. Percebe-se que como no projeto com emissores convencionais, quanto maior o declive maior a diferença entre a pressão no final da derivação comparando os projetos com linhas simples e duplas.

Figura 79. Pressão ao longo da derivação nas declividades de 0% (a), -2,5% (b), -5,0% (c) e -7,5% (d) em um projeto com emissores autocompensados.

FRANCO, Ruben Alcides; CARVALHO, Guilherme Bussi de; COELHO, Rubens Duarte. Perda de carga localizada em diferentes emissores do tipo gotejador disponíveis no mercado nacional. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Anais - CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

O objetivo deste trabalho foi determinar a perda de carga localizada de 5 tipos de gotejadores comercializados no Brasil, três deles autocompensados e dois convencionais (quatro cilíndricos e um plano). Os emissores estudados foram: Carbodrip, Carbodrip PC, RAM 17D, Hydrogol 16 mm e Hydro PC. As equações teóricas utilizadas para determinar a perda de carga da linha sem gotejadores foram Hazen-Williams, Flamant, Darcy-Weisbach com f de Blasius e Darcy-Weisbach com f de Swamee. Para avaliar a perda de

carga na lateral com gotejadores os emissores foram tampados e o diferencial de pressão foi medido com um manômetro diferencial. Foram estabelecidas equações de gradiente de perda de carga J (m.m-1) para as cinco laterais, assim como equações potenciais para determinar o comprimento equivalente (le) em função da velocidade e da vazão, válidas quando a formula de Darcy-Weisbach com f de Blasius é utilizada na determinação da perda de carga. Foram determinados os valores médios do comprimento equivalente (le) dos cinco emissores para cada uma das fórmulas utilizadas (Figura 80). Os emissores cilíndricos apresentaram menor perda de carga localizada que o plano (RAM), em geral o valor do comprimento equivalente apresentou-se maior para vazões inferiores a 0,25 l. s-1. As equações de Hazen-Williams e Flamant apresentaram valores de perda de carga inferiores e superiores respectivamente em relação as outras formulas.

Figura 80. Comprimento equivalente em função da velocidade de escoamento

CARVALHO, Guilherme Bussi de; COELHO, Rubens Duarte; FRANCO, Ruben Alcides. Simulação hidráulica de diferentes combinações de parcelas em blocos de operação na irrigação localizada. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

FIGUEREDO JÚNIOR, Luis Gonzaga Medeiros; SILVA, Guilherme Oliveira; COELHO, Rubens Duarte; ALVES JÚNIOR, José. Sistemas de automação na irrigação localizada. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Anais CD - ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

SOARES, Tales Miles; SANTOS, Marcio Aurélio Lins dos; COELHO, Rubens Duarte. Velocidades mínimas para limpeza de partículas de areia em tubulações de polietileno. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Anais - CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

A limpeza das tubulações com água corrente além de ser uma prática de manejo complementar ao sistema de filtragem e ao controle químico, trata-se de uma atividade essencial e mantenedora do sucesso na irrigação localizada. Muitos fragmentos chegam na tubulação como pequenas partículas que se juntam posteriormente, podendo causar problemas de obstrução. Estas pequenas partículas são leves o suficiente para serem suspensas e prontamente transportadas pelo fluxo de água quando a velocidade é alta. Entretanto, a velocidade da água num sistema de microirrigação diminui ao longo do comprimento da tubulação nas linhas laterais. Ao final da linha lateral, o fluxo da água é reduzido para a taxa de vazão dos últimos emissores. Muitos fragmentos são acumulados neste ponto porque a velocidade não é suficiente para carregá-los. Como resultado, as pequenas partículas se assentam no fundo das tubulações, sendo este o motivo pelo qual a obstrução dos emissores, por esta causa, normalmente ocorrer no fim das linhas laterais.

A acumulação de fragmentos nas tubulações pode ser removida com o fluxo de água corrente. Mas, para que a limpeza das tubulações seja eficiente, deve-se utilizar velocidades de fluxo suficientes para desalojar e transportar as partículas acumuladas. A velocidade mínima requerida e difundida na literatura para limpeza de linhas laterais varia de 0,3 a 0,6 m s⁻¹. A norma da ASAE (1998) recomenda como velocidade mínima 0,3 m s⁻¹. Conforme Smajstrla e Boman (2002), a velocidade de 0,6 m s⁻¹ é especialmente recomendada quando se necessita descarregar partículas maiores.

A preconização dos valores de velocidade abrangidos entre 0,3 e 0,6 m s⁻¹ como mínimos para a limpeza de tubulações mediante água corrente é usual. Entretanto, atualmente, tem-se discutido como se determinaram hidraulicamente estes valores como ideais. Atentando-se para a escassez de pesquisas comprobatórias para estes valores, são objetivos do presente trabalho: testar os valores de velocidade recomendados usualmente

pela literatura especializada e avaliar a velocidade mínima da água requerida para a limpeza de diferentes granulometrias de areia.

O experimento foi conduzido para a determinação da velocidade mínima de limpeza das linhas laterais, utilizando-se uma tubulação de polietileno com 20 m de comprimento e diâmetro interno de 20,6 mm, operando com vazão contínua (sem emissores). Foram utilizadas amostras de areia com as seguintes frações: 1-2mm (areia muito grossa); 0,5-1mm (areia grossa); 0,25-0,5mm (areia média) e 0,105-0,25mm (areia fina). As classes granulométricas foram obtidas, respectivamente nas peneiras de 18, 35, 60 e 150 mesh, mediante tamisação em aparelho elétrico, por 20 minutos, procedendo-se posteriormente uma re-tamisação para cada classe individualmente.

No ponto de derivação da água foi instalado um filtro de disco para garantir o fornecimento de água isenta de partículas. Tão logo determinada e ajustada a vazão da água, pelo método da pesagem, inseria-se no início da linha 20 g de areia. Foram estudadas as seguintes velocidades: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,9 m s⁻¹. Ao final da linha, instalou-se uma bateria de sete peneiras constituídas de tecido filtrante (bember) suportado em reservatório de PVC, para possibilitar a recuperação das partículas.

Trocaram-se as peneiras em intervalos de tempo constantes, sendo suas paredes enxaguadas com água limpa. Posteriormente, sobre uma bancada expurgada, retiraram-se os tecidos filtrantes, procedendo-se análise visual para a presença de partículas. Os tecidos foram então enumerados pela seqüência de uso e posteriormente embalados em sacos de papel, sendo levados à secagem em estufa. A quantidade de areia recuperada em cada intervalo foi determinada em balança de precisão, permitindo-se calcular a taxa de recuperação das partículas (eficiência de limpeza) ao longo do tempo.

Como critério para eleição da velocidade mínima, arbitrou-se que o tempo ótimo para limpeza da tubulação é inferior ou igual a 3 minutos, sendo tolerado o intervalo de 3 a 5 minutos, e inadmissíveis tempos acima de 5 minutos. Entre um ensaio e outro, assegurou-se a condição de limpeza da tubulação, deixando-a fluxando por um longo período ou imprimindo-lhe uma vazão de saída alta. O montante assim recuperado foi considerado resíduo para o cálculo da eficiência da limpeza.

Analisando-se a recuperação acumulada da areia, tem-se que para as velocidades mais baixas as partículas de maior granulometria são mais rapidamente transportadas pela água. À velocidade de $0,3 \text{ m s}^{-1}$, as partículas de areia muito grossa foram quase totalmente retiradas ao tempo de fluxo de 5 minutos, apresentando uma eficiência de limpeza de 98,40%. Para as mesmas condições, as eficiências para limpeza das demais granulometrias foram bem inferiores: 29,4% para areia grossa; 19,1% para areia média e; 0,2 % para areia fina (Figura 81). Esses resultados contrariam a observação de Smajstrla e Boman (2002) de que maior velocidade é especialmente recomendada quando se necessita descarregar partículas maiores.

Figura 81. Eficiência de limpeza para velocidade de $0,3 \text{ m s}^{-1}$.

Para as velocidades de $0,4$ e $0,5 \text{ m s}^{-1}$, o mesmo comportamento foi observado. Verificou-se que para estas velocidades, quanto maior a granulometria, menor o tempo gasto para sua limpeza. À velocidade de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 82), verificou-se 100 % de eficiência aos tempos de 3, 4 e 5 minutos, respectivamente, para as partículas de areia muito grossa, areia grossa e areia média. Com $0,4 \text{ m s}^{-1}$, conseguiu-se uma eficiência de 71,55% para a areia fina, com 5 minutos de operação. É interessante observar que à velocidade de $0,5 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 83), as máximas eficiências de limpeza para as partículas de areia muito grossa, areia grossa e areia média foram atingidas com os mesmos tempos de operação que à velocidade de $0,4 \text{ m s}^{-1}$, mas conseguindo-se uma eficiência de 99,8 % para a areia fina aos 5 minutos.

Figura 82. Eficiência de limpeza para velocidade de $0,4 \text{ ms}^{-1}$.

Figura 83. Eficiência de limpeza para velocidade de $0,5 \text{ ms}^{-1}$.

Para a velocidade de $0,6 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 84), com 1,5 minuto se limpou completamente a tubulação para todas as granulometrias, verificando-se que as diferenças registradas para o tempo de limpeza tornaram-se amenizadas, sobretudo para as duas menores granulometrias avaliadas. À velocidade de $0,9 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 85), a máxima eficiência de limpeza para todas as granulometrias foi alcançada com 1 minuto de operação, registrando-se uma possível mudança comportamental da granulometria sobre o tempo de limpeza. Sinaliza-se esta possibilidade porque as partículas menores (0,105-0,25mm) passaram a ter a mesma taxa de limpeza que as maiores (1-2mm), e superando as partículas de tamanhos intermediários.

Figura 84. Eficiência de limpeza para velocidade de $0,6 \text{ ms}^{-1}$.

Figura 85. Eficiência de limpeza para velocidade de $0,9 \text{ ms}^{-1}$.

Considerando que as partículas são depositadas ao final da linha lateral, e arbitrando-se que a faixa crítica de suscetibilidade ao entupimento está compreendida nos 20 m finais, foi possível delinear as seguintes conclusões:

- A granulometria das partículas de areia implica no requerimento de velocidade de água corrente necessária à sua limpeza das tubulações, sendo que partículas maiores podem ser retiradas da tubulação mediante velocidades menores ou ainda utilizando menor tempo operacional.

- A velocidade de 0,3 m s⁻¹ mostrou-se insuficiente para limpeza de partículas de areia, sendo somente tolerada para limpá-las quando sua granulometria foi de areia muito grossa. A recomendação desta velocidade deve ser reconsiderada, já que não permite a descarga de partículas de areia fina. Para a velocidade de 0,6 m s⁻¹, conseguiu-se limpar todas as partículas com 1,5 minutos de operação.
- Alternativamente, para classes de areia grossa e média, poder-se-á utilizar a velocidade de 0,4 m s⁻¹ quando as condições de projeto permitirem fluxo por mais de 5 minutos. O uso da velocidade de 0,5 m s⁻¹ permite, por sua vez, a limpeza de partículas de areia fina dentro do mesmo intervalo.

FARIA, Luis Fernando; COELHO, Rubens Duarte; CARRARO, Denis Cesar; RESENDE, Ronaldo Souza. Histerese em gotejadores autocompensantes novos. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2002, Salvador. ANAIS - CD ROM. Cruz das Almas: Universitária, 2002. v. 1, p. 1.

Os emissores autocompensantes apresentam o esponte x , da equação característica *vazão $\times$ pressão* próximo de zero. O fenômeno da histerese em emissores autocompensantes poderá resultar diferentes valores de vazão para uma mesma pressão. Este trabalho teve por objetivo quantificar a ocorrência do fenômeno da histerese em emissores autocompensantes novos comercializados no Brasil. Foram utilizados 7 modelos de gotejadores, autocompensantes sendo eles: Carbo Drip PC (Carborundum), Naan Tif PC (Naan), Hydro PC (Plastro), Drip Line PC (Rain Bird), Ram (Netafim), Drip In PC (Drip In), Vip (Irrimom). Selecionaram-se 10 emissores de cada modelo que foram submetidas a 7 níveis de pressões entre 5 a 35 mca, determinando-se a vazão dos gotejadores, tanto para o regime de pressurização como para o regime de despressurização do sistema hidráulico. Concluiu-se que todos os modelos de emissores ensaiados apresentaram histerese na vazão em função da variação de pressão. Foi observada uma diferença máxima de 5,75% entre as vazões na pressurização e despressurização para o modelo Drip Line. O emissor Carbo Drip PC, apresentou diferença máxima de -9,1%. Para o modelo Vip a diferença máxima foi de 6,75% e para o modelo Drip In PC foi de 8,44%. Já os emissores Ram, Hydro PC e Naan Tif PC, apresentaram diferenças máximas de 6,24%; 8,54% e 15,14%, respectivamente. O valor da pressão em que o fenômeno de histerese foi mais intensivo não

foi igual para todos os emissores, mas de forma geral, as maiores diferenças ocorreram para as menores pressões de ensaio. A curva *vazão vs pressão* de despressurização, apresentou valores de vazão inferiores aos valores obtidos na curva de pressurização (Figura 86). O equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação pode sofrer efeito dessa histerese após eventos de retro-lavagem dos filtros por exemplo.

Figura 86. *Curvas de vazão* de pressurização (ida) e despressurização (volta), obtidas a partir de ensaios de laboratório com gotejadores autocompensantes.

FARIA, Luis Fernando; CARRARO, Denis Cesar; COELHO, Rubens Duarte; RESENDE, Ronaldo Souza. Vazão vs Pressão de gotejadores não autocompensáveis. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2002, Salvador. ANAIS - CD ROM. Cruz das Almas: Universitária, 2002. v. 1, p. 1.

FARIA, Luis Fernando; FLECHA, Pablo Alberto Nunez; ROBLES, Walter Geremias R; VASQUEZ, Manuel Antonio Navarro; COELHO, Rubens Duarte. Efeitos do entupimento dos emissores na malha hidráulica de um sistema de irrigação por gotejamento enterrado. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2001, Foz do Iguaçu. Anais (CD ROM). Cascavel: Universitária, 2001.

4.4. Considerações

De acordo com os trabalhos apresentados ao longo do Capítulo 4, observa-se que o autor apresenta um conjunto consistente de trabalhos desenvolvidos na irrigação por gotejamento, em diferentes áreas do conhecimento, abrangendo os aspectos agrônômicos, os aspectos hidráulicos e os aspectos operacionais desse sistema.

O projeto temático de pesquisa sob sua coordenação: *Monitoramento e Controle do Entupimento na Irrigação por Gotejamento*, estará disponibilizando nos próximos anos, uma grande quantidade de informações sobre o desempenho desses emissores em diferentes condições de operação no campo, o que sem dúvida contribuirá para a consolidação dessa linha de pesquisa dentro do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da ESALQ / USP, resultando na formação de recursos humanos capacitados para atuarem nessa área específica do conhecimento, assim como, divulgando informações inéditas em eventos técnico-científicos no Brasil e no exterior. Espera-se que seja possível abrigar continuamente nesse projeto temático de pesquisa 4 alunos de pós-graduação e 4 alunos de iniciação científica ao longo dos próximos 10 a 20 anos.

O futuro projeto de pesquisa a ser submetido à FAPESP, referente à porcentagem de área molhada no solo, sob condição de ambiente controlado (estufa), deverá tornar-se também um outro projeto temático de grande importância para a irrigação localizada de culturas perenes no Brasil. A inclusão de subprojetos voltados para a quantificação de aspectos fisiológicos das plantas (fluxo de seiva, potencial de água no planta, condutividade estomática, qualidade de floradas, produtividade, etc.) resultará em um conhecimento mais abrangente da tecnologia do gotejamento nas culturas de citros e café.

Um ponto fraco observado nesses trabalhos em irrigação por gotejamento é a falta de interação com outras universidades e centros de pesquisas. Espera-se que os contatos já efetuados com alguns professores e pesquisadores resultem em projetos conjuntos nos próximos anos, de modo a aumentar a massa crítica envolvida nessa temática de trabalho. A falta de interação científica entre pesquisadores brasileiros na área e Engenharia de Irrigação Pressurizada é fato notório observado na maioria das instituições de ensino e pesquisa.

A incorporação de pesquisadores em regime de pós-doutorado proporcionará ganhos significativos de qualidade nos trabalhos de pesquisa a serem implementados.

Com base nos conhecimentos a serem adquiridos pelo estudo dos emissores disponíveis no mercado mundial, espera-se que seja possível patentear novos padrões de gotejadores, mais adaptados às condições de qualidade de água e de operação no campo encontrados no Brasil.

Com relação ao gotejamento subterrâneo o autor espera conduzir trabalhos de pesquisas nos próximos anos, enfocando a eficiência de diferentes dosagens do herbicida trifluralina no controle do intrusionamento radicular em culturas perenes, para diferentes texturas e níveis de matéria orgânica no solo. Outro aspecto a ser estudado é a questão hidráulica do sistema de irrigação (uniformidade) sob condição de aplicação de gás carbônico e ar atmosférico no sistema de gotejamento enterrado ou superficial.

Capítulo 5. Contribuições em Recursos Hídricos e Energéticos

5.1. Recursos Hídricos

5.2. Recursos Energéticos

5.3. Considerações

5.1. Recursos Hídricos

A irrigação pressurizada requer para seu pleno funcionamento a disponibilidade dos insumos básicos: *água e energia*. Na área de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, o autor orientou dois artigos científicos, sendo que o primeiro explora o potencial de uso dos aquíferos profundos na irrigação de culturas no Brasil, enquanto que o segundo analisa a disponibilidade hídrica em diferentes unidades de gerenciamento no Estado de São Paulo.

FERRAZ, Priscylla; MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara; MORO, Michele; COELHO, Rubens Duarte. Águas subterrâneas e seu potencial de uso na irrigação do Brasil. Item: Integração e Tecnologia Moderna, Brasília, v. 56, p. 72-74, 2005.

MORO, Michele; FERRAZ, Priscylla; COELHO, Rubens Duarte. Diagnósticos de vazões disponíveis x ETo nas unidades de gerenciamento de recursos hídricos no Estado de São Paulo. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Canoas. Anais CD ROM. Canoas: Universitária, 2005. v. 1.

FERRAZ, Priscylla; MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara; MORO, Michele; COELHO, Rubens Duarte. Águas subterrâneas e seu potencial de uso na irrigação do Brasil. In: XV CONIRD – CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2005, Teresina. CD ROM. Teresina: Universitária, 2005.

FERRAZ, Priscylla; MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara; MORO, Michele; COELHO, Rubens Duarte. Águas subterrâneas e seu uso na irrigação. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Pelotas. Anais - CD Room. Pelotas: Universitária, 2005. v. 1.

O primeiro artigo publicado apresenta as reservas hidrogeológicas do Brasil, sua distribuição e potencialidades para fins de irrigação nas diferentes regiões geográficas do país. Foi analisado o potencial da água subterrânea, em termos de área irrigável, nas regiões de Bebedouro-SP, Mossoró-RN, Petrolina-PE, Picos-PI e Rio Verde-GO, com diversas culturas, reunidas em três grupos semelhantes quanto à demanda hídrica na fase de maior consumo. Considerando a vazão média dos aquíferos e o consumo de água das culturas nas determinadas regiões como as únicas limitações, sugere-se que exista um potencial

significativo de crescimento das áreas irrigadas por poço perfurado para as condições estudadas, que pode ser visualizado na Tabela 19. Os recursos hídricos subterrâneos no Brasil representam uma alternativa viável, tanto em termos quantitativos como quantitativos e econômicos, sendo uma opção atrativa para investimentos, inclusive para fins de irrigação. As simulações feitas neste trabalho permitem a visualização do possível estabelecimento de áreas irrigadas em algumas regiões do país, variando de 6 a 835 ha, de acordo com a potencialidade do aquífero e da evapotranspiração de referência de cada região analisada.

Tabela 19. Área potencial irrigável com água subterrânea nas regiões de Bebedouro-SP, Mossoró-RN, Petrolina-PE, Picos-PI e Rio Verde-GO.

Regiões	Vazão dos poços perfurados no aquífero ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Grupo Culturas	Necessidade de Irrigação ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Área Potencial Irrigável (ha)
Bebedouro - SP	300 – 1000	1	1,5	200,0 – 666,7
		2	1,2	250,0 - 833,3
		3	1,8	166,7 - 555,5
Mossoró - RN	100 – 300	1	3,5	28,6 - 85,7
		2	2,9	34,5 - 103,4
		3	2,3	43,5 - 130,4
Petrolina - PE	25 – 100	1	3,4	7,3 - 29,4
		2	2,8	8,9 - 35,7
		3	4,0	6,2 - 25,0
Picos - PI	100 – 1000	1	5,3	18,9 – 188,7
		2	4,3	23,2 - 232,6
		3	6,2	16,1 - 161,3
Rio Verde - GO	200	1	1,8	111,1
		2	1,4	142,8
		3	2,0	100,0

5.2. Recursos Energéticos

Com relação ao custo variável da irrigação, a energia utilizada para pressurização do sistema representa a maior parcela e, dependendo da característica do projeto, poderá representar até 70% do custo total anual do sistema. O custo da energia consumida na irrigação depende da fonte de energia, da potência instalada e da eficiência do conjunto moto-bomba. Diversas são as fontes de energia para acionamento de sistemas de bombeamento, dentre as quais, as da eletricidade, de origem hidráulica, eólica e solar; as dos combustíveis fósseis (diesel, gasolina e gás natural); as dos combustíveis renováveis

(metanol, álcool, e gases provenientes da fermentação de matérias orgânicas diluídas em água nos biodigestores, que são bastante comuns na Índia e China). Embora existam várias fontes de energia para acionamento dos motores, a hidroeletricidade e o diesel são as mais utilizadas no Brasil .

Na área de recursos energéticos aplicados à irrigação de culturas, o autor orientou diversos trabalhos de pesquisa, enfocando os custos do acionamento de bombas de irrigação com base em motores diesel e motores elétricos, levando em consideração as modalidades de tarifas disponíveis para os agricultores irrigantes (tarifas: convencional, verde e azul).

MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara; SANTOS, Ronaldo Antonio dos; LIER, Quirijn de Jong Van; COELHO, Rubens Duarte. Aspectos econômicos da energia elétrica em sistemas de irrigação no Brasil. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Pelotas. Anais - CD Room. Pelotas: Universitária, 2005. v. 1.

MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara; FERRAZ, Priscylla; SANTOS, Ronaldo Antonio dos; COELHO, Rubens Duarte; TEIXEIRA, Marconi Batista. Viabilidade econômica de motores diesel em áreas irrigadas do Brasil. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Canoas. Anais -CD Room. Canoas: Universitária, 2005. v.

ALVES JÚNIOR, José; FIGUEREDO JÚNIOR, Luis Gonzaga Medeiros; COELHO, Rubens Duarte; ZOCOLER, João Luis. Custo da energia elétrica na irrigação. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Goiânia: Universitária, 2003.

ALVES JÚNIOR, José; COELHO, Rubens Duarte; FIGUEREDO JÚNIOR, Luis Gonzaga Medeiros; ZOCOLER, João Luis. Com ou sem energia elétrica?. Cultivar Máquinas, Pelotas, v. 34, p. 36-38, 01set. 2004.

COELHO, Rubens Duarte; ZOCOLER, João Luiz; ALVES JÚNIOR, José; FIGUEREDO JÚNIOR, Luis Gonzaga Medeiros. Quanto custa a energia elétrica na irrigação. Agrianual 2004, São Paulo, v. 1, p.19-23.

PEREIRA, Edilaine Regina; COELHO, Rubens Duarte; ROCHA, Pauletti Karlien. Custo de bombeamento de água para irrigação no Brasil. Agrianual 2003 - FNP (Oesp), São Paulo, v. 1.

ROCHA, Pauletti Karlien; PEREIRA, Edilaine Regina; COELHO, Rubens Duarte. Adução de água para irrigação : Análise econômica. Bahia Agrícola, Salvador BA, v. 6, n. 1, p. 41-49, 2004.

Com relação aos trabalhos desenvolvidos em 2005 a utilização do motor elétrico na irrigação pressurizada apresenta-se mais vantajosa economicamente do que o motor diesel, para os casos em que a potência instalada é grande e quando não é preciso fazer investimentos significativos na rede de energia elétrica. Desse modo foi possível encontrar um indicativo de viabilidade econômica de implantação e operação de motores diesel e

elétricos, em função da distância da rede de energia elétrica que venha a ser construída até o local de consumo, em função do número de horas de funcionamento por ano e do tipo de tarifa adotada.

Na Tabela 20 é apresentada a extensão da rede de energia elétrica a partir da qual viabiliza-se o uso do motor diesel na irrigação. Observa-se na região Sudeste que a irrigação durante 4 meses do ano deve ser feita com base em motores elétricos, caso o comprimento da rede de energia a ser construída seja menor que 11 km de extensão; caso contrário a opção pelo motor diesel é mais interessante. Já na região Nordeste, para períodos de irrigação de 9 meses no ano, o motor diesel é mais econômico para extensões de rede elétrica maior do que 17 Km.

Tabela 20. Extensão mínima da rede elétrica de 75 KVA Trifásico, em Km, para as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, com 2, 4, 6 e 9 meses de irrigação (21 h/dia) nas tarifas Azul, Verde e Convencional Tipo A, que viabiliza o uso do motor diesel

Regiões	Tempo de Irrigação	Tarifas		
		Azul	Verde	Convencional
Norte	2	4,32	4,23	3,77
	4	8,21	8,05	7,04
	6	12,07	11,83	10,31
	9	17,92	17,57	15,22
Nordeste	2	4,22	4,11	3,65
	4	8,01	7,82	6,88
	6	11,76	11,48	10,11
	9	17,47	17,06	14,96
Centro-Oeste	2	4,16	4,06	3,54
	4	7,90	7,77	6,65
	6	11,58	11,37	9,76
	9	17,21	16,98	14,43
Sudeste	2	3,99	4,02	3,29
	4	7,58	7,65	6,18
	6	11,12	11,23	9,07
	9	16,53	16,69	13,40
Sul	2	4,35	4,21	3,82
	4	8,25	8,00	7,20
	6	12,11	11,75	10,57
	9	17,97	17,46	15,65

Na Tabela 21 é apresentado o custo anual total para o acionamento de um motor com 100 CV de potência para diferentes regiões do Brasil, para diferentes meses de operação anual do sistema de irrigação. Na região Sudeste o custo horário desse motor em funcionamento é em torno de R\$ 7,22 (4 meses de operação anual). Já para a região Nordeste o custo horário é de R\$ 6,39 (9 meses de operação anual).

Tabela 21. Custo horário com energia elétrica de um sistema de irrigação, operando com 21 horas/dia (horário fora de ponta), em função do tipo de tarifa e horas de bombeamento nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul

Regiões	Tempo de Irrigação	Custo anual R\$/100 cv de potência		
		Tarifa Azul	Tarifa Verde	Tarifa
Norte	2	4,95	5,68	9,61
	4	4,99	5,64	9,61
	6	5,09	5,72	9,61
	9	4,88	5,49	9,61
Nordeste	2	6,07	6,89	10,57
	4	5,78	6,55	10,25
	6	5,80	6,54	10,14
	9	5,66	6,39	10,06
Centro-Oeste	2	6,54	7,34	11,45
	4	6,25	6,76	11,16
	6	6,27	6,84	11,06
	9	6,12	6,53	10,99
Sudeste	2	7,86	7,63	13,38
	4	7,48	7,22	13,00
	6	7,50	7,21	12,88
	9	7,32	7,03	12,80
Sul	2	5,03	6,11	9,22
	4	4,86	5,82	8,99
	6	4,88	5,83	8,92
	9	4,79	5,69	8,87

Outra maneira interessante de apresentar o custo energético da irrigação é através do custo do m³ aduzido em função da distância e do desnível geométrico, conforme resultados obtidos nos trabalhos publicados nos anos 2003 e 2004. Para a região de Petrolina – PE observa-se nas Figuras 87 e 88 que o custo do m³ aduzido pode variar entre 1 a 7 centavos de reais, quando de utiliza o motor elétrico, enquanto que o custo do motor diesel seria entre 2 e 17 centavos de reais.

Duas variáveis de destaque no custo do volume aduzido em áreas irrigadas são: o desnível de recalque e o comprimento da adutora. Observa-se que para a iniciativa privada, distâncias de bombeamento maior do que 3.000 m e desníveis superiores a 100 m, praticamente inviabilizam o retorno econômico do empreendimento para as culturas mais extensivas : feijão, milho, etc.

Figura 87. Valores de adução de água para a região de Petrolina - PE, considerando-se diferentes desníveis e comprimentos de adutora para motor elétrico.

Figura 88. Valores de adução de água para a região de Petrolina - PE, considerando-se diferentes desníveis e comprimentos de adutora para motor diesel.

5.3. Considerações

Observa-se uma atuação mais concentrada do autor em trabalhos referentes aos custos de energia (elétrica e diesel) utilizadas nos sistemas de irrigação pressurizada. É importante que esses trabalhos sejam atualizados periodicamente para que sejam computados os aumentos de tarifas e combustíveis com o passar dos anos.

Capítulo 6. Contribuições na Viabilidade Econômica da Irrigação Pressurizada

6.1. Análise Econômica de Projetos

O Custo total anual da irrigação (CTA_I) pode ser calculado, somando-se o Custo Fixo anual com o Custo Variável anual.

$$CTA_I = \underbrace{CFA}_{\text{Custo fixo anual}} + \underbrace{CVA}_{\text{Cust Variável anual}}$$

O custo fixo anual do sistema de irrigação é calculado com base na soma da depreciação do sistema de irrigação e dos juros bancários sobre o valor de empréstimo do equipamento ou do custo de oportunidade do valor investido quando se utilizam recursos próprios. Observa-se que o preço de aquisição do sistema de irrigação não se limita somente ao equipamento hidráulico, devendo contemplar também a rede de energia elétrica, a construção de barragem ou reservatórios, a construção da casa de bombas (infra-estrutura), os equipamentos de controle e monitoramento da irrigação (estação meteorológica e sensores de umidade de solo), eventual custo ambiental (plantio de floresta na relação de 1:10 de área inundada) e outros custos menores: projetos de outorga (EVI), despesas de cartório, serviços bancários, abertura de valetas, transporte e montagem do material no campo, etc.

O custo variável anual é calculado com base no custo energético de pressurização do sistema hidráulico com base em energia elétrica ou diesel (em R\$ / kw.h⁻¹ ou R\$ / litro de diesel), nos custos de manutenção (principalmente de motores diesel e desobstruções de emissores no campo), no custo do insumo água (cobrança futura) e nos custos de gerenciamento do sistema.

Com o intuito de se tornarem transparentes os critérios usualmente utilizados em análise de projetos de investimento, o retorno econômico de um sistema de irrigação deve ser calculado também com base no fluxo de caixa projetado, que simula uma seqüência de receitas líquidas a serem concretizadas ao longo dos anos. O fluxo de caixa é, muitas vezes, mais importante que o próprio custo total anual da irrigação (CTA_I), pois diz respeito ao saldo bancário (mês a mês) existente ao longo do investimento, desde o início do mesmo.

Logo, é fundamental que seja apresentada a previsão mensal do fluxo de caixa, ao longo do projeto para que seja analisada a capacidade de geração de receita ao longo do período de operação, de tal modo que seja possível manter o projeto em funcionamento, mesmo quando não houver previsão de receitas em um determinado período, sendo necessário recorrer a empréstimos bancários ou efetuar a transposição de recursos de outras fontes.

O capital tem um custo no tempo; esse custo é representado pela taxa de juros. Assim, para se determinar qual o retorno desse projeto e estabelecer no presente (momento da tomada de decisão) se é interessante ou não investir nesse empreendimento, é preciso estabelecer qual o valor equivalente desse fluxo no presente. A taxa de juros está intimamente ligada ao fator de risco envolvido. Um investidor com alto patrimônio e com alta rentabilidade, proveniente de outros negócios, por exemplo, está habilitado a arriscar mais. Entretanto, a questão do risco é de complexa quantificação e merece estudos mais aprofundados em cada caso.

O valor presente de algum montante a ser realizado no futuro é função do custo de oportunidade do capital e da distância temporal entre o presente e o futuro: quanto maior o custo de oportunidade (medido pelo juro) tanto menor o valor presente daquele valor futuro. Analogamente, quanto maior o intervalo de tempo entre o presente e o futuro, menor o valor presente daquele montante futuro. Pode-se, então, resumir a questão: para comparar valores em diferentes períodos é preciso torná-los homogêneos em algum momento do tempo; como a decisão deve ser tomada no presente, cabe transformar todos os valores projetados em seu correspondente no presente, considerando custo de oportunidade do capital (que é o que determina o valor relativo no tempo).

O método do **Valor Presente Líquido (VPL)**, nada mais é do que a soma descontada dos fluxos líquidos anuais. Este método consiste em trazer as receitas líquidas de cada ano do projeto para a data inicial e somá-las, descontando a uma taxa de juros r que mede o custo do capital. Quanto maior a taxa de desconto, menor o valor presente do projeto. A taxa de desconto é, portanto, elemento chave na avaliação de projetos. A taxa de desconto a ser utilizada deve ser determinada pelo tomador de decisão. Cada agente possui seu custo de oportunidade do capital. Em geral, conforme aumenta a riqueza de um agente ele se depara com possibilidades de investimento que apresentam taxas de retorno superiores.

Ademais, os agentes apresentam diferentes graus de aversão ao risco e, como será comentado adiante, risco se associa ao retorno. É possível, portanto, que em seu *portfólio* de investimentos um determinado empresário queira investir em atividades de menor risco.

Outro critério freqüentemente utilizado é o da **Taxa interna de retorno (TIR)**. Por definição, taxa interna de retorno é a taxa de desconto que torna o valor presente do fluxo líquido igual a zero. Ou seja, é uma taxa limite: qualquer taxa de desconto inferior a TIR resultaria em VPL positivo; qualquer taxa de desconto superior a mesma resultaria em um VPL negativo. A taxa interna de retorno permite, portanto, que rapidamente se estabeleça se vale a pena investir no projeto: se o custo de oportunidade for superior a TIR o projeto não é suficientemente remunerador; qualquer retorno alternativo inferior a TIR sugeriria a implantação do projeto. Generalizando, uma TIR mais alta é sempre mais interessante que uma TIR baixa.

O **Tempo de Retorno do Capital, ou Payback**, também é um critério comumente utilizado. Refere-se ao número de anos para que o fluxo líquido acumulado torne-se positivo. Pode ser classificado em simples ou econômico. O tempo de retorno simples é o número de anos necessários para que a empresa recupere o capital inicial investido no projeto, sem considerar o valor do dinheiro no tempo. Por não considerar o valor do capital no tempo, este método não é muito recomendado para avaliação de projetos. O tempo de retorno econômico, ao contrário do *payback* simples, considera o valor do capital no tempo, sendo então um método simples de avaliação de projetos. Calcula-se o tempo que faz com que o VPL torne-se nulo a uma determinada taxa de desconto.

A idéia central da **Relação benefício/custo** é averiguar se os benefícios são superiores aos custos. O critério para aprovação do projeto é ter um índice B/C maior que 1, ou seja, as receitas (benefícios) maiores que os custos.

De todos os métodos de análise econômica de projetos citados acima, o único que mostra a dimensão do projeto é o VPL, por ser apresentado em valores monetários. Um projeto de um pequeno produtor, cujo capital a ser investido é pequeno pode ter a mesma TIR, tempo de retorno ou relação benefício/custo que um projeto de um grande produtor,

que vai investir um montante maior que o pequeno, porém VPL é capaz de mostrar a diferença na escala dos projetos.

Nem todos os agricultores irrigantes estão aptos a calcular e a interpretar de maneira adequada a viabilidade econômica de um projeto de irrigação com base nos índices apresentados anteriormente; em muitos casos é preciso recorrer a uma consultoria econômica especializada. Uma maneira interessante de interpretar a viabilidade econômica de um projeto de irrigação é apresentar o **Incremento de Produtividade Mínimo** que deverá ocorrer na cultura de sequeiro em condição de irrigação suplementar para viabilizar o uso da irrigação nessa cultura. Propõe-se então a instalação de um projeto-piloto que comprove o aumento de produção requerido antes que o projeto seja instalado em toda a área, uma vez que o incremento de produtividade a ser obtido com a irrigação é algo particular de cada propriedade, em função do potencial genético da plantas e das técnicas de manejo adotadas.

Com relação aos aspectos econômicos envolvidos na instalação de um sistema de irrigação, o autor orientou diversos trabalhos de pesquisas nos últimos anos que são os seguintes:

6.1.1. Softwares Desenvolvidos / viabilidade econômica

GRUBER, Yane Borges Garcia; COELHO, Rubens Duarte; TAVARES, Antonio Clarette Santiago; DETOMINI, Euro Roberto. IRRI_EUCALIPTO - Software para análise econômica da irrigação de Eucalipto. 2005.

SANTOS, Ronaldo Antonio dos; COELHO, Rubens Duarte; BREMER NETO, Horst. IRRICITRUS_2_2005 - Software para análise econômica da irrigação de citrus. 2005.

MIRANDA, Jarbas Honório de; SANTOS, Carlos Amilton Silva; COELHO, Rubens Duarte. ASPERDIM - Planilha eletrônica para dimensionamento econômico de um sistema portátil de aspersão convencional portátil. 1999.

CUNHA, Carlos Augusto Hungria da; MACHADO, Ronalton Evandro; COELHO, Rubens Duarte. CANAPLAN - Software para análise econômica da irrigação em cana-de-açúcar. 1999.

SOLER, Cecília Tojo; MEIRELES, Elza Jaqueline Leite; COELHO, Rubens Duarte. IRRICAFÉ – Software para análise econômica da irrigação na cultura do café. 1999.

CASARINI, Edivaldo; RESENDE, Ronaldo Souza; BRASIL, Renê Porfírio Camponez Do; COELHO, Rubens Duarte. IRRICITRUS_1_1999 - Software para análise econômica da irrigação de citrus. 1999.

ATARASSI, Roberto Terumi; CARRARO, Denis Cesar; COELHO, Rubens Duarte. IRRICOCO – Software para análise econômica da irrigação de côco. 1999.

SILVA, Enio Farias de França E; COELHO, Rubens Duarte; CARDOSO, Silvana S. IRRICOTTON - Software para análise econômica da irrigação de algodão. 1999.

BLANCO, Flavio Favaro; MACHADO, Carmello Crisafulli; COELHO, Rubens Duarte. IRRIMANGA - Software para análise econômica da irrigação de manga. 1999.

MARQUES, Patrícia Angélica Alves; MARQUES, Tadeu A; COELHO, Rubens Duarte. PUPUNHA: Software para avaliação econômica da irrigação de pupunha. 1999.

WEIGAND, Renato; COELHO, Rubens Duarte. IRRIPASTO - Análise de viabilidade econômica da irrigação de pastagens. 1997.

6.1.2. Trabalhos completos em anais de eventos / viabilidade econômica

SANTOS, Ronaldo Antonio dos; ALVES JÚNIOR, José; COELHO, Rubens Duarte; FOLEGATTI, Marcos Vinícius. Implicação do preço de aquisição e vida útil do equipamento sobre a viabilidade econômica da irrigação em aceloreiras. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Canoas. Anais - CD Room. Canoas: Universitária, 2005. v. 1.

MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara; FERRAZ, Priscylla; SANTOS, Ronaldo Antonio dos; COELHO, Rubens Duarte. Implicação do preço de aquisição e vida útil do sistema de irrigação sobre a viabilidade econômica em mamoeiro. In: XV CONIRD - CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2005, Teresina. CD ROM. Teresina: Universitária, 2005.

MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara; FERRAZ, Priscylla; SANTOS, Ronaldo Antonio dos; COELHO, Rubens Duarte. Incremento de produtividade do cajueiro necessário para viabilizar a irrigação. In: XVCONIRD - CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2005, Teresina. CD ROM. Teresina:Universitária,2005.

SANTOS, Ronaldo Antonio dos; MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara; FOLEGATTI, Marcos Vinícius;COELHO, Rubens Duarte. Incremento de produtividade necessário para se viabilizar a irrigação na cultura da goiaba. In: XV CONIRD - CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2005,Teresina. CD ROM. Teresina: Universitária, 2005.

OLIVEIRA, Wagner de; COELHO, Rubens Duarte; OLIVEIRA, Cleomar Ferreira de. Irrigação de Jardins -Uso Racional de Água Pluvial. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA,2005, Canoas. Anais - CD Room. Pelotas: Universitária, 2005. v. 1.

GRUBER, Yanê Borges Garcia; TAVARES, Antonio Clarette Santiago; COELHO, Rubens Duarte;DETOMINI, Euro Roberto. Viabilidade econômica da irrigação de eucalipto no Estado de São Paulo. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Canoas. Anais - CD Room. Canoas: Universitária, 2005. v. 1.

MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara; FERRAZ, Priscylla; SANTOS, Ronaldo Antonio dos; COELHO,Rubens Duarte; TEIXEIRA, Marconi Batista. Viabilidade econômica de motores diesel em áreas irrigadas do Brasil. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2005, Canoas. Anais - CD Room. Canoas: Universitária, 2005. v. 1.

GONÇALVES, Roberta Alessandra Bruschi; COELHO, Rubens Duarte; COSTA, Vinícius Maia. Estratégias de sistematização de um sistema de irrigação por superfície com água residual urbana para minimização dos custos de implantação. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. Anais - CD ROM. Goiânia: Universitária, 2003.

MARQUES, Patrícia Angélica Alves; COELHO, Rubens Duarte. Avaliação econômica da irrigação da pupunha para Ilha Solteira - SP. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD ROM). Universitária, 1999.

BLANCO, Flavio Favaro; MACHADO, Carmello Crisafulli; COELHO, Rubens Duarte. Avaliação econômica da irrigação na cultura da manga (*Mangifera indica* L.) para a região nordeste do Brasil. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Pelotas, RS. Anais (CD ROM).Universitária, 1999. v. 1.

COELHO, Rubens Duarte; MEIRELES, Elza Jaqueline Leite; SOLER, Cecília Tojo. Estudo da viabilidade econômica da irrigação em café na região do Triângulo Mineiro. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1999, Araguari, MG. Anais. Universitária, 1999. v. 1.

CUNHA, Carlos Augusto Hungria da; MACHADO, Ronalton Evandro; COELHO, Rubens Duarte. Irrigação de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD ROM). Universitária, 1999.

MIRANDA, Jarbas Honório de; SANTOS, Carlos Amilton Silva; COELHO, Rubens Duarte. Planilha eletrônica para dimensionamento econômico de um sistema de aspersão convencional portátil. In: AGROSOFT 99 - CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA, 1999, Campinas, SP. Resumos. Universitária, 1999. v. 1.

MARQUES, Patrícia Angélica Alves; MARQUES, Tadeu A; COELHO, Rubens Duarte. Programa Pupunha: Software para avaliação econômica da irrigação da pupunha. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD ROM). Universitária, 1999.v. 1

CARRARO, Denis Cesar; ATARASSI, Roberto Terumi; COELHO, Rubens Duarte. Viabilidade da irrigação em coqueiro (*Cocos nucifera* L.) em Saquarema, estado do Rio de Janeiro. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD Rom).Universitária, 1999. v. 1.

SOLER, Cecília Tojo; MEIRELES, Elza Jaqueline Leite; COELHO, Rubens Duarte. Viabilidade econômica da irrigação de café na região de Franca SP. In: XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD ROM). Universitária, 1999.

MACHADO, Carmello Crisafulli; BLANCO, Flavio Favaro; COELHO, Rubens Duarte. Viabilidade econômica da irrigação de manga (*Mangifera indica* L.) no Platô de Neópolis. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD ROM). Universitária, 1999.v. 1.

SILVA, Enio Farias de França E; CARDOSO, Silvana S; COELHO, Rubens Duarte. Viabilidade econômica da irrigação do algodoeiro herbáceo na mesoregião do sertão paraibano. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD-ROM).Universitária,1999.

CARRARO, Denis Cesar; ATARASSI, Roberto Terumi; COELHO, Rubens Duarte. Viabilidade econômica da irrigação em coqueiro (*Cocos nucifera* L.) para o noroeste do estado de São Paulo. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD ROM).Universitária, 1999.

BRASIL, Renê Porfírio Camponez Do; CASARINI, Edivaldo; RESENDE, Ronaldo Souza; COELHO, Rubens Duarte. Viabilidade econômica da irrigação na produção da lima ácida tahiti

(Citrus latifolia TANAKA) na região de Bebedouro, SP. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD ROM). Universitária, 1999.

RESENDE, Ronaldo Souza; CASARINI, Edivaldo; BRASIL, Renê Porfírio Camponez Do; COELHO, Rubens Duarte. Viabilidade econômica de implantação da irrigação na cultura da laranja (Citrus sinensis) na região centro-sul do estado de Sergipe. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Pelotas, RS. Anais (CD ROM). Universitária, 1999. v. 1.

CASARINI, Edivaldo; RESENDE, Ronaldo Souza; BRASIL, COELHO, Rubens Duarte. Viabilidade econômica de implantação de um sistema de irrigação para produção de laranja (Citrus sinensis) de mesa no estado de São Paulo. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1999, Pelotas, RS. Anais (CD-ROM). Universitária, 1999. v. 1.

O incremento de produtividade (%) necessário para viabilizar economicamente a irrigação de laranja no Estado de São Paulo pode ser observado no gráfico da Figura 89. Considerando-se o preço de aquisição do sistema US\$2.000,00/ha, a taxa de juros anual 12 %, a vida útil do sistema 15 anos, a potência do projeto 1,5 cv/ha e a evapotranspiração de referência 3,5 mm/dia, observa-se para uma produtividade de sequeiro de 29 toneladas por ha, um requerimento de aumento de produtividade de 17, 25 e 42 % do pomar de sequeiro, para preços de venda da laranja de 112, 82 e 51 US\$ / tonelada de fruta respectivamente.

Figura 89 . Requerimento de aumento de produtividade de um pomar de citrus de sequeiro para viabilizar a implementação de um sistema de irrigação na propriedade.

CANTARELLI, Luciana G; SESSO FILHO, Humberto; COELHO, Rubens Duarte. Viabilidade econômica de irrigação do cafeeiro (*Coffea arabica*) por sistema de pivô central. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1997, Campina Grande, PB. Anais (CD ROM). Universitária, 1997.

6.1.3. Artigos completos publicados em periódicos / viabilidade econômica

SANTOS, Ronaldo Antonio dos; COELHO, Rubens Duarte. Análise econômica da implantação de sistemas de irrigação na citricultura do Estado de São Paulo. Irriga, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2006.

SILVA, Ênio Farias de França E; COELHO, Rubens Duarte; SANTOS, Ronaldo Antonio dos. Aumento de produtividade necessário para viabilizar o emprego da irrigação, na cultura do algodão herbáceo, na região de Ituverava - SP. Revista Científica da Fundação Educacional de Ituverava, Ituverava SP, v. 3, n. 2, p. 9-14, 2005.

Alves; COELHO, Rubens Duarte. Estudo da viabilidade econômica da irrigação da pupunha (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para Ilha Solteira - SP, Brasil. Ciência Rural, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 291-297, 2003.

MARQUES, Patrícia Angélica Alves; COELHO, Rubens Duarte; MARQUES, Tadeu A. Programa Pupunha : software para avaliação econômica da irrigação da pupunha. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 379-384, 2002.

CUNHA, Carlos Augusto Hungria da; MACHADO, Ronalton Evandro; COELHO, Rubens Duarte. Irrigação da cana-de-açúcar : análise econômica. STAB - Açúcar Alcool e Subprodutos, Piracicaba, SP, v. 18, n. 3, p. 6-8, 2001.

ZOCOLER, João Luis; HERNANDEZ, Fernando Braz Tangerino; FRIZZONE, José Antonio; COELHO, Rubens Duarte. Análise de custos de um sistema elevatório de água em função do diâmetro da tubulação de recalque e modalidades de aplicação das tarifas de energia elétrica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 80-100, 1999.

FRIZZONE, José Antonio; COELHO, Rubens Duarte; DOURADO NETO, Durval; SOLIANI, Renato. Linear programming model to optimize the water resource use in irrigation projects: an application to the senator Nilo Coelho project. Scientia Agrícola, Piracicaba, SP, v. 54, n. 2, p. 136-148, 1997.

6.1.4. Dissertação Concluída

PINHEIRO, Valter Dantas. Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim tanzânia em diferentes regiões do Brasil. 2002. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem [Esalq]) - Universidade de São Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Rubens Duarte Coelho.

A estacionalidade da produção de forragens é um fator de grande importância, porque se relaciona com os baixos índices de lucratividade na pecuária de corte nacional. Nos últimos 5 anos, alguns pecuaristas capitalizados dos Estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, implantaram aproximadamente, 120 equipamentos de irrigação (pivô central), totalizando cerca de 10.000 ha de pastagens irrigadas com gado de corte no Brasil Central. Os resultados econômicos obtidos até o presente momento, apresentam-se variáveis e imprevisíveis, sendo que alguns pecuaristas já apresentaram insucessos na condução desses projetos, enquanto outros, demonstram lucros surpreendentes para esse setor agropecuário.

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma metodologia de análise econômica da viabilidade de irrigação de pastagens em diferentes regiões do Brasil, estimando-se a produtividade do capim Tanzânia irrigado, através de um modelo matemático, calibrado em um experimento de campo, conduzido no município de Piracicaba - SP, com base na disponibilidade mensal local de unidades fototérmicas (temperatura e fotoperíodo) para diferentes níveis de adubações nitrogenadas e lâminas de irrigação. No estudo realizado, foram ajustados os parâmetros da função de Gompertz para as diferentes doses de adubação nitrogenada analisadas: 0, 100, 275, 756 e 2079 kg N ha⁻¹ ano⁻¹.

O esquema de distribuição das parcelas experimentais, a foto aérea da área experimental e o manejo dos animais na área irrigada por pivô central e gotejamento, podem ser visualizados nas Figuras 89, 90, 91 e 92.

Na Tabela 23 é apresentada a viabilidade da irrigação de pastagens para pecuária de corte, em diferentes regiões do Brasil.

As simulações efetuadas da viabilidade econômica da irrigação (pivô central elétrico) em pastagens de capim tanzânia em território nacional apresentaram retornos econômicos interessantes (R\$ 400,00 a 600,00 ha⁻¹ ano⁻¹) em diversas regiões analisadas (Cuiabá – MT, Aragarças – GO, Petrolina – PE, Porto Nacional - TO).

Figura 89. Distribuição das parcelas no experimento de irrigação de pastagens.

Figura 90. Foto aérea do experimento de irrigação de capim Tanzânia, em função de diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio.

Figura 91 Manejo dos animais na área experimental de irrigação de pastagens.

Figura 92. Detalhe das parcelas experimentais durante o período do ensaio em campo.

Tabela 23. Simulação da viabilidade econômica da pastagem irrigada e de sequeiro, para 25 municípios brasileiros.

Cidade	PASTAGEM IRRIGADA				PASTAGEM SEQUEIRO			
	Prod. de MS (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Lot. média (UA ha ⁻¹)	Receita (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	TIR (%)	Prod. de MS (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Lot. média (UA ha ⁻¹)	Receita (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	TIR (%)
Piracicaba - SP	17386,0	3,61	48,86	0,87	12296,0	2,56	31,95	1,30
Araçatuba - SP	27105,0	5,62	364,07	5,41	13196,0	2,74	76,41	2,99
S. J. Rio Preto - SP	25897,0	5,37	341,74	5,18	14875,0	3,10	158,58	5,76
Goiânia - GO	24585,0	5,09	329,11	5,10	16796,0	3,49	253,89	8,57
Aragarças - GO	31915,0	6,61	607,12	8,35	20157,0	4,19	418,81	12,52
Catalão - GO	18925,0	3,92	99,42	1,71	14017,0	2,91	117,25	4,43
Goiás - GO	31437,0	6,51	554,62	7,68	18517,0	3,85	338,43	10,72
Rio Verde - GO	21292,0	4,41	227,74	3,75	15841,0	3,29	206,94	7,25
Paranaíba - MS	24839,0	5,15	389,92	6,02	16615,0	3,44	245,64	8,36
Campo Grande - MS	22044,0	4,57	302,67	4,91	16382,0	3,40	233,66	8,02
Sete Lagoas - MG	14259,0	2,96	-139,22	-2,63	10813,0	2,25	-40,79	-1,78
Uberaba - MG	18476,0	3,83	130,80	2,27	14964,0	3,11	163,87	5,95
Montes Claros - MG	20882,0	4,33	51,71	0,86	11911,0	2,47	13,66	0,57
Linhares - ES	25861,0	5,36	398,38	6,04	14631,0	3,04	147,19	5,41
Barreiras - BA	29529,0	6,12	414,94	5,92	13479,0	2,80	90,62	3,50
Caetité - BA	15521,0	3,21	-106,61	-1,96	10666,0	2,21	-47,65	-2,10
Boa Vista - RR	41714,0	8,64	773,29	9,23	19293,0	3,98	378,59	11,72
Morada Nova - CE	37018,0	7,68	449,47	5,72	10611,0	2,21	-51,01	-2,25
Picos - PI	41771,0	8,64	439,03	5,24	8548,0	1,79	-152,76	-7,49
Imperatriz - MA	38540,0	7,98	730,53	9,11	18426,0	3,83	333,61	10,59
Porto Nacional - TO	37125,0	7,68	735,85	9,37	20022,0	4,16	412,49	12,40
Cuiabá - MT	34811,0	7,20	602,65	7,93	14880,0	3,10	158,57	5,76
Cáceres - MT	32921,0	6,82	594,08	8,04	16603,0	3,44	244,55	8,32
Brasília - DF	15022,0	3,11	-71,61	-1,33	11642,0	2,41	0,67	0,03
Petrolina - PE	37461,0	7,76	444,42	5,63	8404,0	1,76	-159,95	-7,91

Em outros casos, os retornos econômicos foram pouco atraentes aos investidores (R\$ -100,00 a 300,00 ha⁻¹ ano⁻¹), (Campo grande - MS, Uberaba – MG, Rio Verde – GO, Piracicaba - SP), o que justifica a utilização da metodologia desenvolvida no processo de tomada de decisão do pecuarista em irrigar suas pastagens, visando minimizar os riscos de insucesso nesse tipo de empreendimento.

6.2. Considerações

Justifica-se a implementação racional de um projeto de irrigação no campo, com base na viabilidade econômica e ambiental do empreendimento proposto. Desta maneira o dimensionamento hidráulico do projeto de irrigação deverá estar acompanhado de uma análise econômica que contabilize os custos fixos e os custos variáveis deste sistema, ao longo da vida útil do equipamento.

Do ponto de vista ambiental, aspectos qualitativos e quantitativos poderão inviabilizar a implantação de um projeto de irrigação. A qualidade da água de irrigação é normalmente restritiva em duas situações: 1) os níveis de salinidade, em especial a presença de sódio, seja incompatível com o acúmulo de sais no solo ao longo da vida útil do projeto e 2) a presença de elementos químicos e de microorganismos em níveis inaceitáveis para a irrigação por gotejamento (entupimento). Com relação aos aspectos quantitativos, a disponibilidade hídrica na microbacia pode não ser suficiente para manter condições mínimas de vazão para outros usuários, influenciando negativamente a qualidade de água (diminuição do poder de diluição de contaminantes) e interferindo no aproveitamento hídrico para outros fins: geração de energia elétrica, lazer, etc.

As perspectivas de aumento da tarifa de energia elétrica acima da taxa de inflação e a cobrança pelo uso da água para fins de irrigação deverão ser levadas em consideração nas análises econômicas, pois podem influenciar significativamente os resultados obtidos.

De acordo com a experiência acumulada pelo autor nesta área do conhecimento, embora seja possível calcular com razoável precisão o custo anual de um sistema de irrigação, a maior dúvida continuará a ser a resposta da cultura irrigada à condição de irrigação suplementar característica das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. A implementação de projetos pilotos de irrigação nas propriedades é bastante importante para

minimizar riscos de insucesso do uso desta tecnologia no campo, pois permite aferir o nível real de produtividade que poderá ser atingido com a implantação do sistema. Outro fator de importância na análise econômica é o preço de venda do produto agrícola; especial atenção deverá ser dada à análise da série histórica de preços do produto comercializado, pois sua influência é significativa na viabilidade econômica da maioria dos empreendimentos analisados.

Capítulo 7. Energia e Irrigação Pressurizada no Brasil

O total de área irrigada no Brasil representa atualmente apenas 6 % do total de área plantada, porém nas áreas irrigadas são produzidos 16 % da safra de alimentos e 35 % do valor da produção agrícola total, destacando o uso desta tecnologia em culturas de maior rentabilidade.

O sistema de irrigação pressurizada mais apropriado para ser usado no campo depende das circunstâncias locais em que a produção agrícola está inserida. A experiência mundial em áreas irrigadas demonstra que os maiores benefícios das novas tecnologias em irrigação são alcançados quando os usuários adquirem total controle da tecnologia proposta. Novas tecnologias de irrigação que apresentem mudanças radicais de idéias, muitas vezes fracassam por não serem absorvidas em tempo oportuno pelos usuários. Tecnologias que melhorem os sistemas já existentes de maneira gradual e contínua são as alternativas mais facilmente implementadas e de maior sucesso.

A capacitação e a transferência tecnológica das universidades e dos centros de pesquisas para os agricultores irrigantes no campo são dois grandes desafios para o País. O manejo de precisão da água no sistema solo-planta-atmosfera, ainda deixa a desejar em termos do uso eficiente dos fatores de produção, em especial a água. A falta de entrosamento das instituições públicas, nos níveis federal, estadual e municipal faz com que as tecnologias já existentes e dominadas na engenharia da irrigação cheguem de maneira tímida a poucos usuários no campo.

Sendo o total de área irrigada no Brasil atualmente de 3,4 milhões de ha para um potencial total estimado entre 22 a 30 milhões de ha, faixa de valor próxima ao total de área atualmente irrigada pelos EUA (24 milhões de ha), prevê-se que o futuro é bastante promissor para a Engenharia da Irrigação Pressurizada no Brasil, pois o país possui terras, disponibilidade hídrica e recursos humanos em qualidade e quantidade suficientes para atender à demanda nacional nos próximos anos.

Entraves políticos e econômicos poderão influenciar a taxa de crescimento da área irrigada no país, porém o rumo em direção ao uso desta tecnologia já está consolidado nas hortaliças e frutíferas, em especial nas culturas de citros, café e feijão em diferentes regiões do Brasil onde sua implementação se justifica com base em critérios econômicos.

Em termos de infra-estrutura o maior obstáculo para a irrigação pressurizada será a geração e transmissão de energia elétrica para abastecimento dos motores de irrigação em larga escala. Considerando uma área irrigada futura a ser incrementada de 18,6 milhões de ha e uma potência média de 2 cv/ha, será necessário uma potência instalada suplementar de 27,3 GW, o equivalente a 2,5 Usinas Itaipú em pleno funcionamento, ou seja 40 % da capacidade total de geração atual do Brasil (66,8 GW).

Sendo o preço de aquisição do equipamento de irrigação e adutoras em torno de US\$ 2.500,00 / ha e o custo de geração e transmissão de energia elétrica em torno de US\$3.000,00 / cv, tem-se que o total de recursos a serem investidos na ampliação do potencial total de área irrigada no Brasil será de US\$ 158 bilhões de dólares, o que torna o “sonho de 22 milhões de ha irrigados no Brasil” distante de ser concretizado a médio prazo.

O futuro da bioenergia com base em cana-de-açúcar poderá contribuir para o aumento da área irrigada no Brasil no médio prazo, uma vez que a área de expansão da cana-de-açúcar está sendo concentrada em zonas com maior déficit hídrico no solo e maior evapotranspiração potencial ao longo do ano, o que poderá viabilizar o uso da irrigação em larga escala nesta cultura, tendo também como incentivo a questão logística de aumento de produtividade nas proximidades das destilarias. O total de área plantada com cana-de-açúcar no Brasil no ano de 2006 (5,7 milhões de ha) ainda não representa nem 1 % da área total do território nacional (851 milhões de ha).

O programa biodiesel proposto pelo governo federal que adicionará óleo vegetal na proporção de 2 a 5% ao óleo diesel convencional, será mais um potencial usuário do álcool de cana-de-açúcar, pois o processo mais econômico de esterificação dos óleos vegetais (remoção de impurezas prejudiciais aos motores de combustão) é com base no etanol (álcool).

Uma sinergia estratégica entre a irrigação de cana-de-açúcar e a produção de álcool é a co-geração de energia elétrica pelas destilarias que poderá ser utilizada no acionamento de motores de irrigação. No período seco do ano quando é realizada a colheita da cana-de-açúcar, o potencial de geração de hidroenergia fica comprometido em situações de estiagem prolongada. A geração de energia elétrica em elevada escala nas destilarias de álcool nas proximidades das áreas irrigadas é um fator extremamente importante, pois reduz o custo de transmissão da energia elétrica a grandes distâncias o que viabiliza ainda mais a irrigação desta cultura.

Previsões realistas indicam que a área de cana-de-açúcar irá atingir 12 milhões de ha plantados no Brasil nos próximos 10 anos. Nenhuma outra cultura apresenta previsão de aumento de área tão significativo nos próximos anos, pelo contrário, a intensificação da tecnologia tem diminuído a área plantada de algumas culturas, como exemplo citrus. O que justifica esse interesse crescente na bioenergia é a questão ambiental estimulada inicialmente pela assinatura do Protocolo de Kyoto (redução do efeito estufa na Terra) e posteriormente pelos níveis inaceitáveis de poluição do ar em grandes centros urbanos (ex. Califórnia: legislação estadual de mistura do álcool à gasolina) e mais recentemente pelo interesse econômico de grandes empresários na produção de álcool a partir do milho (Bill Gates e George Soros).

As reservas atuais de petróleo são suficientes para abastecer o mundo nos próximos 40 anos com base nos níveis de consumo atual. Para que se expresse o potencial brasileiro nesta área é preciso que haja demanda mundial pelo álcool, sendo que esta dependerá do preço do petróleo como estímulo e de investimentos pesados em pesquisa e infra-estrutura no Brasil, afinal não foi somente graças aos ganhos de produtividade no campo que o álcool tornou-se competitivo. As elevadas cotações do petróleo nos anos 2005 e 2006 (US\$ 60 o barril) ajudaram o álcool a se tornar conveniente para o mundo. O preço do petróleo influencia diretamente o do álcool. Os preços do petróleo não estão unicamente atrelados às decrescentes reservas. Trata-se de um mercado especulativo e sujeito a manobras por parte dos países produtores. As opiniões variam, mas estima-se que a produção do álcool de cana-de-açúcar seja competitiva mesmo que o preço do barril de petróleo caia a US 35 ou 40. Novas descobertas de reservas petrolíferas são estimuladas à medida que o preço do produto aumenta no mercado internacional (ex. Petrobrás).

O consumo anual de combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão) é de cerca de 8,5 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo. Admitindo um aumento de demanda de 100% até 2050, e considerando uma redução da emissão de gases de efeito estufa a 50% da atual, seriam necessários entre 3 a 3,5 bilhões de ha cultivados de biomassa para substituir o petróleo. Ou seja, seria preciso ter cerca de quatro vezes a superfície total do Brasil com o plantio de cana-de-açúcar.

Não havendo esta disponibilidade de área para o plantio de cana-de-açúcar no planeta, a biomassa jamais conseguirá tornar-se uma solução única para eliminar o uso do combustível fóssil no mundo. Sendo a disponibilidade nacional de terras adequadas para cultivo de cana-de-açúcar de cerca de 90 milhões de hectares, o Brasil seria capaz de substituir mais de 10 % do petróleo consumido mundialmente.

Desta forma o álcool será importante para o Brasil, assim como a energia eólica, a energia solar e a energia hídrica são para complementar a matriz energética de alguns países em pequena escala, porém novas tecnologias deverão ser viabilizadas economicamente para suprir a demanda energética mundial em grande escala: hidrogênio e energia nuclear. O hidrogênio é apenas um vetor de energia, não sendo fonte de energia, pois não existe hidrogênio concentrado na natureza. Atualmente o hidrogênio é extraído e concentrado a partir do gás natural, cujo processo emite gases de efeito estufa para a atmosfera. No futuro o hidrogênio poderá ser obtido de maneira “limpa” pela eletrólise da água com base em energia elétrica gerada por biomassa (cana-de-açúcar) ou energia nuclear. Desta forma observa-se que a bioenergia com base na cana-de-açúcar é uma tecnologia de futuro promissor, pois apresenta uma vida útil longa para diferentes opções tecnológicas da matriz energética mundial.

A introdução no mercado nacional do automóvel bi-combustível (gasolina – álcool) expandirá de maneira gradual e contínua o uso de álcool no Brasil (consolidação do mercado interno), sendo uma alternativa facilmente implementável no curto prazo, pois não muda drasticamente o conceito tradicional dos veículos automotivos (motor a combustão interna), causa pouco afrontamento aos países produtores de petróleo, reduz a poluição nos grandes centros urbanos e minimiza o crescimento do efeito estufa na terra.

O subsídio americano à produção de álcool com base em milho deverá ser mantido no futuro, embora não seja competitivo com a cana-de-açúcar no mercado livre e nem auto-suficiente para o abastecimento da demanda interna americana, sendo que em 2006 os maiores importadores de álcool do Brasil foram os Estados Unidos, seguidos pelos Japão, Índia, Países Baixos, Suécia e Coreia do Sul. Este subsídio interno é estratégico para diminuir a dependência americana de petróleo de países instáveis politicamente: Venezuela, Irã, Iraque. A troca do petróleo Venezuelano pelo álcool Brasileiro não dará aos americanos a segurança que eles tanto desejam.

A baixa eficiência do milho em produzir álcool deve-se ao fato do milho converter a sacarose em amido no momento de florescimento. O gasto energético para esta conversão é

o responsável pela baixa eficiência na produção de álcool. Os americanos estão tentando alterar geneticamente o milho de maneira que não venha a florescer, mantendo a sacarose nas folhas e caules para a produção direta do álcool. Caso venham a obter sucesso neste programa de melhoramento genético estará aberta uma grande oportunidade para os agricultores americanos produzirem o álcool a preço competitivo no mercado mundial. Em 2008 está previsto a conclusão do seqüenciamento completo do genoma do milho nos Estados Unidos.

As vendas de álcool do Brasil no exterior serão duramente criticadas à medida que o volume comercializado aumentar. A alegação do uso de *mão-de-obra semi-escrava e a derrubada da floresta Amazônica* para ampliação dos novos plantios, serão as novas barreiras comerciais ao produto. Caberá ao Brasil implementar um selo de qualidade sócio-econômico-ambiental ao produto, que seja aceito no mercado internacional e que viabilize os grandes investimentos no setor, em termos agrícolas, industriais e logísticos, para que a nação se torne um grande *player* no mercado bioenergético mundial.

A distribuição espacial das usinas de álcool no território nacional ocorre nas áreas de maior expansão de cana-de-açúcar e nas áreas de citros com potencial de irrigação. Desta forma, o custo de transmissão da energia gerada a partir da biomassa é minimizado.

O acionamento de motores de irrigação com base em hidroelétricas, terá seu futuro bastante limitado, pois a água necessária para gerar a energia compete com a água aplicada pelos equipamentos de irrigação. A vazão de referência para irrigação de 1 ha situa-se entre 0,5 a 1,0 litros / segundo (vazão contínua equivalente de 24 horas).

Sendo a relação de potência entre 1 a 2 cv por ha irrigado (potência contínua equivalente de 24 horas) e considerando-se o desnível médio das hidroelétricas no Brasil de 45 m, a vazão necessária para acionamento desta potência nas turbinas é entre 5 a 10 litros por segundo, para uma eficiência total estimada de 36 % entre geração e transmissão da energia elétrica. Considerando a possibilidade de pelo menos 5 hidroelétricas operando em série, a vazão de acionamento média seria entre 1 a 2 litros / segundo para a faixa de potência especificada anteriormente.

Observa-se a mesma ordem de grandeza entre o consumo hídrico da irrigação e o consumo hídrico para a geração de energia na irrigação.

Mais importante do que a eficiência do equipamento de irrigação é a relação potência/ha quando se utiliza a hidroenergia para o acionamento de motores de irrigação. Espera-se que nas outorgas futuras de uso da água e nos financiamentos oficiais para projetos de irrigação, sejam estipulados valores limites para a relação de potência cv/ha irrigado, para acionamento hidroelétrico de motores, valorizando os projetos hidráulicos que minimizem o consumo energético das áreas irrigadas em expansão.

A maior parte dos equipamentos pivô central dos Estados Unidos são acionados pelo gás natural proveniente das Montanhas Rochosas. O gasoduto Brasil-Bolívia corta estrategicamente grande parte da área potencial de irrigação suplementar de citros e cana-de-açúcar em território nacional, sendo uma alternativa bastante interessante aos futuros projetos de irrigação. Os fabricantes mundiais de motores estacionários do ciclo diesel operando com gás natural (ex: Caterpillar, Cummins, etc.), ainda não comercializam este tipo de produto em território nacional, pela baixa demanda do mercado interno.

A competição entre o gás-natural e a bioenergia de cana-de-açúcar garantirá aos consumidores irrigantes uma economia de mercado, que poderá evitar a prática de preços abusivos por parte dos fornecedores.

O que limitou o investimento em bioenergia no Brasil nos últimos anos foi a legislação de venda do produto, que assegurava às distribuidoras de energia elétrica, total controle sobre a compra e a venda de energia em território nacional. Nos anos de chuvas escassas a bioenergia era bem vinda, nos anos de elevados índices pluviométricos, dava-se preferência pela hidroenergia, mais barata e já integrada ao sistema de distribuição no período chuvoso.

Nos últimos 18 meses, avanços significativos foram observados em termos de legislação sobre a comercialização da bioenergia. Espera-se que esses avanços continuem no futuro, para estimular uma maior diversificação da matriz energética nacional e garantir o investimento de grandes grupos empresariais no setor energético.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração deste texto sistematizado serviu como um momento oportuno de reflexão sobre a carreira profissional do autor no período de 1989 a 2007, desenvolvida na Universidade de São Paulo (ESALQ).

Com relação ao futuro, o autor definiu três linhas básicas de pesquisa para a condução de trabalhos nos próximos anos: **a) Irrigação Localizada 1:** Estudar a relação entre a porcentagem do sistema radicular umedecido e a produtividade das culturas perenes de citros, café e cana-de-açúcar em condição de irrigação suplementar; **b) Irrigação Localizada 2:** Estudar a susceptibilidade de gotejadores e de microaspersores ao entupimento por causas físicas, químicas e biológicas, propondo procedimentos de monitoramento e controle da ocorrência destes problemas no campo; **c) Irrigação de Precisão:** Fomentar o desenvolvimento de novas metodologias para a recomendação da irrigação em função da variabilidade temporal e espacial do requerimento de lâmina na área, uma vez que esta é a mais nova ferramenta de otimização do recurso hídrico em áreas irrigadas.

O advento da **Internet** requer que novas metodologias de interação entre grupos de pesquisas em Engenharia da Irrigação e de capacitação à distância sejam desenvolvidas rapidamente no Brasil. A continuidade dos contatos científicos entre ex-alunos e ex-orientados é bastante importante para que se tenha uma fluência de idéias e uma maior massa crítica sobre os trabalhos que estarão sendo conduzidos futuramente em todo território nacional. O incentivo dado às publicações científicas nos últimos anos através das agências de fomento à pesquisa no Brasil (CNPq, CAPES e FAPESP), deverá ser aprimorado no futuro próximo, através da exigência de uma maior integração destes projetos de pesquisas com empresas de equipamentos de irrigação pressurizada e de agricultores irrigantes / usuários da tecnologia, o que já tem sido sinalizado pela FINEP e pela FAPESP.

A Engenharia de Irrigação Pressurizada no Brasil está pronta para enfrentar o desafio dos próximos anos. Em termos tecnológicos, a indústria nacional possui os melhores equipamentos de irrigação disponíveis no mundo para uma irrigação de alta

eficiência. A escala de produção dos equipamentos poderá ser rapidamente ampliada caso o mercado sinalize uma demanda consistente de equipamentos nos próximos anos.

O desenvolvimento da irrigação pressurizada no Brasil em larga escala dependerá de fatores externos relacionados à matriz energética mundial e às questões ambientais. A co-geração de energia elétrica nas destilarias de álcool para o acionamento dos motores de irrigação viabilizará a questão energética da irrigação no Brasil em termos econômicos.

Esta perspectiva promissora do aumento da área irrigada em território nacional estimula o autor a trabalhar com dedicação e afinco nos próximos anos à capacitação de recursos humanos e ao desenvolvimento de pesquisas de ponta na Universidade de São Paulo, contribuindo para que a consolidação da Irrigação Pressurizada no Brasil ocorra de maneira sustentável do ponto de vista econômico e ambiental.

FIM

Rubens Duarte Coelho

Julho / 2007

email: rdcoelho@esalq.usp.br

Skype: [coelho.esalq](https://www.skype.com/profile/coelho.esalq)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÉU, J.M.H; LÓPEZ, J.R.; REGALADO, A.P.; HERNÁNDEZ, J.F.G. El Riego Localizado. In: Curso Internacional de Riego Localizado Tenerife, Ilhas Canárias. Anais. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. 1987. p. 128-135.

Agência Nacional de Águas (ANA), 2004. Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 118 p.

FNP Consultoria & Comércio. AGRIANUAL 2006: Anuário da Agricultura Brasileira, Prol Editora Gráfica, São Paulo, 2006. p.504.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, R.S; MEDEIROS, J.F. DE; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BLACK, J.D.F ; WEST, D.W. Water uptake by an apple tree with various proportions of the root system supplied with water. In: International Drip Irrigation Congress, 2., San Diego: s.ed.1974.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2, p. 149-162, 1979.

CHRISTOFIDIS, D. Água : gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil. Brasília, Secretaria de Infraestrutura Hídrica / PROÁGUA, 2006. 18p. (Relatório Técnico).

FAOSTAT. 2007. FAO statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. [<http://apps.fao.org/>].

GEOHRING, L. Annual Irrigation Survey Continues Steady Growth. **Irrigation Journal**. v. 51, n. 1, 2001.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles / emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production** - design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 142-163.

GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation: prevention of clogging. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22. n. 3. p. 133-148, 1979.

GREEN, S.R.; CLOTHIER, B.E. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. **Plant & Soil**, v.173, p.317-328, 1995.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v.17, n.4, p.678-684, 1974.

MACHADO, C.C. **Influência da irrigação localizada na absorção de água do porta-enxerto limão ‘Cravo’, em plantas adultas de lima ácida ‘Tahiti’**. 2000. 92p., Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MACHADO, C.C. **Consumo de soluções fertilizantes por plantas adultas de lima ácida “Tahiti” sobre limão cravo em irrigação localizada**. 2004, 140 p., Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation of crop. production design, operation and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, New York, v. 12, p. 187-192, 1991.

OLLITA, A.F.L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Livraria Nobel, 1984, 267p.

PIZZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3. ed. Madrid: Mundi Prensa, 1996. 471p.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, New York, v. 13, p. 129-139, 1992.

RESENDE, R. S. **Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação**. 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

SMAJSTRALA, A.G.; BOMAN, B.J. **Flushing procedures for microirrigation systems**. Florida: University of Florida, 1999. 7p. (Bulletin 333). [<http://edis.ifas.ufl.edu>].

ANEXOS – A

Tabela 24. Dados meteorológicos médios na Estação Experimental de Scoresby - Austrália, entre os anos de 1948 a 2004.

Climate averages for Station: 086104 SCORESBY RESEARCH INSTITUTE															
Latitude (deg S): -37.8711															
Longitude (deg E): 145.2561															
Commenced: 1948															
Last record: 2004															
State: VIC															
Element	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual	Number Years	% Data
Mean daily maximum temperature - deg C	25.9	26.4	23.8	19.8	16.2	13.4	12.9	14.1	16.3	18.7	21	23.7	19.3	45.3	80
Mean no. of days where Max Temp >= 40.0 deg C	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	36.8	93
Mean no. of days where Max Temp >= 35.0 deg C	2.6	2.6	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1.1	7.4	36.8	93
Mean no. of days where Max Temp >= 30.0 deg C	7.7	8.5	4.7	0.3	0	0	0	0	0	0.5	1.8	5	28.5	36.8	93
Highest daily Max Temp - deg C	42.8	41.8	39.6	32.8	26.6	20.1	21.6	24.2	30	33.3	39.1	39.2	42.8	36.9	94
Mean daily minimum temperature - deg C	13	13.8	12.3	10	8.2	6.3	5.7	6.3	7.5	8.8	10.1	11.8	9.5	44.8	79
Mean no. of days where Min Temp <= 2.0 deg C	0	0	0	0.2	0.6	2.9	3.5	2.1	0.8	0.4	0.1	0	10.6	36.5	93
Mean no. of days where Min Temp <= 0.0 deg C	0	0	0	0	0	0.8	0.8	0.4	0.1	0	0	0	2.1	36.5	93
Lowest daily Min Temp - deg C	4.6	4.8	2.2	1.1	-0.1	-2.7	-3.6	-2.3	-0.9	0.1	1.5	2.8	-3.6	36.8	92
Mean 9am air temp - deg C	18.8	18.9	17.4	14.5	11.6	9.1	8.5	9.7	11.9	14.1	15.3	17.3	13.9	45.2	80
Mean 9am wet bulb temp - deg C	15.2	15.4	14.4	12.1	10	7.8	7.1	8	9.6	11.3	12.3	13.9	11.4	43.1	77
Mean 9am dew point - deg C	11.8	12.4	11.6	9.8	8.4	6.4	5.5	6	7	8.3	9.3	10.6	9	35.5	90
Mean 9am relative humidity - %	66	69	71	75	82	84	82	78	74	70	69	67	74	43.1	77
Mean 9am wind speed - km/h	10.8	10.1	10	9.2	8.7	9.4	10.7	11.5	12.3	12.5	11.4	11.1	10.7	35.6	90
Mean 3pm air temp - deg C	24.6	25.8	22.4	19	15.5	13.4	12.6	13.6	15.8	17.1	20.1	22.2	18.7	7.8	100
Mean 3pm wet bulb temp - deg C	17.6	18.3	15.8	13.5	11.9	10.4	9.6	10.2	11.7	12.7	14.5	15.9	13.5	6.3	85
Mean 3pm dew point - deg C	11.4	11.9	10.2	9	8.3	7.2	6.1	5.9	7.1	7.7	9.2	10.1	8.7	7.7	99
Mean 3pm relative humidity - %	47	44	49	55	63	67	66	61	59	56	52	49	56	6.3	85
Mean 3pm wind speed - km/h	16.4	15.2	15.2	13.4	12.7	13.9	14.3	15.6	17.8	16.9	16.2	16.8	15.4	7.6	46
Mean monthly rainfall - mm	55.9	51.5	56.1	69.8	96	70.5	77.5	85.5	88.8	89.6	81.4	76.8	899.3	46.4	99
Median (5th decile) monthly rainfall - mm	51.7	41.7	46.1	65	85.7	66.4	71.2	88	82.4	88	72.2	73	885.9	50	
9th decile of monthly rainfall - mm	99.3	106.7	117.2	113.5	145.9	112.9	110.9	118.1	149	150.6	149	141.4	1092.4	50	
1st decile of monthly rainfall - mm	21.9	6.3	18.6	28.7	44.3	33.2	39.3	38.1	42.3	39.8	27.7	24	684.8	50	
Mean no. of raindays	9.1	7.6	10.8	12.4	16.9	16.4	18.6	18.5	16.1	15.9	14.3	11.7	168.2	45.2	97
Highest monthly rainfall - mm	192.5	185	184.8	177.4	168.3	171.6	180.5	168	186.6	162.1	178.3	186.6		46.4	99
Lowest monthly rainfall - mm	5.3	0.3	4	18.7	30.4	13.7	25.5	28.2	16.4	23.9	19.1	3.7		46.4	99
Highest recorded daily rainfall - mm	69.6	81.3	89.4	78.2	57.6	41.2	58.9	41	67.1	63.2	55.9	54.4	89.4	45.5	97
Mean no. of clear days	2													0.1	100
Mean no. of cloudy days	1													0.1	100
Mean daily hours of sunshine	8.8	8.6	7.2	5.5	4.4	3.9	4.1	4.6	5.4	6.3	7.2	8.1	6.2	14.9	100
Highest recorded wind gust - km/h	55.4	57.2	59.4	63	51.8	40.7	70.2	72.4	76	61.2	57.2	59.4	76	1.6	59
Mean daily evaporation - mm	5.8	5.7	4.1	2.7	1.7	1.3	1.4	2	2.7	3.6	4.5	5.3	3.3	22.3	95

Tabela 25. Temperaturas máximas diárias na Estação Experimental de Scoresby - Austrália, entre os anos de 1966 e 1967.

STN_NUM	YEAR	MONTH		NameAndUnit	Mean	Max	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
86104	1966	1		Max. Temp. (C)	27.3	36.6	18	24	26	25	23	25	28	31	34	36	34	32	23	33	30	21	19	18	20	25	28	26	23	30	36	37	33	35	30	19		
86104	1966	2		Max. Temp. (C)	23.9	30.2				24	19	23	29	30	28	22	23	22	27	28	26	21	22	21	23	24	28	30	20	21	21	18	25					
86104	1966	3		Max. Temp. (C)	23.6	37.3	22	20	26	30	32	36	37	37	23	22	30	29	24	25	25	20	18	19	24	27	20	18	20	17	20	19	18	20	17	18		
86104	1966	4		Max. Temp. (C)	18.8	27.3	22	26	21	19	23	17	19	13	16	19	24	27	24	18	20	16	17	21	24	25	19	15	14	15	15	17	17	16	12	13		
86104	1966	5		Max. Temp. (C)	15.4	22.9	14	18	19	23	14	16	16	16	17	18	14	14	17	17	13	13	16	19	14	11	13	11	11	12	13	14	17	16	17	17	18	
86104	1966	6		Max. Temp. (C)	12.5	16.1	13	14	11	10	11	12	14	14	15	15	13	12	14	13	15	15	12	16	13	12	11	9	9	11	10	12	10	12	11	16		
86104	1966	7		Max. Temp. (C)	11.7	16	16	14	12	14	14	14	12	11	10	11	10	10	12	10	7	7	9	11	10	13	13	13	16	16	10	12	10	11	10	12	14	
86104	1966	8		Max. Temp. (C)	13.4	19.5	17	15	14	11	11	10	12	15	16	13	8	10	10	11	14	16	17	14	11	13	10	11	11	11	14	15	16	15	17	18	20	
86104	1966	9	Primavera	Max. Temp. (C)	15.9	23.9	14	14	12	13	11	11	11	11	12	16	19	19	16	18	17	14	13	15	20	21	13	15	16	18	16	18	20	22	24	20		
86104	1966	10	Primavera	Max. Temp. (C)	17.9	25.8	14	11	11	11	12	14	13	14	13	16	21	22	22	21	24	20	19	20	16	13	13	15	21	25	26	17	17	22	25	21	24	
86104	1966	11	Primavera	Max. Temp. (C)	21.5	34.8	18	12	14	16	19	21	22	23	18	18	18	21	17	14	16	16	20	22	28	25	24	33	35	20	24	29	24	22	32	26		
86104	1966	12	Primavera	Max. Temp. (C)	22.9	32.7	14	16	16	20	17	20	20	19	20	27	32	29	25	17	16	18	22	25	20	17	24	28	29	33	32	26	24	32	22	26	22	
86104	1967	1	Verão	Max. Temp. (C)	24.2	35	24	21	23	23	30	31	27	26	35	21	21	22	24	24	19	18	17	22	31	23	32	24	18	19	23	24	27	35	19	21	23	
86104	1967	2	Verão	Max. Temp. (C)	27.7	39.2	22	31	34	36	34	39	38	21	26	23	27	24	21	19	20	19	22	34	32	33	35	37	37	34	22	19	20	27				
86104	1967	3	Verão	Max. Temp. (C)	24.3	31.2	26	29	23	20	20	30	29	20	21	20	24	29	31	31	31	31	21	21	27	27	21	15	17	19	21	24	31	29	19	20		
86104	1967	4	Verão	Max. Temp. (C)	21.3	30.1	21	24	27	30	17	18	18	19	16	22	24	24	22	23	20	24	29	30	28	20	17	16	16	20	17	15	21	24	20	16		
86104	1967	5		Max. Temp. (C)	17.4	25.8	18	23	24	26	26	17	17	16	22	23	22	17	14	16	17	21	19	15	14	15	13	13	13	14	14	14	14	14	15	14	13	
86104	1967	6		Max. Temp. (C)	13.9	18.1	12	12	15	15	9	13	13	14	17	15	18	13	14	13	13	15	13	14	15	13	16	16	15	11	12	15	14	15	12	14		
86104	1967	7		Max. Temp. (C)	12.9	16.6	11	13	14	12	13	13	14	14	12	11	11	12	13	13	12	13	14	14	13	14	13	12	14	10	13	13	17	15	11	15	11	
86104	1967	8		Max. Temp. (C)	13.1	16.1	11	12	12	14	13	10	15	14	15	12	13	14	9	11	11	12	15	15	10	14	12	14	15	16	16	16	13	14	14	12	13	
86104	1967	9		Max. Temp. (C)	15.9	24.3	10	14	17	14	14	16	17	16	18	17	16	15	17	15	11	13	14	16	12	14	17	19	16	18	24	16	16	16	18	19	18	
86104	1967	10		Max. Temp. (C)	20.2	28.2	20	10	14	17	20	18	17	21	26	24	15	21	19	18	24	24	17	16	17	21	19	22	24	23	24	24	28	28	18	19	20	
86104	1967	11		Max. Temp. (C)	22.1	35	26	23	26	24	19	15	17	17	17	20	23	31	35	20	17	21	25	22	18	21	25	24	20	19	20	17	21	30	29	21		
86104	1967	12		Max. Temp. (C)	21.8	35.7	18	18	15	15	19	22	19	19	32	36	22	22	18	16	22	23	25	16	16	19	20	22	22	20	29	33	32	25	26	19	18	

Tabela 26. Temperaturas mínimas diárias na Estação Experimental de Scoresby - Austrália, entre os anos de 1966 e 1967.

STN_NUM	YEAR	MONTH		NameAndUnit	Mean	Max	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
86104	1966	1		Min. Temp. (C)	12.9		12	12	9	13	10	6	12	11	14	17	14	19	14	9	18	14	13	8	13	12	9	12	13	9	13	15	19	20	17	13	10
86104	1966	2		Min. Temp. (C)	12.2		10	15	9	12	9	12	8	10	11	15	12	15	12	17	16	14	8	14	10		8	14	15	14	14	12	13	10			
86104	1966	3		Min. Temp. (C)	11.9		9	12	7	9	12	18	18	22	16	12	9	16	9	10	13	14	12	10	14	15	14	10	14	12	11	6	6	10	8	12	10
86104	1966	4		Min. Temp. (C)	8.2		9	10	13	8	7	11	8	8	7	11	8	11	21	4	7	5	7	9	7	9	16	10	3	1	4	6	5	7	10	6	
86104	1966	5		Min. Temp. (C)	8.2		5	3	10	11	9	7	9	10	9	9	7	9	10	10	10	6	2	9	11	5	6	8	8	6	6	9	10	11	8	9	14
86104	1966	6		Min. Temp. (C)	5.1		9	8	4	3	4	0	2	2	4	9	6	3	8	5	5	8	5	9	11	3	5	4	5	1	6	8	7	6	2	2	
86104	1966	7		Min. Temp. (C)	5		12	10	7	9	10	8	4	2	2	6	6	4	4	3	3	-1	3	4	2	2	1	4	9	12	5	4	3	5	5	7	1
86104	1966	8		Min. Temp. (C)	5.1		7	9	4	6	6	4	7	0	0	9	7	7	6	7	7	3	2	4	7	6	7	6	6	6	4	1	4	1	6	4	7
86104	1966	9	Primavera	Min. Temp. (C)	7.5		6	9	5	6	5	2	3	7	8	3	6	7	13	9	9	7	7	9	9	14	8	7	9	6	7	5	7	9	11	14	
86104	1966	10	Primavera	Min. Temp. (C)	7.7		8	7	3	7	6	2	0	0	5	5	6	10	13	12	11	9	9	8	13	8	8	7	10	6	6	13	4	4	8	16	15
86104	1966	11	Primavera	Min. Temp. (C)	10		13	9	6	4	3	4	6	7	12	14	13	12	8	6	6	6	11	12	11	13	7	9	21	15	7	14	15	11	9	16	
86104	1966	12	Primavera	Min. Temp. (C)	11.4		10	11	13	14	12	8	6	7	8	4	17	17	12	10	8	11	9	13	9	7	12	14	15	20	14	11	12	15	8	7.8	
86104	1967	1	Verão	Min. Temp. (C)	10.7		9	13	7	9	8	10	14	11	12	13	8	8	8	13	16	7	7	6	9	16	9	13	9	11	11	11	14	14	14	12	9.2
86104	1967	2	Verão	Min. Temp. (C)	13.9		14	13	12	18	12	15	25	15	10	13	7	11	12	12	8	11	10	13	9	15	20	24	18	23	18	13	13	8			
86104	1967	3	Verão	Min. Temp. (C)	11.4		8	9	14	9	11	6	15	15	10	10	4	9	10	11	13	15	15	15	12	11	9	10	7	10	12	8	13	10	21	16	14.9
86104	1967	4	Verão	Min. Temp. (C)	9.7		13	11	13	13	14	11	7	7	9	5	5	9	11	15	13	8	14	10	17	13	7	12	9	4	4	4	2	10	15	4	
86104	1967	5		Min. Temp. (C)	6.1		3	2	8	13	10	9	10	8	7	11	11	10	9	6	2	0	5	12	12	7	2	4	3	5	3	3	3	2	3	3	
86104	1967	6		Min. Temp. (C)	5.7		6	5	7	1	1	-1	6	5	3	3	11	9	6	6	10	10	9	6	6	2	6	8	5	7	8	5	3	2	5		
86104	1967	7		Min. Temp. (C)	5.1		8	8	6	-1	1	5	2	4	2	5	6	6	8	8	7	9	8	6	5	2	7	4	4	6	8	1	1	3	6	7	8
86104	1967	8		Min. Temp. (C)	5.1		4	5	3	5	-1	2	2	6	7	6	5	10	5	3	6	0	1	1	6	7	9	7	4	9	6	10	7	6	8	3	
86104	1967	9		Min. Temp. (C)	6.6		6	5	3	7	6	7	2	5	4	9	10	7	5	10	6	8	0	3	10	6	9	6	12	3	10	7	8	4	10	10	
86104	1967	10		Min. Temp. (C)	7.5		8	7	1	1	6	13	9	9	8	15	11	3	10	7	3	7	12	8	3	5	5	5	8	8	12	13	9	10	8	6	5
86104	1967	11		Min. Temp. (C)	9.2		6	18	9	9	10	9	7	3	9	6	11	9	12	14	9	3	3	9	12	11	11	13	11	6	4	6	6	6	20	13	
86104	1967	12		Min. Temp. (C)	9.4		10	7	7	3	9	9	3	9	9	6	12	15	14	10	9	7	12	8	12	7	5	5	10	10	6	11	19	16	12	14	11

Tabela 27. Precipitações diárias (mm) na Estação Experimental de Scoresby - Austrália, entre os anos de 1966 e 1967.

STN_NUM	YEAR	MONTH	Time and Unit	Mean	Total	Days	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
86104	1966	1	9am (mm)	2.5	78.7	31				4									41		1		1	18	0								2	2	8	3	
86104	1966	2	9am (mm)	2.1	59.8	28	1	1				0	0						1	31	1	9							7	8	1						
86104	1966	3	9am (mm)	4.2	129.7	31									4				4	8	8	33	4	15	6	10	5	19	9	0			1		6		
86104	1966	4	9am (mm)	2.3	68.5	30					0	2		4	6					0		5		0		0		36	1			1			4	8	
86104	1966	5	9am (mm)	2.1	66	31	0				19	1			1		3		1	0	2	2	0			23	8	2	0	1	2	0					
86104	1966	6	9am (mm)	1.5	44.3	30	8	2	9	1						1			1	0						8	1	4	2		3	5			10	0	
86104	1966	7	9am (mm)	2.5	78.8	31	1	1				2	4		0	6	0		1	4	7	11	14	3	0					1	1	6	6	10	0	0	
86104	1966	8	9am (mm)	2.9	91.2	31			1	2	1	2				8	2	31	4	5	1				10	5		7	5	8	1						
86104	1966	9	Primavera 9am (mm)	3.3	98.1	30		5	1	2	3	4	11	6	3			1	4	25		9	4	9		2		1	1	1	1				7		
86104	1966	10	Primavera 9am (mm)	2.2	66.9	31	4	3	3	2	2	3			1						1				7	18	4						0		4	15	
86104	1966	11	Primavera 9am (mm)	2.2	65.9	30		5	5	0					4	5	12		24	2	7												1	1	0		
86104	1966	12	Primavera 9am (mm)	4.1	127.9	31	1		8	24	22								5	12	3	29	6		6	2				3	4						
86104	1967	1	Verão 9am (mm)	0.9	26.7	31													16	0	1	7												3			
86104	1967	2	Verão 9am (mm)	0.3	8.2	28													0		1	3								4							
86104	1967	3	Verão 9am (mm)	1.1	33.3	31					2			1		1													14	2	4				1	9	
86104	1967	4	Verão 9am (mm)	0.8	24.8	30					9	2	1			2					2							5			2				2		
86104	1967	5	9am (mm)	2.5	76.5	31						0	3	4						3					35	24	0	1	3			2	2				
86104	1967	6	9am (mm)	2.4	72.4	30	2	3	0			0	0		0	15	5	0		3	16	8	1	0		1	0	1	2	8	3	2			2		
86104	1967	7	9am (mm)	1.4	42.7	31	1	15	1	0	0	2	0		0	2		1		1	7			5			1			1	0	0		1	5		
86104	1967	8	9am (mm)	3.5	108.1	31	10	11	1						0	5	2	1	21	3	2	1				6	19	8				5	2	0	10	2	
86104	1967	9	9am (mm)	2.6	78.6	30	5	9	1	4	4				1			1			8	16			9	17	3	0					2				
86104	1967	10	9am (mm)	0.8	23.9	31		6	2			2	3	1		5	2			4											1						
86104	1967	11	9am (mm)	0.9	27.8	30					5				4	1					3				4	1			2		6	4			0		
86104	1967	12	9am (mm)	2.1	63.7	31			5	2	0				0			3	13		5			11	10	0	1								11		

Tabela 28. Horas de brilho solar diárias na Estação Experimental de Scoresby - Austrália, entre os anos de 1966 e 1967.

STN_NUM	YEAR	MONTH	NameAndUnit	Mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
86104	1966	1	Bright Sunshine (hours)	8.5	0.0	13.2	0.4	9.7	12.6	12.3	10.6	11.1	10.9	4.7	11.3	1.4	12.1	12.5	10.4	7.0	1.4	11.6	0.3	12.2	12.9	12.3	11.8	13.2	11.6	6.4	3.4	5.9	5.0	10.8	5.3	
86104	1966	2	Bright Sunshine (hours)	8.1	12.3	7.4	11.2	4.4	9.5	6.8	12.2	12.5	11.8	6.8	7.9	1.8	2.9	9.3	1.8	11.2	9.6	9.9	11.6	10.7	11.0	8.8	9.8	5.6	4.3	5.0	1.1	9.8				
86104	1966	3	Bright Sunshine (hours)	6.3	5.9	10.3	11.6	11.2	11.5	11.5	11.5	11.3	5.4	9.1	8.4	2.0	7.6	11.1	0.5	4.8	0.5	2.0	4.5	6.6	4.6	4.8	0.4	0.0	4.1	7.4	8.3	8.0	5.3	3.8	0.1	
86104	1966	4	Bright Sunshine (hours)	5.9	7.5	9.7	5.9	6.2	6.4	5.0	4.9	5.3	1.7	7.7	10.2	9.9	1.8	9.8	5.2	9.6	1.0	9.6	10.2	9.5	0.6	4.2	2.3	8.8	1.9	6.6	5.2	2.8	2.2	4.3		
86104	1966	5	Bright Sunshine (hours)	3.4	1.5	8.1	1.4	1.3	2.8	7.3	5.1	1.6	4.2	5.0	5.0	0.0	4.3	1.2	7.1	5.6	4.3	4.5	0.2	5.5	4.2	0.2	0.2	0.4	1.1	0.0	4.5	4.3	8.1	0.0	5.0	
86104	1966	6	Bright Sunshine (hours)	3.4	2.4	3.7	3.4	0.2	3.9	9.0	8.0	7.1	8.3	4.1	5.6	3.2	3.4	1.0	4.9	5.8	3.3	1.8	0.0	5.6	4.0	0.6	0.0	4.3	0.3	1.1	0.0	4.2	3.5	0.1		
86104	1966	7	Bright Sunshine (hours)	3.6	4.6	5.0	5.7	3.1	3.2	1.9	2.8	4.0	0.0	3.2	6.7	0.0	3.9	4.8	1.9	0.0	0.0	3.2	2.9	7.4	9.3	6.3	4.6	4.3	2.7	1.1	1.6	1.5	0.2	7.5	9.6	
86104	1966	8	Bright Sunshine (hours)	4.7	8.6	4.6	2.3	5.5	5.6	0.6	0.0	10.2	6.3	2.9	0.5	0.0	0.2	1.1	6.0	7.7	8.2	0.1	2.5	7.2	0.1	1.6	3.5	6.7	9.6	10.0	10.4	1.3	4.7	9.4	9.3	
86104	1966	9	Bright Sunshine (hours)	5.5	0.4	5.2	5.8	3.9	8.4	7.6	0.9	0.2	1.6	7.1	4.5	6.6	6.6	8.2	0.5	6.5	0.5	3.2	9.2	9.4	4.1	3.2	3.2	5.4	8.5	7.7	11.4	11.4	8.0	4.7		
86104	1966	10	Bright Sunshine (hours)	6.4	1.5			0.8	6.9	9.1	6.2	4.4	6.4	8.0	0.9	4.8	3.6	3.4	9.2	8.8	9.4	8.9		3.8	0.2	5.0	11.0	11.9	6.0	3.9	11.5	11.4	5.8		9.3	
86104	1966	11	Bright Sunshine (hours)	6.9	4.6	0.1	9.0	11.1	11.4	6.2	12.0	6.7	0.0	0.0	2.5	2.0	5.8	2.4	1.6	3.9	6.7	7.0	12.5	12.5	12.9	12.6	10.0	8.5	12.8	2.9	5.1	8.2	11.6	3.6		
86104	1966	12	Bright Sunshine (hours)	6.7	0.0	0.0	0.0	9.0	3.3	12.5	9.3	6.4	11.7	11.8	10.6	3.1	6.5	0.4	0.9	2.6	9.5	9.9	4.1	11.9	12.7	12.3	8.0	5.7	6.9	5.4	8.5	7.7	4.3	1.4	10.4	
86104	1967	1	Bright Sunshine (hours)	8.7	8.6	6.4	12.3	11.2	11.9	11.3	8.4	12.0	11.0	9.8	11.2	4.5	6.1	4.2		10.6	10.2	12.8	12.2	5.0	0.2	12.7		3.9	5.6	9.5	9.4	9.5	2.6	6.5	11.5	
86104	1967	2	Bright Sunshine (hours)	8.2	9.4	10.3	12.3	10.7	11.4	12.1	9.9	8.0	10.3	10.2	11.8	9.1	3.9	7.8	2.6	1.3	10.2	9.3	10.1	9.4	10.6	7.1	11.9	1.0	3.5	1.5	2.1	11.8				
86104	1967	3	Bright Sunshine (hours)	7.2	11.2	7.0	5.1	6.1	7.5	11.5	4.8	3.0	2.7	8.3	11.2	10.3	11.5	11.4	11.1	11.5	11.4	2.9	8.7	11.3	11.1	3.2	7.8	1.0	2.9	7.0	7.4	8.3	5.1	0.0	0.9	
86104	1967	4	Bright Sunshine (hours)	6.1	5.7	5.9	10.8	8.4	2.2	2.6	7.1	6.6	2.8	10.3	10.2	7.2	1.3	3.6	10.2	6.0	10.1	10.0	3.6	7.7	0.2	0.6	4.1	8.9	1.6	10.2	9.6	7.4	1.9	7.5		
86104	1967	5	Bright Sunshine (hours)	5.1	9.3	9.3	8.8	7.8	6.4	0.1	6.0	3.3	6.7	9.4	1.4	6.9	2.8	3.9	8.1	8.6	9.2	0.0	0.8	4.4	8.4	4.3	7.3	3.7	8.9	1.2	1.8	4.6	0.5	1.5	3.1	
86104	1967	6	Bright Sunshine (hours)	4.2	3.7	1.1	7.7	8.7	1.5	8.6	4.3	6.0	1.4		5.3					2.9	0.4	2.6	5.5	1.3	7.4	1.9	1.5	2.1	0.9	6.9	8.2	8.8	1.5	4.5		
86104	1967	7	Bright Sunshine (hours)	4.2	0.6	1.9	6.7	6.7	8.7	4.3	7.8	8.4	0.3	4.1	0.5	1.3	3.4		5.1	0.6	2.3	1.6	4.2	4.1	9.1	7.3	2.5	7.7	0.0	3.2	4.8	9.4	3.8	0.6	7.2	1.1
86104	1967	8	Bright Sunshine (hours)	4.4	3.1	4.3	7.0	4.2	9.3	0.7	4.0	1.9	4.7	0.3	4.1	2.9	5.5	5.7	2.2	7.7	9.9	7.9	0.0	3.0	0.1	4.2	5.4	6.9	7.4	2.1	1.0	0.6	2.3	7.9	10.2	
86104	1967	9	Bright Sunshine (hours)	6.1	0.4	3.5	7.7	0.2	5.1	9.5	8.0	9.0	7.9	6.6	3.6	7.0	9.3	2.1	1.2	8.2	9.2	1.3	7.1	4.8	5.6	8.5	4.3	10.3	6.3	1.9	11.3	7.6	6.5	7.6		
86104	1967	10	Bright Sunshine (hours)	7.4	6.3	0.0	11.7	10.7	2.2	3.8	7.9	8.6	9.4	3.4	2.5	5.9	4.5	3.0	9.9	5.4	3.0	9.9	9.8	11.1	10.3	7.0	11.8	12.0	5.1	10.1	8.2	10.8	10.8	6.6	8.9	
86104	1967	11	Bright Sunshine (hours)	8.1	11.6	3.3	3.4	11.3	7.2	4.0	10.8	9.9	7.6	10.4	9.5	9.2	9.6	7.6	10.5	12.4	10.0	9.9	2.9	7.6	4.7	6.1	11.2	12.2	3.4	6.6	10.1		1.1	9.4		
86104	1967	12	Bright Sunshine (hours)	8	3.0	6.6	8.6	9.1	9.1	11.5	5.7	12.1	9.8	9.4	1.3	0.8	4.8	5.8	6.7	11.1	11.7	4.4	10.5	11.4	7.2	12.1	13.0	13.5	12.5	11.9	6.3	8.1	5.2	1.3	3.0	

WATER UPTAKE BY AN APPLE TREE WITH VARIOUS PROPORTIONS OF THE ROOT SYSTEM SUPPLIED WITH WATER

J.D.F. Black and D.W. West
Victorian Department of Agriculture,
Ferntree Gully, Australia, 3156.

In the spring of 1966 a trial was established at the Scoresby Horticultural Research Station to find the effect on water use of young apple trees when varying proportions of the root systems were supplied with an optimum moisture regime.

TEST

EXPERIMENTAL

AFTER PROPAGATE

Apple trees were taken from the nursery one year after budding and were selected for uniformity for the trial. The root system of these trees were severed into four separate parts by two saw cuts normal to each other extending from the crown of the root system to about 15 cm. up the trunk.

SEPARATED BY FORCE

GRAVE

AMARRA OCS

SCERA.

Each quadrant was planted in a separate 9 litre plastic bucket filled with a free draining soil and fitted with a drainage outlet. The four containers for each tree were strapped together, mounted on a platform, and insulated as a unit with double layered aluminium foil. The trees were watered daily in all quadrants until mid-summer, by which time shoot growth had ceased, daily leaf area increases were minimal, and a well developed root system was present in each container. For ten days before the treatments were imposed, all units were weighed daily and were then watered to an excess of their daily water use, calculated by the difference in successive daily weighings and the weight of water added. Surplus water was removed by drainage and measured.

EXCESS

After this calibration period the same weighing, watering and drainage procedures continued on one tree but on other trees the entire water loss was replaced to 3, 2, or 1 quadrants only while the remaining quadrants were allowed to dry out.

On one tree watering ceased altogether and weight changes were used to show when the entire soil volume had reached wilting point. At the conclusion of the trial all trees were fully watered for eight days to check their rate of recovery to the original regime.

RESULTS

The transpirational losses for the various treatments are expressed as a percentage of the transpirational loss from the control, fully watered tree and are plotted in Fig. 1 against cumulative evaporation measured in an adjacent weather station. The times of initiation and cessation of treatments are indicated in Fig. 1.

On the unwatered tree, permanent wilting occurred after 48 mm. cumulative evaporation from commencement of treatments and total leaf fall occurred.

after 98 mm evaporation. From this time (150 mm in Fig.1) it was therefore assumed that the remaining trees were dependent on the imposed treatments.

The mean transpirational loss in the treatment interval from 150 mm to 215 mm (at which time treatments ceased) for the various treatments relative to the fully watered tree is shown in Table 1.

TABLE 1

Mean transpirational loss from apple trees expressed as percentage of the transpirational loss from a fully watered tree when stated proportions of the root system were wetted.

1/4 watered	74%
2/4 watered	88%
3/4 watered	94%
4/4 watered	100%

The recovery rate following the return to a fully watered state after 215 mm cumulative evaporation (Fig.1) supported the visual observation made at the completion of the trial that roots in the dried quadrants had not suffered permanent damage.

CONCLUSION

The high proportion of water loss from the tree with 25 percent of its root system wet compared to the loss when the entire root system was wet (74%) suggested that wetting substantially less than the total root system daily would produce at least as good a regime for plant water supply as wetting the entire root system with (say) a 14 day interval between watering. If this were so, the economies of slow application rates of watering could be turned to advantage in orchard irrigation.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Campus "Luiz de Queiroz"
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"

Fls. Nº 132

Proc. Nº : 96.5.400.11.9

Interessado: ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ QUEIROZ

Assunto: SUGERE A ELABORAÇÃO DE UM DOCUMENTO DE FORMALIZAÇÃO DE INSTRUÇÃO AOS CANDIDATOS NA APRESENTAÇÃO DO TEXTO PRODUÇÕES CIENTÍFICA NO CONCURSO DE LIVRE DOCENTE

Informação Nº

A apresentação de texto sistematizando as obras do candidato ao concurso de Livre Docência é previsto no artigo 82, inciso II, do Estatuto da USP, quando diz que o título de Livre Docente será outorgado mediante concurso público que compreenderá...II - *defesa de tese ou de texto que sistematize criticamente a obra do candidato ou parte dela*. Este inciso é transcrito no Regimento Interno da ESALQ. A realização das provas e o modo de avaliação estão expressos nos artigos 163 a 181 do Regimento Geral da USP.

A USP aceita, portanto, para julgamento, a apresentação de texto que sistematize **criticamente** a obra do candidato, em substituição à tese.

É necessário, entretanto, não confundir texto crítico da obra do candidato com seu memorial. Neste devem estar relacionadas suas atividades didáticas, de pesquisa e de extensão e assim devem ser julgadas. O texto deve ser uma discussão crítica das linhas de pesquisa desenvolvidas pelo autor e deve estar em julgamento a coerência e a exatidão de suas atividades, bem como seu mais completo conhecimento dos assuntos envolvidos.

O artigo 165, inciso I do Regimento Geral, obriga o candidato, no ato de inscrição, a entregar comprovação dos trabalhos realizados, ou seja, cópias dos trabalhos publicados, o que já atende o item 1 das sugestões da Comissão Julgadora do concurso de Livre Docência do

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Campus "Luiz de Queiroz"
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

Departamento de Genética. A existência de índice e de bibliografia é norma elementar em qualquer publicação e devem sempre existir.

No que concerne à defesa de tese ou de texto, o artigo 169 do Regimento Geral da USP é bastante claro quando diz: *"Na defesa pública de tese ou de texto elaborado os examinadores levarão em conta o valor intrínseco do trabalho, o domínio do assunto abordado, bem como a contribuição original do candidato na área de conhecimento pertinente"*.

Do mesmo modo que ocorre com a tese, cabe à Comissão Julgadora, e a mais ninguém, avaliar o texto apresentado e verificar se o mesmo cumpre as exigências do concurso e se tem méritos para ser aprovado.

As normas necessárias ao desenvolvimento dos trabalhos da Comissão Julgadora já existem no Estatuto e no Regimento Geral da USP. Por sua vez, a redação do texto deve correr por conta dos méritos literários do candidato e nesse caso nenhuma norma pode existir. Não acreditamos que outras normas tornem mais claras as já existentes e que possam auxiliar a Comissão Julgadora na avaliação dos méritos do candidato.

É nossa opinião, s.m.j.

ESALQ, 10 de outubro de 1996.

João H. NOGUEIRA
11/10/96