UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Thaísa Alcoforado de Almeida

AVALIAÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO NO ÂMBITO DA GESTÃO PARTICIPATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO

Dissertação de Mestrado

Recife

2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Thaísa Alcoforado de Almeida

AVALIAÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO NO ÂMBITO DA GESTÃO PARTICIPATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO

Dissertação de Mestrado

Orientadora:
Profª Drª Suzana Maria Gico Lima Montenegro
Co-orientador:
Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

Recife, Pernambuco, Brasil
2006

A447a **Almeida, Thaísa Alcoforado**

Avaliação do manejo de irrigação no âmbito da Gestão Participativa dos Recursos Hídricos no semi-árido Pernambucano / Thaísa Alcoforado Almeida. - Recife: O Autor, 2006.

xi, 140 folhas, il : figs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2006.

Inclui bibliografia e Anexos.

1. Recursos Hídricos. 2. Gestão Participativa. 3.Irrigação - Pernambuco I. Título.

UFPE

624 **CDD (22. ed.)** **BCTG/2007-127**

AVALIAÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO NO ÂMBITO DA GESTÃO PARTICIPATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO

Thaísa Alcoforado de Almeida

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.

APROVADA POR:

Profª Suzana Maria Gico Lima Montenegro
Departamento de Engenharia Civil - UFPE

Prof. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Departamento de Engenharia Civil - UFPE

Prof. Antônio Celso Dantas Antonino
Departamento de Energia Nuclear - UFPE

Recife, Pernambuco, Brasil
2006

A Deus,
Aos meus pais, Arceniza e Gilberto,
A minha irmã Camila,
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me guiado em meus momentos de escolha, de dificuldades e de sucessos.

Aos meus pais, Arceniza e Gilberto, pelo grande apoio, pela compreensão de minha ausência, pelo estímulo à busca de conhecimentos como fonte de riqueza eterna. Este trabalho é um sonho de vocês também.

A toda minha família, em especial a minha irmã, que esteve presente de forma indireta com sua doçura e paciência, como também diretamente no apoio em campo e nas análises de laboratório.

Aos meus genitores acadêmicos, Suzana e Abelardo Montenegro, pela descoberta de meus dotes científicos, por terem me ensinado a "fazer ciência" e por terem me tornado o profissional que sou. À professora Suzana Montenegro, como orientadora deste trabalho, agradeço por sua orientação, dedicação, amizade e força, nos momentos em que fraquejei. E ao professor Abelardo Montenegro, pelos grandes ensinamentos, pela paciência, pela acolhida e pela colaboração interdisciplinar nesta dissertação.

A Tiago Tasso, que acreditou na minha realização através deste trabalho e apostou nesse sonho.

Aos meus amigos, Carol Caheté, Leidjane Oliveira e Clebenilson Araújo pela amizade, pelo conforto emocional, pelo apoio algumas vezes técnico e pelos abraços e sorrisos diários. Às amigas Sylvana Santos e Nathália Dussett pela amizade e exemplo de sucesso na vida acadêmica.

A estimada colega Teresa Leitão, pesquisadora do LNEC/Portugal, pela grande contribuição na realização dos experimentos e análises.

Aos amigos do Departamento de Tecnologia Rural da UFRPE, em especial ao engenheiro Manoel Leal Costa Netto, por sua dedicação nas atividades de campo, além dos alunos de graduação que foram de suma importância, Tafnes, Eduardo, João Paulo e Júlio. Como também aos mestrandos da Universidade de Birmingham, Katie Dane, Emilie Galley e Simon Sholl, pela difusão de conhecimentos e técnicas.

Aos agricultores, Laudenice Bezerra e José de Souza Filho, proprietários da área de estudo, pelo envolvimento e pela confiança em meus ensinamentos como cientista.

Aos demais amigos e colegas, professores e funcionários da UFPE e da UFRPE pelo convívio, pela amizade e apoio sempre que solicitados.

Aos amigos extra acadêmicos e familiares, pela eterna torcida.

Ao DFID, Mott McDonald e Universidade de Birmingham, no âmbito do Projeto KaR, pelo suporte financeiro.

Ao CNPq pela bolsa de mestrado e suporte financeiro.

AVALIAÇÃO DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO NO ÂMBITO DA GESTÃO PARTICIPATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO

RESUMO

A região semi-árida do Nordeste brasileiro é caracterizada pela dependência à água subterrânea, para prática de agricultura irrigada que é uma das principais fontes de renda da região. Esses ambientes de escassez hídrica e de conflitos sociais nos momentos de seca demonstram tamanha necessidade na implementação de ações otimizadas de gestão. Neste trabalho, uma proposta de gerenciamento de irrigação local é apresentada, eficientemente avaliada embasada em conhecimentos acadêmicos e científicos na quantificação das reservas e a caracterização da dinâmica da água no solo. A utilização de modelos matemáticos de fluxo subterrâneo e a inserção do modelo de gestão participativa e gerenciamento dos recursos hídricos em pequenas comunidades rurais também foram avaliados. O presente trabalho foi desenvolvido em vale aluvial, região semi-árida do estado de Pernambuco, Brasil. A região, distrito de Mutuca, município de Pesqueira, foi escolhida para implementação de barragens subterrâneas para o aumento de reservas subterrâneas. Sobre as áreas das barragens é praticada a agricultura de pequeno porte que conduz a problemas de impactos ambientais em questões relacionadas ao uso sustentável e à preservação das águas subterrâneas quanto a sua quantidade e qualidade. Foi selecionada uma área localizada à montante da barragem Cafundó II. Dois lotes foram estudados: um com manejo baseado em conhecimento técnico-científico, e outro sob o empirismo do conhecimento local. A contaminação do solo da água subterrânea relacionada a agroquímicos também foi investigada na área, além da vulnerabilidade do aqüífero. Precipitação e evaporação foram monitoradas diariamente pelo agricultor para a implementação do manejo de irrigação proposto. Verificou-se que, em geral, o manejo empírico atende à demanda total da cultura. Entretanto, não há qualquer preocupação com a distribuição temporal da aplicação da irrigação, causando estresses desnecessários e aplicação de lâminas de irrigação em dias úmidos. As ações desenvolvidas têm contribuído para o empoderamento das comunidades e para o uso sustentável dos recursos hídricos, e a conservação dos recursos naturais através do manejo integrado e participativo.

IRRIGATION MANAGEMENT ASSESSMENT EMBEDDED IN WATER RESOURCES PARTICIPATORY MANAGEMENT IN SEMI ARID OF PERNAMBUCO STATE

ABSTRACT

The semi arid region Northeast of Brazil is characterized by the dependence of groundwater for the practice of irrigated agriculture, one of the main economic activities in the region. The scenarios of water scarcity and social conflicts on periods of drought demonstrate the strong requirement for implementing actions aiming the optimized management of water resources. In this work, a proposal of irrigation management, at a plot scale is presented and its efficiency evaluated based in academic and scientific knowledge quantifying water storage and characterizing water dynamics in the soil. An unsaturated flow mathematical model has been used for the assessment of the management. In addition, the implementation of participatory water resources management practices has also been evaluated in small rural communities. This work has been developed on alluvial valleys in the semi arid region of Pernambuco state, Brazil. The irrigation management at a plot scale has been studied in an alluvial deposit nearby Mutuca, a small village in Pesqueira city, where a sequence of underground dams have been installed for augmenting groundwater reserves. Upstream some of these dams, small scale agriculture are practiced. Empirical practices tend to cause environmental impacts related to the sustainable use and conservation of groundwater, in its quantity and quality aspects. An area located upstream of Cafundó II dam was selected. Two irrigated plots had been studied as trial areas: one with management based on technical-scientifical knowledge, and the other under empirical local knowledge irrigation practice. Soil and groundwater contamination related to agrochemicals has also been investigated in the area. Precipitation and evaporation have been daily monitored by the farmer for implementing the proposed irrigation management. The numerical simulations showed that, in general, the empirical practices fulfill the total crop water requirement. However, as the time distribution of the irrigation applications is not taken in account, both water stress and excess application occur during the cropping. The implemented actions have contributed for the empowerment of the communities and for arising the awareness of the importance of the sustainable water resources use and natural resources conservation through the integrated and participative management.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS ix
ÍNDICE DE TABELAS xi
1. INTRODUÇÃO 1
1.1. Objetivo geral 3
1.2. Objetivos específicos 3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
2.1. A água no mundo 4
2.2. A água no Brasil 5
2.3. A região semi-árida e a água 6
2.4. O solo 7
2.4.1. A água no solo 10
2.4.2. Umidade do solo 11
2.4.3. Potencial de água no solo 12
2.4.4. Movimento de água no solo 13
2.4.5. Equação da continuidade 14
2.4.6. Equação de Richards 16
2.5. Propriedades hidrodinâmicas do solo 16
2.5.1. Condutividade hidráulica 16
2.5.2. Curva característica 17
2.5.3. Modelos analíticos das propriedades de um solo não saturado 19
2.5.4. Funções de transferência hidropedológicas - FTHs 21
2.6. Evapotranspiração 22
2.7. Irrigação 24
2.7.1. Irrigação no semi-árido 26
2.8. Degradação e contaminação de água e solo na agricultura 27
2.8.1. Salinização e sodificação 27
2.8.2. Toxicidade 28
2.8.3. Fertilizantes e agrotóxicos 29
2.9. Estudos de vulnerabilidade à poluição 30
2.10. A água e o desenvolvimento sustentável 31
2.11. Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade 32
2.11.1. Gestão participativa 34
2.12. Transferência de tecnologia 36
2.13. Modelo de análise SWOT 37
3. MATERIAL E MÉTODOS 38
3.1. Caracterização da área de estudo 38
3.1.1. Mimoso – Fazenda Nossa Senhora do Rosário 41
3.1.2. Campo Alegre – Reserva Indígena Xukuru 42
3.1.3. Vale do Mutuca 43
3.2. Caracterização da área experimental 45
3.2.1. Experimento 1 – área de treinamento 46
3.2.2. Experimento 2 47
3.3. Instrumentação (instalação de equipamentos) 49
3.4. Testes de lâmina 49
3.5. Volume de água aplicado na irrigação 50
3.6. Coleta e análise de solo 51
3.6.1. Caracterização física 51

3.6.2. Caracterização química 52
3.7. Caracterização física dos solos 53
3.8. Coleta e análise da água 61
3.9. Análise da vunerabilidade à poluição – Índice GOD 64
3.10. Modelagem matemática do fluxo em meio não saturado 67
3.10.1. Modelo Hydrus 1D 67
3.11. Simulação numérica 68
3.11.1. Área A1 – manejo técnico 74
3.11.2. Área A2 – manejo empírico-cultural local 75
3.12. Proposição do gerenciamento dos recursos hídricos 76
3.12.1. Gestão participativa na área em estudo 76
3.12.2. Gestão participativa – exemplo em lote irrigado 78
3.13. Aplicação do modelo de análise SWOT 79
3.13.1. Strengths – Forças 81
3.13.2. Weakness – Fraquezas 82
3.13.3. Opportunities – Oportunidades 82
3.13.4. Threats – Ameaças 83
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 85
4.1. Manejo da irrigação 85
4.2. Curva característica 89
4.3. Simulações computacionais 92
4.3.1. Experimento na área A1 92
4.3.2. Experimento na área A2 98
4.3.3. Aplicação do HYDRUS como ferramenta de gestão 104
4.4. Determinação do índice de vulnerabilidade GOD 105
4.5. Avaliação da contaminação 107
4.5.1. Investigação de agrotóxicos 107
4.5.2. Avaliação da qualidade da água de irrigação 107
4.5.2. Avaliação da contaminação de solos 110
4.6. Avaliação da mobilização comunitária para a gestão participativa 113
4.6.1. Avaliação do monitoramento participativo 116
4.7. Avaliação da garantia de sustentabilidade das ações 119
5. CONCLUSÕES 121
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 123
ANEXO A - Dados agroclimatológicos ..... A
ANEXO B - Tensiometria ..... B
ANEXO C - Aplicação da lâmina de irrigação C
ANEXO D - Aplicação de pesticidas ..... D
ANEXO E - Testes de lâmina de irrigação ..... E
ANEXO F - Medição da profundidade das raízes ..... F
ANEXO G - Ajustes para curva característica ..... G

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Triângulo de classificação de textura do solo (USDA, 1993)..... 9
Figura 2.2. Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2005). 10
Figura 2.3.. Elemento de volume de solo não-saturado no qual ocorrem variações nas componentes de densidade de fluxo. 15
Figura 2.4. Curva característica representativa de diferentes tipos de solos (adaptado de Braun e Kruijine, 1994). 18
Figura 2.5. Família de curvas característica, para umedecimento (infiltração) e ressecamento (drenagem) (Klar, 1988). 19
Figura 3.1. Brasil. Destaque para a região Nordeste e estado de Pernambuco (Montenegro et al., 2004) 38
Figura 3.2. Região semi-árida brasileira (Fonte: BNB, 2005) 38
Figura 3.3. Mapa do estado de Pernambuco com destaque para o município de Pesqueira (adaptado de Milmo, 2004)..... 39
Figura 3.4. Mapa esquemático do vale aluvial, rede de drenagem e área de estudo (Kelly, 1995)..... 41
Figura 3.5. Identificação do vale do Mimoso, sobre os municípios de Pesqueira, Belo Jardim e Jataúba (adaptado de Sholl, 2005). 43
Figura 3.6. Modelo digital do terreno – MDT. Identificação das áreas de captação e rios e riachos. Vale do Mutuca (Sholl, 2005). 44
Figura 3.7. Barragens subterrâneas no vale do Mimoso. Destaque para a barragem de Cafundó II (Sholl, 2005)..... 46
Figura 3.8. Esquema representativo das áreas experimentais. 48
Figura 3.9. Caracterização visual do perfil de solo na área A1, ordenado em colunas, da esquerda para a direita. 52
Figura 3.10. Medidor de resistividade, ABEM SAS 300B Terrameter..... 54
Figura 3.11. Caixa seletora manual para determinação das combinações entre eletrodos. 55
Figura 3.12. Cabo conector com eletrodos encravados no solo, sobre as áreas A0 e A1. 55
Figura 3.13. Seqüência de combinações e medições, seguindo a matriz de Werner (adaptado de Last, 2004). 56
Figura 3.14. Secção geofísica nas áreas investigadas..... 57
Figura 3.15. Classificação textural do solo das áreas de estudo..... 58
Figura 3.16. Distribuição granulométrica nos perfis analisados nas áreas de estudo..... 59
Figura 3.17. Perfil geofísico da secção AA'. Mapeamento dos valores de resistividade (Ω.m). Locação da estação tensiométrica de observação. 60
Figura 3.18. Diagrama de Piper para classificação hidroquímica da água (Piper, 1944). 63
Figura 3.19. Diagrama de classificação da água para irrigação, segundo riscos de salinização e sodificação (U.S.D.A., 1954)..... 64
Figura 3.20. Esquema de localização da barragem subterrânea Cafundó II e os poços e piezômetros de observação. 67
Figura 3.21. Esquema de discretização dos perfis simulados para as duas áreas..... 70
Figura 3.22. Esquema representativo da variação de α em função da tensão do solo (Feddes, 1978). 72
Figura 4.1. Evapotranspiração potencial e precipitação, em mm, para o período de avaliação (08.04.2005 a 30.06.2005)..... 86

Figura 4.2. Lâmina de irrigação aplicada e demanda hídrica da cultura do repolho, não atendida pela precipitação, na área A1, no dia da aplicação. 87
Figura 4.3. Lâmina de irrigação aplicada e demanda hídrica da cultura do repolho, não atendida pela precipitação, na área A2, no dia da aplicação. 87
Figura 4.4. Lâmina de irrigação aplicada e demanda hídrica da cultura do repolho, não atendida pela precipitação, na área A3, no dia da aplicação. 88
Figura 4.5. Valores acumulados de oferta e demanda hídrica nas três áreas irrigadas. . 89
Figura 4.6. Curvas características de retenção de umidade da área A1..... 90
Figura 4.7. Curvas características de retenção de umidade da área A2..... 91
Figura 4.8. Verificação dos potenciais matriciais a 10 cm de profundidade. Destaque para os valores maiores que -140 cm., na área A1. 93
Figura 4.9. Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, ao longo da zona radicular. Nós de observação a 10 cm, 20 cm, 30 cm e 40 cm, na área A1. 94
Figura 4.10. Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, abaixo da zona radicular. Nó de observação a 60 cm, na área A1. 95
Figura 4.11. Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, abaixo da zona radicular. Nó de observação a 80 cm, na área A1. 96
Figura 4.12. Evolução da transpiração real e transpiração potencial acumuladas, para o período de observação, na área A1. 97
Figura 4.13. Evapotranspiração real e potencial acumuladas, evaporação de solo nu e transpiração real da planta, no período de observação, na área A1. 97
Figura 4.14. Lâmina infiltrada (-) e evaporada (+) calculadas pelo HYDRUS, para o período de observação, na área A1. 98
Figura 4.15. Verificação dos potenciais matriciais a 10 cm de profundidade. Destaque para os valores maiores que -140 cm, na área A2. 99
Figura 4.16 Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, ao longo da zona radicular. Nós de observação a 10 cm, 20 cm, 30 cm e 40 cm, na área A2. 100
Figura 4.17. Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, abaixo da zona radicular. Nó de observação a 60 cm, na área A2. 101
Figura 4.18. Tensões medidas e calculadas pela simulação tipo B, abaixo da zona radicular. Nó de observação a 80 cm, na área A2. 102
Figura 4.19. Evolução da transpiração real e transpiração potencial acumuladas, para o período de observação, na área A2. 103
Figura 4.20. Evapotranspiração real e potencial acumuladas, evaporação de solo nu e transpiração real da planta, no período de observação, na área A2. 103
Figura 4.21. Lâmina infiltrada (-) e evaporada (+) calculadas pelo HYDRUS, para o período de observação, na área A2. 104
Figura 4.22. Diagrama de Piper da água analisada..... 109
Figura 4.23. Classificação das águas de rega, com base no risco de salinização e de alcalinização. 110
Figura 4.24. Diagrama de caixas das diferentes variáveis analisadas em solos. 112
Figura 4.25. Capacitação de agricultores, setembro 2004 – Pesqueira, PE..... 114
Figura 4.26. Difusão de conceitos técnicos em oficina de capacitação – Pesqueira, PE. 115
Figura 4.27. Monitoramento agroclimatológico feito por agricultora local. 118
Figura 4.28. Agricultor em monitoramento de salinidade por medição de condutividade elétrica. 118
Figura 4.29. Agricultor disseminando informações em área demonstrativa. 119

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Recursos hídricos no Brasil, capacidade e consumo hídrico (FAO, 2005b). 6
Tabela 2.2. Classificação granulométrica, segundo a Sociedade Internacional de Ciência do Solo (USDA, 1993). 8
Tabela 2.3. Irrigação no Brasil (FAO, 2005b)..... 25
Tabela 2.4. Série de documentos *Irrigation and Drainage Papers* produzidos pela FAO e suas contribuições à solução de problemas em ambientes agrícolas. 33
Tabela 3.1. Tempo a ser ligado o sistema de irrigação em função da necessidade de reposição da evaporação, L_R. 51
Tabela 3.2. Cronograma de coleta de amostras de solo para análise química..... 53
Tabela 3.3. Densidade global e de partículas dos perfis sob cultura. 58
Tabela 3.4. Avaliação do parâmetro G – Índice GOD (Foster, 1987)..... 65
Tabela 3.5. Avaliação do parâmetro O – Índice GOD (Foster, 1987)..... 65
Tabela 3.6. Avaliação do parâmetro D – Índice GOD (Foster, 1987)..... 66
Tabela 3.7. Variação de valores para cada classe de vulnerabilidade do Índice GOD (Foster, 1987). 66
Tabela 3.8. Representação da discretização quadripartida do dia, para simulação com entrada diária fracionada. 71
Tabela 3.9. Parâmetros de planta utilizado no modelo de Feddes (Feddes et al., 1978). 72
Tabela 4.1. Parâmetros encontrados para caracterização do perfil de solo nas áreas A1 e A2, segundo van Genuchten (1980). 92
Tabela 4.2. Determinação do Índice GOD para o período seco inicial (agosto – novembro)..... 105
Tabela 4.3. Determinação do Índice GOD para o período seco final (dezembro – março)..... 106
Tabela 4.4. Determinação do Índice GOD para o período úmido (abril – julho)..... 106
Tabela 4.5. Análise físico-química da água coletada nos pontos amostrais previamente ao plantio. 108
Tabela 4.6. Análise físico-química do solo da área de referência 111
Tabela 4.7. Análise físico-química do solo das áreas cultivadas..... 113

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos hídricos subterrâneos tende a aumentar nos próximos anos, tanto pelas necessidades decorrentes da concentração demográfica e da expansão econômica, como por suas vantagens relativas sobre as águas superficiais, em quantidade e qualidade. Todavia, a situação atual da explotação é marcada por uma visão imediatista de uso do recurso, em função da existência de mecanismos legais e normativos não efetivamente empregados.

Além do aspecto quantitativo, há que se considerar a importância da investigação das questões relacionadas ao uso sustentável e à preservação das águas subterrâneas no quesito qualidade. Nesse sentido, destaca-se que uma das mais severas ameaças à qualidade das águas subterrâneas é a concentração excessiva de sais. A salinidade da água no subsolo em níveis elevados impõe restrições do seu uso não só para o consumo humano e animal como também para o desenvolvimento da agricultura. As causas de salinização das águas subterrâneas estão relacionadas a processos naturais, uso do solo e pela dissolução de minerais presentes no solo (Montenegro, 1997; Montenegro et al., 2001; Tutejaa et al., 2003). A contaminação e conservação da qualidade da água subterrânea nas áreas agrícolas também estão relacionadas ao uso de agroquímicos (Zalidis et al., 2002; Babiker et al., 2004; Brainwood et al., 2004; Lourencetti et al., 2004; Worrall e Kolpin, 2004). O pequeno agricultor pratica a agricultura irrigada e de sequeiro nessa região com escassez de recursos hídricos e susceptibilidade à sua degradação, de forma empírica, sem avaliar os impactos da aplicação excessiva de lâminas, uso de agrotóxicos, necessidade de seleção de culturas apropriadas, etc.

A região semi-árida do Nordeste brasileiro é caracterizada pela dependência socioeconômica da água subterrânea, em função da geração de recursos através da agricultura irrigada que é uma das fontes de renda da região. Esses ambientes de escassez hídrica e de conflitos nos momentos de seca demonstram tamanha necessidade na implementação de ações de gerência e de manejo otimizados dos recursos hídricos, como única forma de convivência com problemas relacionados à falta de água. Nesse contexto, merecem destaque os aqüíferos aluviais, os quais são vítimas dessa problemática de exploração desenfreada, além dos problemas relacionados à instabilidade da quantidade e da qualidade hídrica.

Em termos de gestão dos recursos hídricos, o Brasil possui um arcabouço legal eficiente, suportado pela Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, a qual institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e instrumenta todas as ações nacionais de gerenciamento desse recurso. Em particular, no Estado de Pernambuco, a política de gerenciamento de recursos hídricos é gerida sob a Lei Estadual nº 11.426/1997 que dispõe sobre a política de gestão de águas superficiais e a Lei Estadual nº 11.427/1997 que discute a política das águas subterrâneas. Recentemente, essa legislação estadual foi revisada e integrada pela Lei Estadual nº 12.984/2005 que dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos e o sistema integrado de gerenciamento (Brasil, 1997; Pernambuco, 1997a; Pernambuco, 1997b; Pernambuco, 2005). Quaisquer das legislações em vigência tratam da regulamentação da exploração, ou da implementação de arranjos institucionais como comitês e, ou, conselho de usuários no âmbito dos aqüíferos aluviais.

Partindo do princípio que a água é essencial para a vida humana e, para a agricultura e para o desenvolvimento do semi-árido, o manejo adequado deste recurso se apresenta necessário para a sustentabilidade local, ou seja, deve haver o uso racional baseado no monitoramento e previsão, e assim garantir o abastecimento integral ao longo do tempo e espaço (Milmo, 2004).

Uma nova concepção política tem sido implantada em todos os níveis organizacionais na convivência com o semi-árido com a participação da população na gestão (Zinato, 2000; Almeida et al., 2004; Branco et al., 2004; Rauschmayer e Risse, 2005; Santos et al., 2005). As ações de infra-estrutura emergenciais têm proporcionado maior espaço às ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos de forma integrada, participativa e descentralizada em apoio às ações dos órgãos gestores locais, estaduais e ONGs. Procura-se identificar e otimizar todos os usos da água, desenvolvendo mecanismos e estratégias que garantam o gerenciamento integrado e minimize os conflitos naturalmente gerados pela escassez do recurso hídrico.

Através de ações simples, como a inserção de conceitos técnico-científicos e tecnologias de baixo custo, é possível proporcionar desenvolvimentos social, econômico e cultural de indivíduos dessas regiões. O processo encontra-se embasado no respeito a práticas hereditárias e culturais, que caracterizam a região de forma social, e na inovação pela inclusão da conscientização ambiental e tecnológica.

Nesse aspecto não apenas o conhecimento das reservas e da dinâmica de contaminantes é importante, mas também aspectos diversos relacionados à economia e seu impacto na sociedade, à educação e ao uso da água em pequenas comunidades rurais. Os resultados das pesquisas, ou o conseqüente conhecimento adquirido devem ser transferidos ao pequeno agricultor para que o mesmo possa praticar a pequena agricultura de maneira sustentável.

1.1. Objetivo geral

Avaliar a eficiência do manejo da irrigação, quando comparado à prática empírica, no âmbito da gestão participativa em região semi-árida.

1.2. Objetivos específicos

- Mostrar que práticas simples de manejo, promovidas pelo agricultor local nas diversas etapas de planejamento e gestão podem garantir a sustentabilidade hídrica;
- Utilização de modelos matemáticos da dinâmica da água e de solutos no sistema solo-planta-atmosfera como ferramenta de avaliação;
- Inserção de conceitos de gestão participativa e gerenciamento dos recursos hídricos em pequenas comunidades rurais;
- Avaliar a vulnerabilidade à contaminação da área de estudo, no contexto da análise do impacto das práticas empíricas correntes;
- Difusão dos resultados como incentivo à prática controlada da irrigação, como também aspectos diversos relacionados a aspectos sociais e econômicos, à educação e ao uso da água; visando a melhoria de qualidade de vida da população local.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A água no mundo

Em uma rápida síntese sobre as condições da água, vê-se que apesar da Terra ser coberta por cerca de dois terços de água ou mais precisamente 71% da superfície, o planeta passa por problemas de escassez. Do total de água existente no mundo aproximadamente 97,5% são de águas que se encontram nos oceanos e mares, ou seja, água salgada, restando apenas 2,5% de água doce. Nem mesmo esses 2,5% podem ser totalmente aproveitados, pois a maior parcela da água doce (68,9%) se encontra em calotas polares e geleiras. Ainda dessa porcentagem aproveitável, 29,9% são águas subterrâneas e o restante cabe à água doce de reservatórios, rios e lagos (1,2%). Na sua maior parte, a água será destinada à irrigação (70%) e ao suprimento urbano (26%), restando algo como 4% para o abastecimento difuso (Rebouças, 1999).

Considerando os números expostos, é possível deparar com um cenário preocupante de escassez hídrica. Ë necessário adotar comportamentos que visem a garantia de abastecimento humano, e ações que minimizem os desperdícios. Como visto no parágrafo anterior, a agricultura é o principal consumidor de água, levando a uma competição com as porcentagens reservadas para o abastecimento humano, a qual é corroborada pelo avanço em proporções alarmantes das demandas. A competição é intensificada com o avanço das populações e a expansão da agricultura como atividade primária para suprir a demanda alimentar, de forma a criar um ciclo que proporciona o aumento do consumo hídrico em todas as regiões do mundo. Dessa forma, o crescimento demográfico ocorrido nos últimos anos tem também contribuído de forma indireta com o aumento da demanda de água.

Uma vez traçado o cenário de escassez, conflitos cada vez mais intensos entre os usuários começaram a se estabelecer, garantindo a água como ensejo de guerras e disputas pelo bem natural (Freitas, 2000; Forum Forschung, 2001; Mbonile, 2005). Neste caso, os ambientes natural e antrópico assumem papéis essenciais relacionados à disponibilidade e à qualidade dos recursos naturais, principalmente a água, minimizando o desperdício e os efeitos de escassez. A população mundial só poderá garantir a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos se houver uma visão de sustentabilidade ao longo do tempo e do espaço.

Ações têm sido propostas a fim de mitigar os conflitos e garantir a sustentabilidade hídrica, ou seja, garantir a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade para gerações futuras. Comunidades internacionais têm inserido conceitos e transformado essa consciência em modificações dos sistemas de gerenciamento. A questão não é mais quando ou por que, mas como se pode equilibrar a demanda hídrica entre a subsistência e os ecossistemas resilientes buscando a equidade entre sustentabilidade ambiental e eficiência econômica. (FAO, 2005a).

2.2. A água no Brasil

O Brasil possui uma diversidade climática ampla, com o predomínio do tipo equatorial úmido, tropical e subtropical, que combinados às condições geológicas dominantes produz importantes excedentes hídricos que alimentam uma das mais extensas e densas redes de rios perenes do mundo. A exceção é representada pelos rios temporários que nascem nos domínios das rochas do embasamento aflorante (400.000 Km^2) do contexto semi-árido da região Nordeste do país (Rebouças, 2000).

No enfoque natural, o Brasil recebe destaque mundial pela riqueza de águas e pelo desperdício desse recurso. A grande descarga de água doce dos seus rios, concentrada principalmente na região norte, na bacia do rio Amazonas, é certamente destaque. De alguma maneira, essa abundância de água doce, mesmo que concentrada em algumas regiões, poderá ter servido de suporte à cultura do desperdício, a falta de investimento necessário ao seu uso e proteção eficiente, e à sua pequena valorização econômica.

O crescimento exagerado de demandas pontuais e regiões de superpopulação retrata um grande problema nacional como conseqüência da expansão desordenada das populações urbanas e industriais (IBGE, 2000). Dessa forma são combinados os usos inadequados, a utilização da água como um bem livre de uso comum, e as demandas concentradas pelo retrato da má distribuição da população.

Nas áreas rurais, a população fundamentou a sua economia no aproveitamento do potencial hídrico superficial e subterrâneo, explorando os recursos hídricos de forma extensiva, tanto na agricultura quanto na pecuária (IBGE, 2000; Rebouças, 2000). Face ao baixo nível tecnológico e organizacional, a ocupação do meio rural tem provocado a retirada da vegetação nativa nas bacias hidrográficas que ocupam, levando à redução das reservas de água do solo e conseqüente progressiva queda de produtividade natural. Tais

fatores agregam a um ciclo de ações antrópicas que visam mitigar os problemas de escassez hídrica que contribuem para o surgimento de novos problemas.

A prática agrícola em nível nacional representa um dos maiores consumidores de água, levando à redução das reservas hídricas e à exposição de um cenário de super exploração dos volumes renováveis e não renováveis de água no país. A FAO (2005b), órgão internacional apoiado pela ONU, expõe os números do uso da água no mundo e no Brasil, destacando a redução do volume hídrico disponível ao longo dos anos, e retratando em forma de previsões, um cenário de escassez num futuro próximo (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Recursos hídricos no Brasil, capacidade e consumo hídrico (FAO, 2005b).

Brasil	**1993 - 1997**	**1998 - 2002**	**2003 - 2007**
Precipitação média em volume (10^9 m^3/ano)	15 174	15 174	15 236*
Água subterrânea: produção interna (10^9 m^3/ano)	1 874	1 874	1 874*
Água superficial: produção interna (10^9 m^3/ano)	5 418	5 418	5 418*
Recursos Hídricos: total interno renovável (10^9 m^3/ano)	5 418	5 418	5 418*
Recursos Hídricos: total interno per capita (m^3/hab/ano)	32 822	30 739	29 991*
Recursos Hídricos: total externo (atual) (10^9 m^3/ano)	2 815	2 815	2 815*
Recursos Hídricos: total renovável (atual) (10^9 m^3/ano)	8 233	8 233	8 233*
Recursos Hídricos: total renovável per capita (atual) (m^3/hab/ano)	49 875	46 710	45 573*
Consumo hídrico na agricultura (10^9 m^3/ano)	33,43	36,63	ND**
Consumo hídrico no meio doméstico (10^9 m^3/ano)	11,5	12,02	ND**
Consumo hídrico industrial (10^9 m^3/ano)	9,94	10,65	ND**
Total do consumo hídrico (soma de setores) (10^9 m^3/ano)	54,87	59,3	ND**
Consumo hídrico na agricultura, parte do total (%)	60,93	61,77	ND**
Consumo hídrico no meio doméstico, parte do total (%)	20,96	20,27	ND**
Consumo hídrico industrial, parte do total (%)	18,12	17,96	ND**
Consumo total hídrico per capita (m^3/hab/ano)	332,4	336,4	ND**
Consumo hídrico na agricultura como porcentagem do total renovável (%)	0,406	0,4449	ND**
Consumo hídrico total, porcentagem do total renovável (%)	0,6665	0,7203	ND**

* Valores de previsão; ** ND – Não determinado.

2.3. A região semi-árida e a água

O principal problema da região semi-árida brasileira é a falta de água. Não propriamente pelo volume precipitado, mas pela quantidade evaporada e baixa capacidade de armazenamento nos solos, em geral, rasos. Índices anuais típicos de precipitação estão

em torno de 500mm, com cerca de 80% dessa precipitação ocorrendo durante a estação úmida, compreendida entre os meses de dezembro e maio, e com taxas de evaporação superiores a 2000mm por ano. As freqüentes secas, notadamente em anos de El Nino combinado com o dipolo do Atlântico, limitam a expansão da atividade rural contribuindo para a pobreza rural. Esses aspectos contribuem para o êxodo rural, aumentando a população nas cidades e levando os não-migrantes a um elevado estado de pobreza.

Nesse cenário, a pequena agricultura ou a agricultura familiar vem se constituindo importante fonte de renda em pequenas comunidades pobres e contribuindo para diminuir o êxodo rural. Diversas culturas de subsistência vêm sendo implantadas. No entanto, dadas as condições climáticas adversas com concentração da precipitação em um período curto ao longo do ano, a prática da irrigação se torna imperiosa para o desenvolvimento da agricultura. Com escassos recursos hídricos de superfície, e mais susceptíveis às variações climáticas, os recursos hídricos subterrâneos vêm sendo mais utilizados para a prática da pequena agricultura irrigada, ao mesmo tempo em que outros usos, como o abastecimento doméstico e a dessedentação animal são dependentes dessa fonte, quando os recursos superficiais se esgotam (Silva, 2000; Costa et al., 2003).

Os vales aluviais do semi-árido apresentam bom potencial para a pequena agricultura irrigada, embora sejam susceptíveis a processos de acúmulo de sais. A irrigação nestas áreas pode incorrer em impactos ambientais, tanto relacionados ao solo como à água subterrânea (Montenegro et al., 2000; Montenegro et al., 2001; Montenegro et al., 2004; Bastos, 2004)

2.4. O solo

O solo é definido como um sistema poroso constituído por partículas sólidas e volume de vazios, que podem ser ocupados pelo ar ou pela água, sendo, portanto, um armazenador de nutrientes e água para as plantas (Klar, 1988). As fases comuns na natureza são sólida, líquida e gasosa, que são encontradas nos solos. A fase sólida é composta de minerais, matéria orgânica e vários componentes químicos. As fases líquida e gasosa são complementares: a máxima presença de uma implica na ausência da outra (Prevedello, 1996). A fase gasosa é representada pela ocupação de vazios entre as partículas sólidas por ar, enquanto a fase líquida é composta pela água existente no solo, com substâncias dissolvidas (Klar, 1988).

O estudo dos parâmetros físicos desse sistema complexo proporciona um entendimento de todas as inter-relações com processos naturais ou não naturais como a irrigação, drenagem, conservação de água no solo, ligando-se a fatores geológicos, agronômicos e hidrológicos.

O tamanho relativo dos grãos que formam a fase sólida do solo é chamado *textura* e sua medida, *granulometria*.

Quanto à granulometria, vários autores classificam diferentemente os grãos em três classes básicas: areia, silte e argila. Neste trabalho foi seguida a classificação proposta pela Sociedade Internacional de Ciências do Solo – ISST, a qual segue os valores expostos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Classificação granulométrica, segundo a Sociedade Internacional de Ciência do Solo (USDA, 1993).

Classificação	**Tamanho dos grãos (diâmetro médio, mm)**
Pedregulho	> 2,0
Areia	2,0 – 0,02
Silte	0,02 – 0,002
Argila	< 0,002

Pela determinação da classe textural de um solo vários autores (Reichardt, 1985; Klar, 1988; Ferreira et al., 1997; Gomes, 1999; Silva, 2003) identificam a relação à proporção de três frações básicas no solo – areia, silte e argila, onde as diferentes proporções destes componentes indicam as classes texturais. Essas classes podem ser determinadas através do triângulo de texturas, proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), conforme apresentado na Figura 2.1.

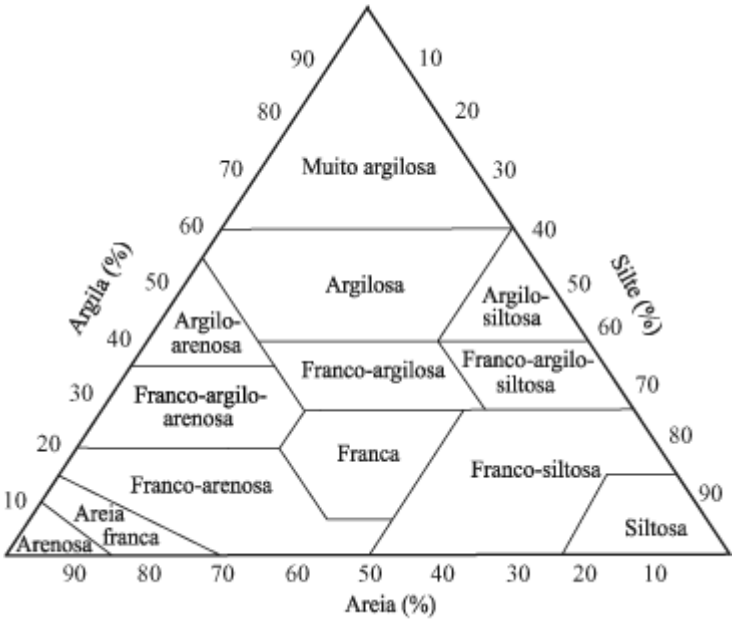

Figura 2.1. Triângulo de classificação de textura do solo (USDA, 1993)

Quando avaliada a distribuição, orientação ou organização das partículas do solo, é caracterizada a *estrutura* do solo. Considerando o solo como um sistema de arranjo complexo, não pode ser determinada qualquer metodologia simples para caracterização geométrica desse sistema. Por isso, o conceito de estrutura do solo não é apenas quantitativo, mas sim qualitativo. A estrutura do solo vai influir em diversos parâmetros físicos (Klar, 1988).

Caputo (1988) apresenta como relevante aos estudos de física do solo, a definição de *densidade de partículas do solo* (d_p), anteriormente chamada de densidade real, a relação estável no tempo, entre a massa da fração sólida do solo (m_s) e o volume da fração sólida no solo (V_s), seguindo a equação:

$$d_p = \frac{m_s}{V_s} \tag{2.1}$$

Não considerado um parâmetro físico do solo por sua susceptibilidade à variações no tempo, mas de relevante análise, principalmente em estudos agronômicos, entre outros objetivos, para a determinação da quantidade de água a aplicar no solo em projetos de irrigação, a *densidade global* ou simplesmente a densidade de um solo (d_g), é definida

como a relação entre a massa de fração sólida do solo (m_s) e o volume total do solo (V_t), conforme apresentado na equação (2.2):

$$d_g = \frac{m_s}{V_t} \tag{2.2}$$

Quanto à porosidade total ou a porosidade de um solo, $\eta(\%)$, Klar (1988) apresentou a seguinte relação entre a densidade global (d_g) e a densidade de partículas do solo (d_p) (equação 2.3):

$$\eta(\%) = \left(1 - \frac{d_g}{d_p}\right) x100 \tag{2.3}$$

Sob influência da porosidade e da textura, a *condutividade hidráulica* representa a altura de coluna d'água que atravessa o solo saturado, numa determinada unidade de tempo, sob um gradiente hidráulico unitário.

2.4.1. A água no solo

A água contida no solo e nas formações geológicas existentes, abaixo da superfície, é dividida ao longo do perfil vertical de acordo com a ocupação dos espaços vazios por água ou ar, em principalmente duas zonas: zona saturada e zona não-saturada (Caicedo, 2000; Manoel Filho, 2000) (Figura 2.2).

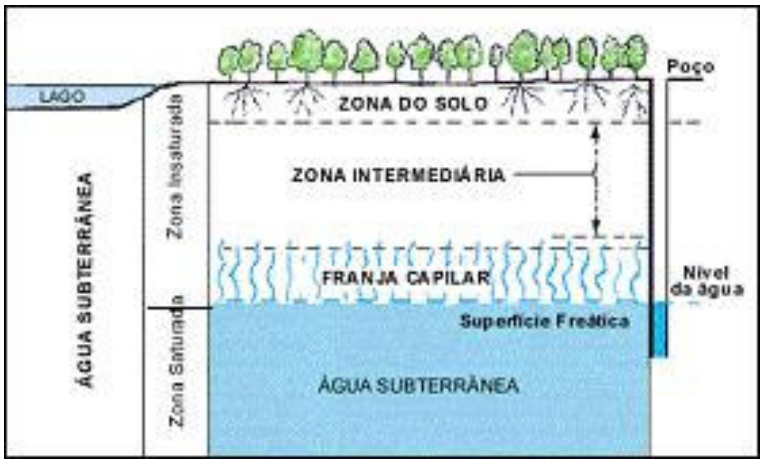

Figura 2.2. Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2005).

A zona saturada ou zona de saturação possui todos os vazios preenchidos por água, situando-se abaixo da superfície freática. A superfície freática, por sua vez, é definida como o lugar geométrico dos pontos em que a água se encontra submetida à pressão atmosférica. É uma superfície real na qual a pressão de referência é igual a zero.

A zona não-saturada é também chamada de zona insaturada, zona de aeração ou zona vadosa. A zona não saturada situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno e nela os vazios estão parcialmente preenchidos por gases e por água. A zona não-saturada é subdividida em três sub zonas: zona capilar, zona intermediária e zona de solo ou zona de evapotranspiração.

A zona capilar se estende da superfície freática até o limite de ascensão capilar da água. A sua espessura depende da distribuição do tamanho dos poros e da homogeneidade do perfil. Em sua parte inferior, os poros encontram-se saturados, decrescendo a umidade de baixo para cima, até que apenas os poros menores se encontrem preenchidos por água. Ainda adota-se o conceito de franja capilar como o limite abaixo do qual o solo é considerado saturado. A zona intermediária está compreendida entre o limite de alcance capilar da água e a zona de raízes das plantas. Já a zona de solo, ou zona de evapotranspiração, está situada entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno (Manoel Filho, 2000).

2.4.2. Umidade do solo

Para o desenvolvimento de estudos do movimento de água no solo é importante discutir a definição de umidade. A umidade do solo pode ser expressa pela relação entre massas de água e de solo seco, comumente chamada de *umidade gravimétrica* (Equação 2.4) ou pela relação entre o volume de água e o volume de total, solo e vazios, a *umidade volumétrica* (Equação 2.5) (Libardi, 2000).

$$a(\%) = \frac{m_a}{m_s} \; x\,100 \qquad (2.4)$$

$$\theta = \frac{V_a}{V_t} \; x\,100 \qquad (2.5)$$

Onde:

a , é a umidade gravimétrica (%);

m_a , é a massa de água, [M];

m_s , é a massa de solo seco, [M];

θ, é a umidade volumétrica, [%];

V_a é o volume de água, [L^3];

V_t é o volume total de solo, [M].

O uso de θ torna-se mais adequado que a no caso de computação de quantidades de águas adicionadas ao solo por irrigação ou chuva e retiradas por drenagem ou evapotranspiração, porque a mesma representa a lâmina de água que esta sendo armazenada na amostra de altura z de solo (Klar, 1988).

2.4.3. Potencial de água no solo

Inicialmente, é necessário apresentar a definição de potencial de energia da água no solo proposto pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo – ISSS, que define o potencial de água no solo, representado por ψ, como "a quantidade de trabalho que deve ser desenvolvida para uma unidade de água pura a ser transportada, reversível e isotermicamente, de um ponto de referência à elevação específica, sob pressão atmosférica, à mesma temperatura, ao ponto em consideração" (USDA, 1993).

Como em qualquer sistema natural em busca de equilíbrio, a movimentação da água no solo ocorre a partir da diferenças de potencial de água entre dois pontos, com a água fluindo de um ponto de maior potencial para o ponto de potencial menor, na tendência natural. Esse conceito exclui a utilização das definições de água gravitacional, água capilar e água higroscópica, uma vez que as forças atuantes sempre existem, havendo apenas a predominância entre elas em alguns momentos.

Entretanto, a água no solo está sob a ação de diversas forças e diferenças de potenciais, derivando como força resultante o potencial total do solo, expresso pela equação:

$$\psi = \psi_m + \psi_o + \psi_g + \psi_p \qquad (2.6)$$

onde,

ψ é o potencial total do solo, [L];

ψ_m é o potencial matricial, [L];

ψ_o é o potencial osmótico, [L];

ψ_g é o potencial gravitacional, [L] e

ψ_p é o potencial de pressão [L].

O potencial matricial (ψ_m) é o potencial de energia da matriz do solo, resultante das forças existentes entre as partículas de solo e as moléculas de água – potencial de adsorção (ψ_a); e as tensões provenientes dos meniscos de água nos capilares do solo – o potencial capilar (ψ_c).

O potencial osmótico (ψ_o) é vinculado às concentrações de substâncias dissolvidas, levando a água sempre de um meio menos concentrado ao meio mais concentrado como objetivo de se atingir o equilíbrio entre as concentrações das soluções. Considerando o solo um sistema semipermeável, ocorre a solicitação de um trabalho externo para efetuar-se a transferência da movimentação de soluções através de um processo de osmose. Esse processo é de fundamental importância na relação solo-água-planta, na absorção de soluções pelas raízes das plantas.

O potencial gravitacional (ψ_g) é determinado a partir da altura da coluna de água em relação a um plano de referência, considerando a massa de água e a ação da gravidade.

Por fim, o potencial de pressão (ψ_p) que é dado devido a uma pressão externa, seja ela negativa (sucção) ou positiva.

2.4.4. Movimento de água no solo

A equação que descreve o fluxo da água no solo, proposta inicialmente para a zona não saturada, é a equação de Darcy, e tem a seguinte expressão:

$$q = -K \frac{\Delta h}{L} \tag{2.7}$$

Onde,

q é a densidade de fluxo [$L.T^{-1}$];

K é a condutibilidade hidráulica [$L.T^{-1}$];

Δh / L é o gradiente hidráulico [$L.L^{-1}$].

A lei de Darcy apresenta algumas limitações, não sendo válida para todas as condições de fluxo num meio poroso. Ela se aplica onde não haja variação na condutibilidade hidráulica e no gradiente hidráulico e onde o fluxo for laminar, pois a linearidade deste, versus o gradiente hidráulico desaparece a altas velocidades; em solos arenosos, é mais viável a velocidade da água tornar as condições de fluxo não laminares, portanto turbulentas, resultando em perdas de energia, ou seja, o gradiente de potencial hidráulico torna-se menos efetivo (Klar, 1988).

As primeiras pesquisas que apresentam modificações à equação de Darcy, adaptando os conceitos iniciais às condições de solo não-saturado, foram desenvolvidas por Buckingham em 1907 (Libardi, 2000; Lahlou et al., 2004). A equação de Darcy foi reescrita, introduzindo como componentes influenciáveis o potencial matricial em função da umidade, conhecido inicialmente por potencial capilar, $\psi_m(\theta)$; o potencial gravitacional, ψ_g, que resultam no potencial total do solo (ψ_t), e por fim a condutividade hidráulica, em função da umidade em volume do solo. Chamou-se, então, de Equação de Darcy-Buckingham, a expressão,

$$\vec{q} = -K(\theta)\,\vec{\nabla}\psi_t \qquad (2.8)$$

Onde,

$\vec{q}$ é a densidade de fluxo da solução, [L T^{-1}];

$K(\theta)$ é a função da condutividade hidráulica, [L T^{-1}];

ψ_t é a função potencial total, [L];

θ é a umidade volumétrica do solo [L^3. L^{-3}].

2.4.5. Equação da continuidade

As equações anteriores definem apenas as condições de movimento e densidade de fluxo em regime estacionário, e normalmente as condições naturais se apresentam de forma transiente. Em condições transientes, as Equações (2.7) e (2.8) não são utilizadas, solicitando a aplicação de equações de continuidade (Equação 2.9) (Prevedello, 1996; Libardi, 2000), que pode ser escrita como:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right] \tag{2.9}$$

A equação da continuidade é baseada nos princípios de conservação de massa contida em um elemento de volume de solo, ΔV. É considerado que todas as componentes de fluxo sofrem variações em suas direções dentro de uma unidade de tempo, segundo esquema representativo na Figura 2.3.

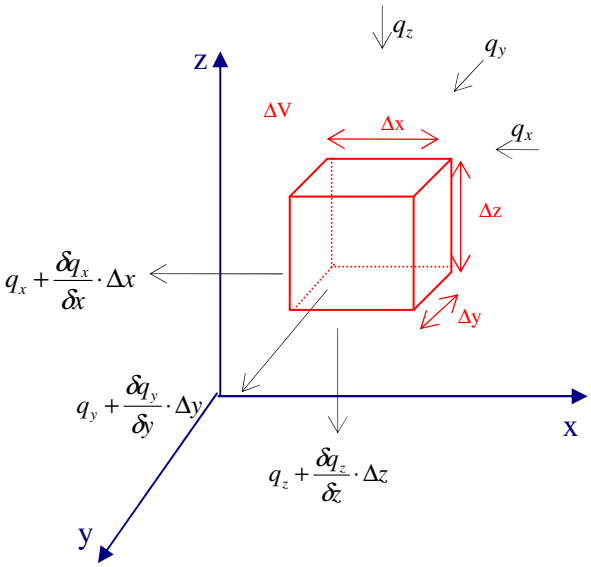

Figura 2.3.. Elemento de volume de solo não-saturado no qual ocorrem variações nas componentes de densidade de fluxo.

Seguindo o esquema representativo (Figura 2.3), combinado à Equação (2.9), pode-se concluir que a variação no armazenamento em uma única direção é determinada pela diferença entre a densidade do fluxo de entrada e saída do sistema, num dado intervalo de tempo, para um comprimento de solo definido (Equação 2.10).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\left[\frac{\partial q_{x,y,z}}{\partial (x, y, z)} \right] \tag{2.10}$$

2.4.6. Equação de Richards

Em continuidade aos estudos de física do solo e movimento da água em condições de não-saturação, Richards em 1931 combinou a equação da continuidade aos princípios da lei de Darcy e aos estudos de Buckingham. Richards desenvolveu a seguinte equação:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot \left[K(\theta) \cdot \vec{\nabla} \psi_t \right] \tag{2.11}$$

que na direção vertical, z, pode ser detalhada em função do gradiente de potencial total da água na coluna de solo, $\frac{\partial \psi_t}{\partial z}$, como:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left[K(\theta) \cdot \left(\frac{\partial \psi_t}{\partial z} \right) \right] - S(h) \tag{2.12}$$

2.5. Propriedades hidrodinâmicas do solo

2.5.1. Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica é um parâmetro hidrogeológico, que correlaciona as propriedades do meio e as propriedades do fluido que está escoando, em especial a viscosidade e a massa específica. A condutividade hidráulica envolve o conhecimento da permeabilidade intrínseca, relacionada ao volume total e distribuição do tamanho de poros, além da tortuosidade e das características do fluido como densidade e viscosidade (Cabral, 2000; Caicedo, 2000). A condutividade hidráulica é a medida de habilidade do solo em transmitir água através dos poros do solo, representada como fator de proporcionalidade, K, na lei de Darcy (Equação 2.7).

A principal diferença entre o escoamento em meio saturado e em meio não-saturado está na condutividade hidráulica. Em regime de saturação, o solo possui todos os poros preenchidos por água e conduzindo água, apresentando uma condição de condutibilidade máxima do fluido. No meio não-saturado os poros encontram-se preenchidos por água e ar decrescendo a condutividade hidráulica nesta situação. Assim, a condutividade hidráulica é variável em função da umidade do solo, atingindo seu valor máximo na saturação, onde é

chamada de condutividade hidráulica de saturação, K_s, ou K_o. Quando sob a condição de não saturação, se obtém a função $K(\theta)$, a qual recebe o nome de condutividade hidráulica do solo não-saturado. Para meios porosos saturados ou não-saturados, a maior dificuldade na quantificação do fluxo está na determinação da condutividade hidráulica (Pauletto et al., 1988).

As determinações de K_s ou $K(\theta)$ podem ser feitas em campo ou laboratório. Dentre os métodos mais aplicados em laboratório estão o permeâmetro de carga constante e de carga decrescente para determinação de K_s (Libardi, 2000; Carvalho, 2002). As medições em campo podem ser feitas por diversos métodos, direcionados às condições de saturação e de não-saturação, entre eles: método do furo do trado, método da drenagem interna, determinação pelo infiltrômetro de anel simples, infiltrômetro de anel duplo e infiltrômetro a disco (Libardi, 2000; Vandervaere et al., 2000).

2.5.2. Curva característica

A relação entre o potencial de água no solo e a umidade do solo pode ser representada graficamente por uma curva que caracteriza o armazenamento de água pelo solo (Richards, 1941; Jalbert e Dane, 2001). Essa representação gráfica é chamada de curva característica do solo ou curva de retenção de água no solo. Em geral, a curva característica é também uma representação da função que correlaciona o volume de água dentro dos poros do solo e a energia necessária para extração dessa água pela ação de uma força de sucção (Klar, 1988). A curva característica, também é representativa da retenção de água no solo, sofrendo influência em sua forma de parâmetros como: temperatura, teor de matéria orgânica, textura, estrutura e densidade do solo (Rawls et al., 1991). A Figura 2.4 apresenta esquematicamente diferentes curvas características em função do tipo de solo.

A determinação da curva é dada a partir de uma amostra de solo saturada sob condições de pressão atmosférica em equilíbrio. Como exposto na Figura 2.4, se essa amostra é imposta a uma força de sucção, haverá a redução do volume de água permitindo a entrada de ar no sistema e conseqüentemente a redução da umidade do solo. A intensidade da força de sucção aplicada será proporcional à redução da umidade, uma vez que aumentando a sucção, poros menores perderão água, havendo a diminuição dos

meniscos de água nas partículas de solo, solicitando uma força cada vez maior para retirada de água.

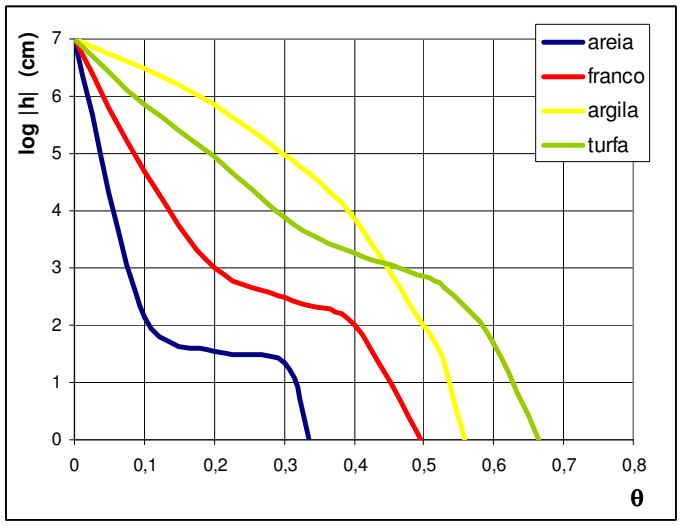

Figura 2.4. Curva característica representativa de diferentes tipos de solos (adaptado de Braun e Kruijine, 1994).

A diferença entre as curvas da Figura 2.5 está intimamente ligada à distribuição dos poros, que por sua vez está relacionada com pressão capilar. Solos arenosos apresentam poros maiores, que quando submetidos à sucção apresentam redução brusca da umidade. Em análise da curva de solos argilosos, o decréscimo da umidade é gradual, devido à redução dos poros e às forças iônicas entre partículas de solo e água.

Normalmente a curva característica é determinada em laboratório com amostras de solo indeformadas para melhor representar os aspectos estruturais do solo (Chicota e Jong van Lier, 2004). Testes em campo podem ser utilizados, com a instalação de tensiômetros para o monitoramento do potencial matricial do solo, combinada a leituras de umidade por equipamentos como a sonda de nêutrons ou sensores de umidade (Klar, 1988; Carvalho, 2002). Entretanto, é necessário observar que os procedimentos *in loco* apresentam custos elevados de operacionalização, restringindo sua aplicabilidade.

Para obtenção da curva de retenção em laboratório, tem sido utilizada ultimamente a câmara de pressão de Richards (Richards, 1941). O método proposto por Richards consiste em uma câmara de pressão no interior da qual são fixadas placas porosas, nas superfícies superiores das quais são dispostas as amostras de solo procurando-se obter o melhor contato possível entre solo e placa; a outra superfície da placa, a inferior, é

convenientemente preparada para ficar sob pressão atmosférica quando uma pressão de ar é aplicada na câmara para retirada da água da amostra (Libardi, 2000).

A curva é quase sempre determinada pelo processo de secagem de uma amostra úmida. Quando as medidas são realizadas durante o umedecimento de uma amostra "seca", a curva obtida não acompanha a anterior e confere-se a existência de uma família de curvas distintas. A esse fenômeno é dado o nome de histerese (Libardi, 2000). A Figura (2.5) representa o processo.

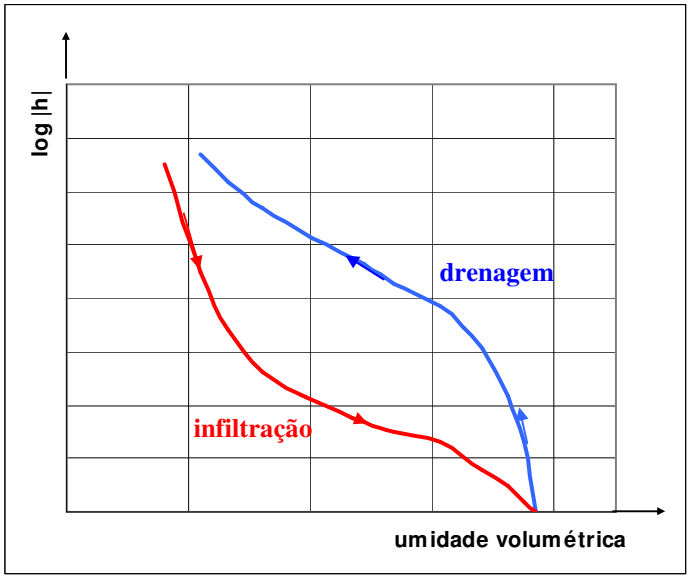

Figura 2.5. Família de curvas característica, para umedecimento (infiltração) e ressecamento (drenagem) (Klar, 1988).

2.5.3. Modelos analíticos das propriedades de um solo não saturado

Uma abordagem nos modelos de simulação numérica de fluxo de água na zona não saturada é o uso de funções analíticas representantes da curva característica e da curva de condutividade hidráulica do solo. Exemplos dessas funções são as desenvolvidas por Brooks e Corey (1964) e van Genuchten (1980). A aplicação de funções permite a parametrização dessas curvas e sua representação contínua, sem a necessidade de interpolação ou extrapolação de valores pontuais avaliados em campo ou laboratório. Contudo, as equações parametrizadas requerem a determinação de parâmetros que servirão como dados de entrada para os modelos de simulação.

Nesta abordagem, no estudo da movimentação de água na zona não-saturada, o uso de funções analíticas representando a relação tensão-umidade, ou curva característica, e a curva de condutividade hidráulica do solo, considerando a umidade, $\theta(h)$, e a condutividade hidráulica, $K(h)$, são funções não lineares da tensão no solo. Nesse domínio, Brooks e Corey (1964), e van Genuchten (1980), dentre outros, equacionaram as relações que expressam essas características hidrodinâmicas.

A retenção de água no solo, $\theta(h)$, e a condutividade hidráulica, $K(h)$, são funções, segundo Brooks e Corey (1964), dadas respectivamente por:

$$S_e = \begin{cases} |\alpha h|^{-n} & , h < -1/\alpha \\ 1 & , h \geq -1/\alpha \end{cases} \tag{2.13}$$

$$K = K_s \cdot S_e^{2/n+l+2} \tag{2.14}$$

onde, S_e é a saturação efetiva dada por:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \tag{2.15}$$

sendo:

θ_r, a umidade residual, [%];

θ_s, a umidade saturada, [%];

K_s, a condutividade hidráulica saturada, [L. T^{-1}];

α, a pressão de borbulhamento, [L^{-1}];

n, o fator de distribuição do tamanho dos poros, [-];

l, o parâmetro de conectividade entre poros, [-].

Os parâmetros α, n e l são considerados muitas vezes fatores empíricos relacionados à forma dos solos que afetam a formação das funções hidráulicas.

O modelo teórico de van Genuchten (1980) é baseado no modelo de distribuição estatística de poros de Mualem (1976) a fim de obter uma equação de estimativa em

função da condutividade hidráulica não-saturada em termos de retenção de água no solo. As expressões estabelecidas por van Genuchten (1980) são determinadas pelas equações:

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \dfrac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha h|^n\right]^m} & , h < 0 \\ \theta_s & , h \geq 0 \end{cases} \tag{2.16}$$

$$K(h) = K_s S_e^t \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m\right]^2 \tag{2.17}$$

onde,

$$m = 1 - \frac{1}{n}, \quad n > 1 \tag{2.18}$$

sendo,

θ_s , a umidade saturada em volume, [$L^3.L^{-3}$];

θ_r , a umidade residual em volume, [$L^3.L^{-3}$];

α, o valor inverso da entrada de ar, [L^{-1}];

n e m , parâmetros de forma, [-];.

2.5.4. Funções de transferência hidropedológicas - FTHs

A simulação do comportamento da água no solo requer o conhecimento dos parâmetros hidrodinâmicos. Determinação em campo ou em laboratório desses parâmetros geralmente envolve problemas com custos e demanda de tempo. Associado a essas restrições, em alguns casos a precisão das medidas não é garantida, devido às limitações de algumas metodologias e equipamentos (Carvalho, 2002). Uma das metodologias alternativas para a avaliação desses parâmetros é o uso de funções de transferência hidropedológicas, entre outras, que permitem determinar a estimativa de retenção de água no solo a partir de características e propriedades físicas (Salchow et al., 1996 ; Montenegro e Montenegro, 1997; Bouraoui et al., 1999).

Prevedello (1996), Šimůnek et al. (1998) e Libardi (2000) citam diversos autores que procuraram estabelecer ou modificar modelos matemáticos para estimar os parâmetros

hidrodinâmicos do solo a partir de parâmetros hidropedológicos facilmente mensuráveis, entre eles: Saxton et al. (1986); Rawls e Brakensiek (1989); Ragab e Cooper (1990). Essas funções são determinadas a partir da análise de um extenso grupo de dados aplicado a equações de regressões, desenvolvidas sobre as correlações existentes entre parâmetros e propriedades do solo de fácil determinação em campo e a retenção de água no solo, entre elas textura, tamanho dos poros, porcentagem de matéria orgânica entre outros.

Essas funções podem ser aplicadas a modelos isoladamente, ou de forma combinada (Arya e Paris, 1981).

2.6. Evapotranspiração

A evapotranspiração é dada pela ocorrência simultânea da evaporação e da transpiração. Consiste em um processo isolado no qual a água em forma líquida é convertida em vapor (vaporização) e removida da superfície evaporante, seja ela superfície líquida ou sólida, através de processos endógenos. A transpiração consiste na vaporização da água de interstícios inter e intracelulares das folhas, responsáveis pelo desenvolvimento vegetal e na formação de tecidos, retirada do solo através das raízes (Allen et al., 1998).

A evapotranspiração recebe várias definições entre os estudiosos da área. Em 1944, Thornthwaite foi um dos pioneiros em definir a evapotranspiração potencial, como "a perda de água de um solo vegetado, sem déficit hídrico, num determinado período"(Klar, 1988).

Em 1948, Penman introduziu a influência do albedo nas taxas de evaporação, relacionando a evaporação de uma superfície livre de água com a evaporação potencial através de um fator de proporcionalidade, o qual é determinado pelo tipo de vegetação e fatores climático-meterológicos, criando o Método Combinado de Penman. Ainda neste século, Doorenbos e Pruitt (1977), propuseram no boletim número 24 da FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, uma modificação ao método de Penman, introduzindo o fator de cultivo (*Kc*).

A fim de definir a evapotranspiração de comunidades de vegetais, fixaram-se condições nas quais sua medida deve ser feita e definiu-se, então, a evapotranspiração potencial de referência ET_0 como sendo a quantidade de água evaporada na unidade de tempo e de área, por uma cultura de baixo porte, verde, cobrindo totalmente o solo, de

altura uniforme e sem deficiência de água. Esse conceito é utilizado nas regiões tropicais e subtropicais para a grama batatais (*Paspalum notarum* L.) a qual permanece verde durante o ano todo. Para tal superfície as condições climáticas (energia líquida, vento e umidade relativa) é que determinam o valor de ET_0. Logo, a evapotranspiração potencial de referência é tomada como um elemento meteorológico para estudos comparativos (Reichardt, 1987).

Devido a interface cultura-atmosfera entre a grama batatais e outras culturas, em diferentes estádios de desenvolvimento, definiu-se a evapotranspiracao máxima da cultura ET_M relacionada à evapotranspiração potencial de referência ET_0, através de um coeficiente de cultura K_c. O valor de K_c é determinado a partir de testes experimentais através da relação ET_M / ET_o.

Alguns autores definem a evapotranspiração máxima de uma cultura como a evapotranspiração potencial da cultura, aqui representada pela sigla *ETP*. Logo,

$$ETP = ETo \, . \, Kc \qquad (2.19)$$

onde,

ETP é a evapotranspiração potencial da cultura considerada, $[LT^{-1}]$;

ETo é a evapotranspiração de referência, $[LT^{-1}]$;

Kc é o coeficiente de cultivo, [-].

Righetto (1998) afirma que a quantificação da evapotranspiração através de formulações físicas é complicada e complexa devido ao enredamento dos fenômenos físicos intervenientes e pela variabilidade das escalas em que esses fenômenos acontecem.

Enquanto a transpiração envolve dimensões microscópicas entre a absorção de água pelas raízes das plantas, armazenamento e movimentação de água no interior das plantas e liberação de água para a atmosfera através do sistema foliar, o transporte de vapor depende de parâmetros meteorológicos e da circulação do ar na camada limite da atmosfera, com dimensões da ordem de alguns quilômetros na vertical e dezenas de quilômetros na horizontal. Assim, faz-se necessário o conceito e distinção entre a evapotranspiração potencial (*ETP*) e evapotranspiração real (*ETR*). A evapotranspiração real (*ETR*) é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo (Tucci e Beltrame, 2000).

Na prática, as quantidades de água evaporadas, a partir do teor de umidade do solo, e transpiradas, no processo de desenvolvimento das plantas, são de difícil estimativa separadamente, e por isso considera-se a evapotranspiração potencial (ETP) um valor máximo de perdas. Este conceito representa, portanto, um limite superior para a evapotranspiração real (ETR), ou seja, para a quantidade de água que realmente volta à atmosfera por evaporação e transpiração.

A evapotranspiração pode ser determinada pelos seguintes métodos: métodos baseados na temperatura, métodos baseados na radiação, métodos combinados, balanço hídrico, evaporímetros, e medidas diretas (lisímetros). Entretanto, a determinação da evapotranspiração real demanda tempo e alto custo, sendo um processo complexo e dinâmico, envolvendo diversas variáveis ligadas ao sistema solo-planta-atmosfera. A determinação da evapotranspiração potencial permite a obtenção de dados confiáveis que podem ser usados como subsídios de projetos e pesquisas. Atualmente, as recomendações para determinação da evapotranspiração de referência são dadas pelo Boletim 56 da FAO, sem que haja restrições para seu uso, considerando o método preciso e adequado a diversos climas mundiais (Allen et al., 1998).

Tucci e Beltrame (2000) destacam que a evapotranspiração é importante para o balanço hídrico de uma bacia como um todo e, principalmente, para o balanço hídrico agrícola, que poderá envolver o cálculo da necessidade de irrigação. Antonino et al. (2000) destacam, ainda, a direta relação entre a variação do armazenamento de água no solo com a precipitação e a evapotranspiração real da cultura.

Neste trabalho serão utilizadas as definições de evapotranspiração potencial da cultura (*ETP*), evapotranspiração real da cultura (*ETR*) e coeficiente de cultura (K_c).

2.7. Irrigação

A garantia do fornecimento de água em sua quantidade e qualidade para irrigação pode resultar em diversas melhorias para produção agrícola e garantir a sustentabilidade econômica de uma região. Muitas civilizações foram dependentes da agricultura irrigada fornecendo base para segurança de sua sociedade. A FAO estima que um percentual variável de 15 a 20% da área cultivada no mundo é irrigado (FAO, 2005b). O Brasil atualmente apresenta uma área potencialmente irrigada de aproximadamente 30 milhões de

hectares, o que corresponde a 4,3% de área cultivada em sua maior parte por águas superficiais (Tabela 2.3).

Tabela 2.3. Irrigação no Brasil (FAO, 2005b).

Brasil	1998 -2002	2003 -2007
Potencial de irrigação (1000 ha)	29 350,0	29 350,0*
Área irrigada – irrigação por superfície (1000 ha)	1 696,0	ND**
Área irrigada – irrigação por aspersão (1000 ha)	1 006,0	ND**
Área irrigada – irrigação localizada (1000 ha)	176,1	ND**
Área irrigada – total (1000 ha)	2 877,0	ND**
Área irrigada por água subterrânea (1000 ha)	545,3	ND**
Área irrigada por água superficial (1000 ha)	2 325,0	ND**
Área irrigada como porcentagem de áreas cultivadas (%)	4,3	ND**

* Valores de previsão; ** ND – Não determinado.

Uma estimativa relativamente segura é que aproximadamente 40 por cento da água utilizada para a irrigação é quantificado em perdas (Walker, 1989).

Ainda, um fator preocupante, não relativo à quantidade, e que recebe destaque, é a baixa qualidade dos recursos hídricos usados para irrigação, incrementando problemas ambientais de contaminação e degradação de água e solo.

O estudo da eficiência do processo é essencial na avaliação dos sistemas de irrigação. A gerência da fertilidade do solo, seleção e rotação de culturas fazem diferença, incrementando a economia hídrica como também na eficiência do próprio sistema. Apesar dos baixos índices de eficiência não indicarem necessariamente perdas de água em uma escala de bacia hidrográfica, deve-se ressaltar que o controle da quantidade de água a ser utilizada na irrigação visa determinar a quantidade de água necessária para o desenvolvimento adequado da cultura e garantia da produtividade. A baixa eficiência dos sistemas provoca perdas por percolação profunda e escoamento superficial desnecessário.

Conceitua-se o chamado manejo de irrigação como o controle de aplicação de água, em freqüência e quantidade de aplicação, combinado ao método de irrigação, com bases nas condições de água no solo, nas condições hidrológicas e nas condições de armazenamento de água pela cultura. O manejo da irrigação também implica na análise do processo de drenagem, recuperação de solo, redução da contaminação por lixiviação e o

controle da erosão (Ahmed et al., 2001; Santiago, 2002; Silva, 2003; Mermoud et al., 2005).

A determinação do manejo adequado tem efeitos significativos no rendimento da produção, com conseqüências na conservação dos recursos naturais envolvidos, objetivando sempre manter o reservatório da umidade do solo para atender as necessidades da cultura. Quando o manejo adequado é ignorado, seja por falta da compreensão ou de planejamento, a produtividade agrícola sofrerá, e conseqüentemente, a rentabilidade decairá, refletindo em problemas sociais e econômicos da população produtora.

2.7.1. Irrigação no semi-árido

Na região semi-árida, restrições ao uso da água estão ligadas tanto a aspectos quantitativos quanto qualitativos, entretanto a função quantitativa, está intimamente ligada a aspectos relacionados ao clima, solos e geologia. A alta variabilidade espacial e temporal das chuvas restringe no espaço e no tempo as ofertas hídricas da região que economicamente é dependente da prática agrícola. Nesse contexto, resta a exploração da água subterrânea para o atendimento da demanda hídrica local e para o desenvolvimento da agricultura com o auxilio da irrigação.

Em especial, os vales aluviais do semi-árido nordestino vêm sendo empregados na prática da agricultura em pequena escala, e a água subterrânea utilizada para irrigação, pela presença de aqüíferos rasos, de fácil exploração e recarga nos períodos de chuva (Costa Filho e Costa, 2000). A água subterrânea usada para irrigação, mesmo que classificada como de boa qualidade, possui muitas vezes sais solúveis, que associada a condições climáticas e edáficas pode provocar problemas ambientais de solo e água (Audry e Suassuna, 1995).

O pequeno agricultor adota práticas de irrigação de maneira empírica sem muita preocupação com economia de água, gerenciamento em situações de escassez, controle da salinização e incremento de produtividade ou rentabilidade, de uma maneira geral. Há uma necessidade de que sejam adotadas medidas de controle de perdas e desperdícios, de uso racional e de reaproveitamento da água, como forma de garantir a sua disponibilidade, hoje e sempre.

2.8. Degradação e contaminação de água e solo na agricultura

Nas áreas onde se pratica a agricultura, a contaminação dos recursos naturais é dada de diversas formas, entre as quais pelo acúmulo de sais e nutrientes e pelo aporte descontrolado de fertilizantes e de agrotóxicos.

2.8.1. Salinização e sodificação

Um dos processos de degradação do solo e da água, mais comuns, é a salinização da água e do solo, pelo carreamento de sais através do perfil de solo, até atingir as camadas saturadas. A retirada da água do subsolo para irrigação expõe os sais dissolvidos às demandas atmosféricas e da cultura, e pelo processo de evapotranspiração, proporciona o aumento da concentração de sais, na água e no solo. Ainda, na ocorrência do lençol freático encontrar-se próximo à superfície evaporante, e dependendo das características hidráulicas do solo, pode ocorrer o transporte de sais por ascensão capilar para a zona não-saturada, contribuindo para o aumento da concentração de sais, que em forma cíclica, podem retornar à água subterrânea por lixiviação (Bernardo, 1995; Montenegro et al., 2001; Montenegro e Montenegro, 2004).

Para tanto, a irrigação em áreas semi-áridas requer duas observações básicas a fim de evitar impactos ambientais: o fornecimento de apenas a umidade necessária para o desenvolvimento da planta que carreia nutrientes pelo perfil do solo, e um fluxo de água suficiente para diluir ou transportar os solutos no solo (Walker, 1989).

A presença de sais em excesso, como já descrito no item anterior, oriundos do próprio solo ou da água, reduz a disponibilidade da água para as plantas, a tal ponto que afetam seu rendimento e desenvolvimento (Ayers e Westcot, 1985). As culturas não respondem da mesma forma à salinidade: ou produzem rendimentos aceitáveis a níveis altos de salinidade ou são sensíveis a níveis relativamente baixos.

Teores relativamente altos de sódio, ou baixos de cálcio no solo e na água, reduzem a velocidade com que a água de irrigação atravessa o solo pela infiltração. Esta redução pode alcançar uma magnitude tal, que haja o bloqueio da absorção de água pelas raízes (Klar, 1988; Bernardo, 1995). Dessa forma, não só o acúmulo de sais interfere na movimentação da água, como também as concentrações de sódio em relação aos teores de cálcio e magnésio, em miliequivalente por litro. Essa relação foi discutida por Ayers e

Westcot (1985) e na análise de qualidade de água para irrigação foi inserido o conceito de razão de adsorção de sódio (RAS), que é apresentada na Equação (2.20).

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \qquad (2.20)$$

2.8.2. Toxicidade

Outro tipo de contaminação no ambiente agrícola é a toxicidade. Essa condição ocorre quando alguns íons do solo ou da água são absorvidos pelas plantas e, acumulados em seus tecidos em concentrações suficientemente altas para reduzir a produtividade. A interferência das concentrações iônicas na degradação do solo e da qualidade água está diretamente relacionada com a redução de produtividade, de forma proporcional ao aumento da concentração dos íons no solo e na água de irrigação, da sensibilidade da cultura ao íon, da demanda evaporimétrica da região e do método de irrigação utilizado (Bernardo, 1995). Esses íons se concentram e agem nas folhas, onde causam problemas, podendo provocar a queima dessas, ou até a morte completa do vegetal quando em concentrações elevadas (Telles, 1999).

Os íons de cloro, sódio e boro são principalmente avaliados para caracterização da toxicidade, que por sua vez acompanham e contribuem para o aumento dos problemas com sodicidade e/ou, salinidade do solo. Os íons de cloro e sódio são usualmente encontrados em concentrações relevantes na água de irrigação, e são absorvidos pelas raízes, movimentados pelo caule até as folhas, ou de forma direta até as folhas através da irrigação por aspersão.

Os bicarbonatos também devem ser citados como problema quando em concentrações elevadas. Em reação com o cálcio e magnésio existente no solo, o bicarbonato lidera uma reação, reduzindo suas concentrações na solução do solo e, conseqüentemente aumentando a proporção de sódio, já que a solubilidade do carbonato de sódio é superior à dos carbonatos de cálcio e magnésio. Esse processo pode ser descrito pela reação:

$$Ca^{++} + Na^{+} + 3HCO_3^{-} \rightarrow CaCO_3\ (precipitado) + Na^{+} + HCO_3^{-} + CO_2 + H_2O \qquad (2.21)$$

2.8.3. Fertilizantes e agrotóxicos

Dentre as atividades antrópicas potencialmente poluidoras, destaca-se a agricultura, que além de exercer significativa influência no ecossistema do solo e na qualidade das águas subterrâneas, pode impactar fortemente as taxas de recarga do aqüífero, através da irrigação. Tem-se verificado um aumento significativo nos casos de contaminação de águas subterrâneas com produtos agroquímicos, principalmente fertilizantes nitrogenados, inseticidas e herbicidas (Ahmed et al., 2001; Bouma, 2002). Os fertilizantes são usados basicamente para completar o suprimento natural de nutrientes do solo com a finalidade de satisfazer a demanda das culturas focando altas produções economicamente viáveis; compensar as perdas de nutrientes que porventura ocorrerem em virtude da retirada pelas colheitas, de lixiviação ou perdas gasosas, além de melhorar ou manter boas condições do solo para as culturas.

O aporte de fertilizantes, no entanto, em especial os nitrogenados e fosforados, contribuem de forma brusca para o aumento da concentração de nitrogênio e fósforo no meio ambiente. O nitrogênio e o fósforo, em suas diversas formas iônicas, são componentes principais da contaminação de solos e água (Gardner e Vogel, 2005).

Embora não seja o principal enfoque desse estudo, há que se destacar que o uso e manejo inadequados desses insumos também podem criar sérios problemas ambientais nos ecossistemas. Citando dois dos mais importantes, que dizem respeito à contribuição do nitrogênio e do fósforo para a eutrofização dos ambientes aquáticos e a concentração excessiva de compostos nítricos na atmosfera ocasionada pela volatilização de gases, e na água, ocasionada pela lixiviação, enxurrada ou erosão.

Simultaneamente, a aplicação de inseticidas e herbicidas, em geral agrupados pela denominação de agrotóxicos, agroquímicos ou defensivos agrícolas, que são empregados nas práticas de combate às pragas vegetais e animais que por ventura venham a reduzir a produção da cultura são também relevantes, no tocante a contaminação de solo e água.

Em geral, os agrotóxicos contaminam o ar, o solo e a água. Bidleman (1999) e Van Dijk e Guicherit (1999) colocaram a atmosfera como principal meio receptor e de disseminação da contaminação, levando o contaminante até o solo e aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos por diferentes processos. Uma vez atingido o solo e a água,

superficial ou subterrânea, a presença de pesticidas é caracterizada com grande mobilidade no ambiente (Chu e Mariño, 2004).

A concentração da maioria dos pesticidas em água é baixa em parte devido ao fato de serem geralmente pouco solúveis em água e em parte devido ao efeito de diluição. Isto, no entanto, não exclui a possibilidade de que concentrações muito altas venham a ocorrer após exposição a processos de lixiviação freqüentes e de alta intensidade (Dores e De-Lamonica-Freire, 2001). Alguns autores sintetizam em suas pesquisas os fatores que influenciam a dinâmica de pesticidas no ambiente, mostrando que é grande o grau de dificuldade na avaliação de riscos de contaminação de ambientes aquáticos decorrente do uso dessas substâncias, dada a grande quantidade de processos envolvidos nessa dinâmica (Dores e De-Lamonica-Freire, 2001; Chu e Mariño, 2004).

A preocupação com a contaminação de ambientes aquáticos aumenta, principalmente, quando a água é usada para o consumo humano. No Brasil, a Resolução do CONAMA nº 357 do ano de 2005, que atualiza a portaria nº 20/86, estabelece limites máximos de contaminantes em águas dependendo de seu destino; sendo que, dentre estes, estão alguns pesticidas organoclorados e organofosforados (CONAMA, 2005). No entanto, esta legislação não contempla a maioria dos pesticidas em uso atualmente, como por exemplo: inseticidas piretróides e a maioria dos herbicidas.

Em âmbito mundial, estudos recentes comprovaram a necessidade da aplicação de uma prática regulatória da inserção desses insumos no meio ambiente, de forma que atenda as necessidades de proteção das culturas aos agentes perturbadores, mas que de certa forma promova a garantia da proteção dos recursos naturais envolvidos (Craven e Hoy, 2005).

2.9. Estudos de vulnerabilidade à poluição

O reconhecimento de que as águas subterrâneas constituem uma reserva estratégica e vital para o abastecimento público, remete a uma especial preocupação com a proteção dos aqüíferos. A preocupação com a proteção destes é inevitável a partir do aumento e a diversificação de produtos químicos potencialmente poluidores da água subterrânea; da existência do lançamento in natura de esgotos e efluentes industriais em larga escala; o grande aumento na aplicação de fertilizantes e pesticidas na agricultura; e os efeitos potencialmente nocivos à saúde, associados à poluição de captações de água subterrânea,

acarretando concentrações baixas, mas persistentes de certos contaminantes de toxicologia pouco conhecida.

Foster et al. (1988), numa estratégia de proteção da qualidade das águas subterrâneas, propõem, como passo inicial, uma avaliação regional, no nível de reconhecimento e com base em dados disponíveis, que consiste em mapear os graus de vulnerabilidade natural dos sistemas aqüíferos e caracterizar os riscos potenciais de poluição associados à carga contaminante. A base técnica resultante constitui um instrumento para o planejamento das políticas e ações de proteção das águas subterrâneas.

Para qualquer análise são necessários dados disponíveis que atendam às demandas dos sistemas de análise. Alguns sistemas de avaliação e mapeamento da vulnerabilidade partem de informações hidrogeológicas, morfológicas, topográficas, entre outras. São diversos os métodos de avaliação da vulnerabilidade de sistemas aqüíferos, entre eles podemos citar: DRASTIC, GOD, SINTACS, IS (Artuso et. al, 2004). Entretanto, muitas vezes é necessário buscar um modelo que atenda à restrição de informações de uma área e a pouca disponibilidade de informações (Bovolato, 2005).

Neste objetivo, Foster (1987) propôs uma metodologia simples de avaliação de vulnerabilidade, chamado de índice GOD.

O índice GOD tem sido utilizado em larga escala em avaliações preliminares de vulnerabilidade à contaminação em casos de pouca disponibilidade de informações, uma vez que é dependente apenas de informações simples baseadas no tipo de ocorrência da água subterrânea (ou a condição do aqüífero), nas características dos estratos acima de zona saturada, em termos de grau de consolidação e tipo litológico e na a profundidade do nível da água.

Artuso et al. (2004) apontam o índice GOD de difícil interpretação devido a problemas relacionados com a insegurança da formulação matemática utilizada. Entretanto, Bovolato (2005) coloca a simplicidade de cálculo como uma vantagem do modelo, e como uma ferramenta apenas complementar de investigação para propostas de conservação.

2.10. A água e o desenvolvimento sustentável

Em 1987, foi introduzido pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável pelo relatório *Our Common Future*, preparado pela Comissão Mundial sobre o

meio Ambiente e Desenvolvimento. O documento conceitua a ocorrência de sustentabilidade vinculada ao desenvolvimento "quando provê as necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade de que as futuras gerações possam prover as suas" (WCED, 1987).

Aplicando esse conceito aos estudos dos recursos naturais, é aplicado o uso racional dos recursos renováveis garantindo a disponibilidade destes para gerações futuras. Dessa forma deve-se aplicar ações que otimizem o consumo e minimizem os desperdícios, efeitos de escassez e poluição. O enfoque deve ser dado em igual intensidade tanto no aspecto quantitativo quanto qualitativo.

Num ambiente como o semi-árido brasileiro, deve-se considerar inicialmente que a oferta hídrica é limitada, e seu uso vinculado a aspectos sociais, culturais, tecnológicos, econômicos e ambientais (Fernandes, 2002; Almeida et al., 2004; Montenegro et al., 2004).

2.11. Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade

As condições de acesso aos recursos hídricos é dada através de uma boa gestão e adequado processo político.

Gestão de recursos hídricos é a forma pela qual se pretende equacionar e resolver as questões de escassez relativa dos recursos hídricos e a garantia de usos múltiplos, entre outros, bem como fazer o uso adequado, visando a otimização dos recursos em beneficio da sociedade. A gestão de recursos hídricos é realizada mediante procedimentos integrados de planejamento e de administração, é decisão política, motivada pela escassez relativa de tais recursos e pela necessidade de preservação para futuras gerações, para garantia da sustentabilidade do processo de gerenciamento (Setti et al., 2001).

A FAO tem oferecido diversas ferramentas auxiliares na gestão dos recursos hídricos e a otimização dos processos agrícolas, através de soluções práticas a problemas comuns em sua coletânea de documentos. A série de documentos *Irrigation and Drainage Papers* tem contribuído para o desenvolvimento de um processo de gerenciamento claro e acessível pela utilização de tecnologias básicas (Tabela 2.4). Entre os mais citados, estão: FAO nº 24 (Doorenbos e Pruitt, 1977); FAO nº 29 (Ayers e Westcot, 1985); FAO nº 56 (Allen et al., 1998) e FAO nº 61 (Tanji e Kielen, 2002).

Tabela 2.4. Série de documentos *Irrigation and Drainage Papers* produzidos pela FAO e suas contribuições à solução de problemas em ambientes agrícolas.

Documento da FAO	**Problema**	**Considerações**
FAO 24 FAO 56	Necessidade hídrica da planta	Precipitação efetiva, evapotranspiração de referência, coeficiente de cultura Kc.
FAO 56	Produção da cultura	Fator de produção relacionado ao stress hídrico.
FAO 24 FAO 56	Planejamento da irrigação	Conceitos de ponto de murcha, capacidade de campo. Tipos de irrigação, demanda hídrica para irrigação e eficiência de irrigação.
FAO 61	Irrigação em áreas áridas e semi-áridas	Identificação de problemas e propostas de soluções.

Essas ferramentas propostas pela FAO objetivam de forma indireta a sustentabilidade hídrica e têm provado eficiência e grande importância ao gerenciamento de áreas agrícolas por sua facilidade de entendimento.

A Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e instrumenta todas as ações nacionais de gerenciamento desse recurso. No Estado de Pernambuco, a política e gerenciamento de recursos hídricos é gerida sob as Lei Estadual nº 11.426/1997 que dispõe sobre a política de gestão de águas superficiais; a Lei Estadual nº 11.427/1997 que discute a política das águas subterrâneas e a Lei Estadual nº 12.984/2005, a Lei das Águas, que dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos e o sistema integrado de gerenciamento. A Agenda 21 (SECTMA/PE, 2002) do Estado de Pernambuco propõe a sustentabilidade dos recursos hídricos através da garantia de qualidade e quantidade hídrica.

Num cenário de escassez hídrica como no semi-árido nordestino, os recursos hídricos, em seu contexto ambiental e ecológico rural, têm seu uso destinado a múltiplos usos, atendendo às demandas na agricultura, consumo humano e, ou dessedentação animal. Para o gerenciamento desse sistema de usos múltiplos e sob as condições em que a oferta é sempre inferior a demanda, é importante frisar que o uso dos recursos não é uma opção proposta pelo planejador, mas realidade enfrentada com desenvolvimento econômico e

social (Setti et al., 2001), corroborado pelas características culturais (Fraser et al., 2005). As alternativas existentes são integrar tais usos de forma harmônica, em que seja considerada a complexidade administrativa local, ou de certa forma a não causar interferências deixando o sistema desarticulado e, que em futuro próximo haverá o comprometimento da eficiência do uso pela geração de conflitos entre os usuários (Hofmann e Mitchell, 1998).

Para garantia da sustentabilidade hídrica, a gestão de recursos hídricos deve considerar a garantia dos usos múltiplos do recurso hídrico e o envolvimento de entidades diversas que atendam aos diferentes consumos, entre eles os usuários diretos de água (Lei 9.433/97). Experiências internacionais demonstram que o agrupamento de usuários de água em grupos consultores e tomadores de decisão junto à política institucional de gestão hídrica têm apresentando bons resultados quando comparadas a ações de gerenciamento estritamente governamental (Stacey, 1999; Fraser et al., 2005; Tanaka e Sato, 2005; Thomson, 2005).

Em 1999, Stacey propôs um novo conceito de agrupamento de usuários inserindo novas diretrizes organizacionais através da reorganização de cooperativas de usuários de água por áreas limitadas hidraulicamente; da cobrança pelo uso da água independente de outros insumos; da transferência de responsabilidades gestoras aos usuários diretos de água em sistemas onde organização e manutenção (O&M) são geridos conjuntamente; e do desenvolvimento de políticas e estratégias para irrigação sustentável. Outros autores, recentemente provaram a garantia da sustentabilidade hídrica pela implementação de sistemas de gestão O&M e de modelos sistêmicos de integração participativa (Tanaka e Sato, 2005), reafirmando os princípios de Stacey (1999).

2.11.1. Gestão participativa

A degradação ambiental oriunda da prática agrícola em áreas rurais tem excedido a capacidade natural ecológica de reversão. Reaver de forma prática essas tendências negativas é tarefa difícil por não estarem apenas relacionadas a fatores ecológicos, mas também a fatores sociais, econômicos e políticos. Dessa forma, a análise tem que ser cautelosa e a ação focada na execução prática. É aplicado que a análise deva ocorrer de forma integrada para proposta de uma solução prática (Bouma, 2002).

A sustentabilidade do meio rural é discutida dentro da ciência do solo e da agronomia, e suas diretrizes propostas pela FAO (1993), listando quatro critérios para o gerenciamento sustentável da agricultura. O primeiro critério garante a conservação da produção, e é seguido pela garantia que os riscos não aumentarão, a qualidade do solo e da água deverá ser mantida e os sistemas devem ser economicamente viáveis e de aceitação social. Nessa definição de gerenciamento sustentável da agricultura, FAO (1993) claramente foca a produção agrícola. Entretanto, esse gerenciamento possui implicações maiores que a manutenção da produção agrícola por si só. É necessário acrescer a idéia de qualidade do solo, onde os ecossistemas são citados, mas também é relevante a qualidade de vida dos usuários, das comunidades locais. É reconhecido que a FAO define gerenciamento sustentável no meio rural, e não sustentabilidade rural. Dessa forma, deve-se atribuir destaque a ações práticas, integrando à gestão os membros envolvidos, e não a conceitos pré-definidos. Assim, é criado um meio atrativo de integração à gestão, onde os gestores da terra em pequena escala, ou seja, os agricultores locais, são atores na execução de sistemas agrícolas sustentáveis.

Esse é o processo de gestão participativa ou gestão coletiva. A participação individual no gerenciamento dos recursos hídricos é a etapa inicial para que a sociedade passe a integrar o processo decisório com vistas à adequada utilização desses recursos na atualidade e com a preocupação da disponibilidade hídrica, com boa qualidade, para as gerações futuras: o uso sustentável dos recursos hídricos (Hofmann e Mitchell, 1998; Stacey, 1999; Kleemeier, 2000; Doran, 2001; Fraser et al., 2005; Tanaka e Sato, 2005; Thomson, 2005).

A integração da participação da comunidade em processos de gerenciamento é um modo de selecionar indicadores relevantes a proverem um número de benefícios pré estabelecidos. O primeiro benefício é pragmático: uma vez que os indicadores de gestão são desenvolvidos por especialistas não locais, não há garantias que a relevância em escala aplicada seja igual ou condizente com a realidade da população. Logo, a contribuição local leva a uma representatividade real dos indicadores importantes para o grupo de ação. A participação regular da comunidade na gestão irá garantir a possibilidade de variação dos indicadores iniciais em caso de alterações das condições iniciais de estudo do cenário (Morse, 2004). Como também, com o envolvimento dos componentes locais é possível haver a promessa de continuidade do processo após o afastamento dos especialistas e, ou,

financiadores (Fraser, 2002). É assim traçada a garantia de sustentabilidade das ações executivas. De forma indireta, as ações participativas também interagem com ações de educação da comunidade, atendendo à base cultural em que o sistema sócio-econômico encontra-se apoiado (Doran, 2001)

De outra forma, o engajamento e integração de membros da comunidade permite desenvolver a capacidade gestora de forma autônoma do grupo em gerenciar problemas futuros, quando ocorrer a ausência de especialistas gestores ou do sistema público, que nem sempre estão presentes. Esse talvez seja o mais significante e possível resultado do processo participativo: o empoderamento. É formar e dar à comunidade o poder de tomada de decisão através de ferramentas e indicadores destacados pelos membros participantes, valorizando os conhecimentos e as experiências locais. (Branco et al., 2004; Fraser, 2005).

2.12. Transferência de tecnologia

Em qualquer processo de gestão a informação oferece condições para a formação de opiniões. A única forma de se desenvolver a consciência sobre a questão de recursos hídricos é a busca de informações e a indagação sobre a dimensão da informação na individualidade e da forma comunitária dos grupos envolvidos (Setti et al., 2001)

A transferência de informação agirá no processo de modo a possibilitar aos indivíduos o fornecimento de elementos de conhecimento básico através da educação sobre o tema recursos hídricos e preservação ambiental, de forma que as pessoas tenham subsídios de interpretações das informações técnicas, e a democratização das informações sobre determinada região ou determinado assunto (Santos et al., 2005). É fundamental que o programa de transferência tecnológica esteja, através de ações práticas e do diálogo, presente no âmbito da participação, do conhecimento e das posturas comportamentais que atingem a natureza dos recursos hídricos.

A transferência de informações pode ser dada através da inserção de programas de educação ambiental, ou pela discussão técnica de resultados obtidos em estudos vinculados à avaliação e sustentabilidade hídrica. Essas discussões interativas entre o grupo de especialistas, que possui treinamento científico em visão técnica e social, e a população local proporciona a disponibilidade de diversos indicadores sustentáveis e estratégias de gerenciamento que serão discutidas com a comunidade. A natureza interativa entre comunidade e ciência deve ser centralizada no estabelecimento de um entendimento

diversificado que agrupe a ciência ao conhecimento e experiências locais (Fraser et al., 2005).

2.13. Modelo de análise SWOT

O termo SWOT vem do inglês e representa as iniciais das palavras Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats – Forças, Fraquezas, Oportunidade e Ameaças. Seguindo a definição de SWOT, a idéia central da análise é avaliar os pontos fortes, os pontos fracos, as oportunidades e as ameaças do processo e do sistema que está sob avaliação.

Este modelo de análise e de planejamento foi inicialmente criado e aplicado por empresas em todo o mundo e tem demonstrado resultados eficazes nessa área (Kotler, 2000). Considerando que todo o domínio empresarial é um sistema gerenciado que requer eficiência dos processos e bons resultados, a análise SWOT também pode ser aplicada a outros sistemas de gestão.

Estudos recentes vêm aplicando a análise SWOT nos estudos de aplicabilidade técnica e de gestão ambiental e inicialmente, e já têm demonstrado ótimos resultados na avaliação dos processos científicos ambientais (Bastiaanssen et al., 2004; Grace e Williams, 2004; van Dam et al., 2004).

O papel da análise SWOT é captar as informações da análise ambiental e separá-las em fatores internos (forças e as fraquezas) e externos (oportunidades e ameaças) (Ferell et al., 2000). Esta divisão é necessária porque a organização tem que agir de formas distintas em um e em outro caso e agir conforme as situações entre os dois ambientes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em duas escalas distintas: numa escala reduzida, onde um lote irrigado foi trabalhado em forma de área piloto experimental e utilizado para fins demonstrativos; e num domínio mais amplo, três comunidades rurais foram trabalhadas, a atender agricultores e usuários de água.

As áreas de estudo estão localizadas na zona fisiográfica do Agreste, no município de Pesqueira, região semi-árida do estado de Pernambuco, Brasil (Figuras 3.1 e 3.2).

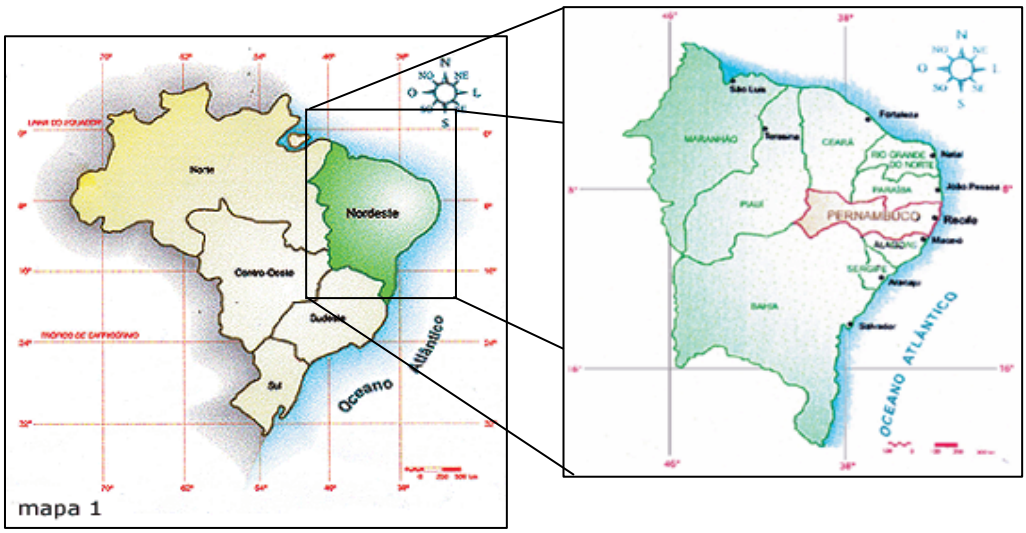

Figura 3.1. Brasil. Destaque para a região Nordeste e estado de Pernambuco (Montenegro et al., 2004).

Figura 3.2. Região semi-árida brasileira (Fonte: BNB, 2005).

Para ações com comunidades foram selecionadas três áreas. Do ponto de vista hidrológico as áreas se localizam em três bacias hidrográficas distintas, todas de grande importância para o Estado: na Bacia do Rio Ipojuca, a comunidade do assentamento de Campo Alegre; na Bacia do Rio Capibaribe, a área rural do distrito de Mutuca; e na bacia do Rio Ipanema, o assentamento da Fazenda Nossa Senhora do Rosário no vale do Mimoso (Figura 3.3). As áreas selecionadas são consideradas representativas de outros sistemas da região. O interesse da comunidade e instituições locais (governo, associações, ONGs) foram fatores importantes na seleção das áreas.

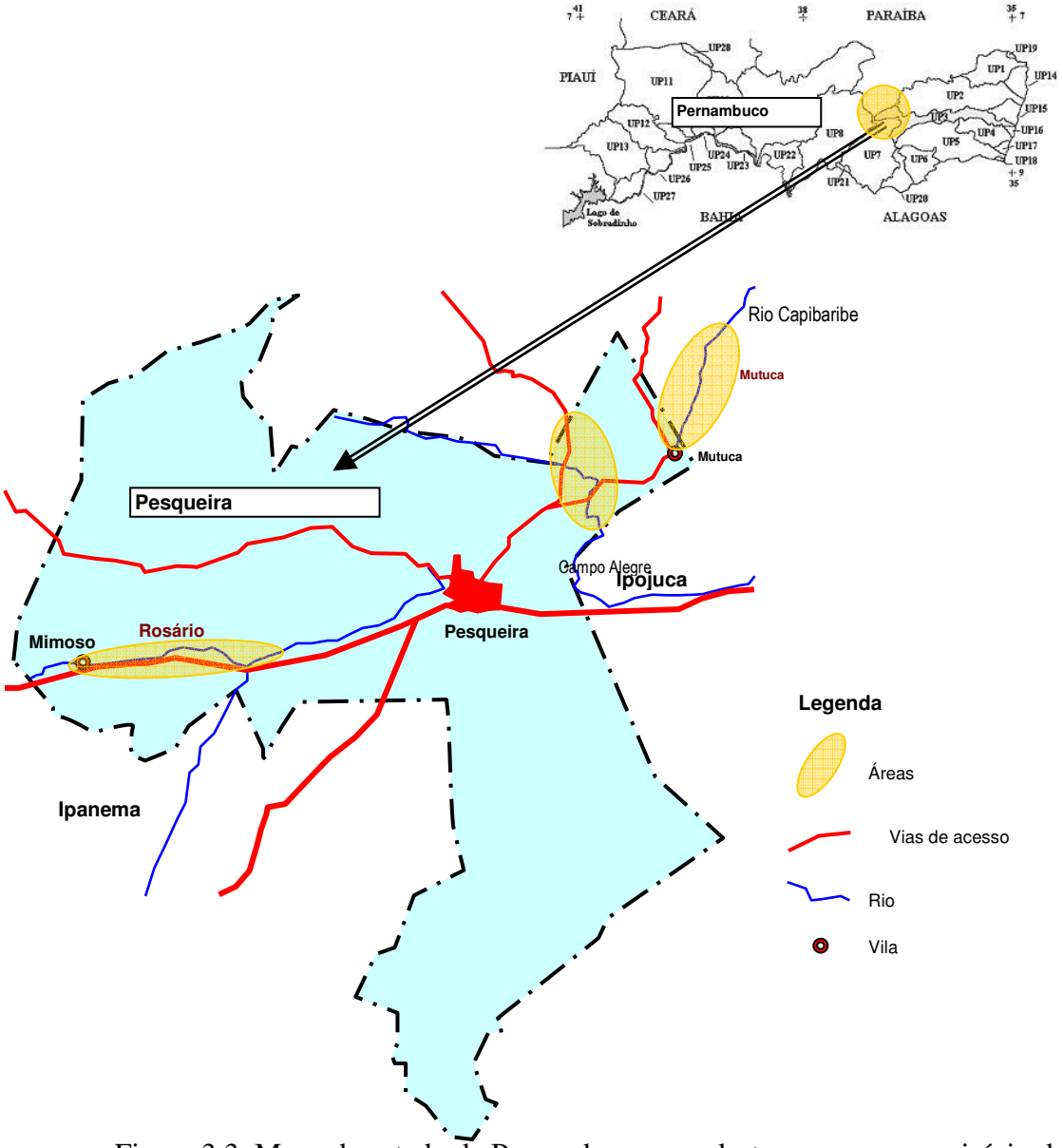

Figura 3.3. Mapa do estado de Pernambuco com destaque para o município de Pesqueira (adaptado de Milmo, 2004).

A caracterização climatológica da área foi realizada baseada nos dados da estação de Pesqueira, localizada a um raio médio de 15 Km das áreas em discussão. As chuvas são distribuídas desuniformemente, concentrando-se no primeiro semestre (janeiro a julho), quando ocorre, em média, mais de 75% da precipitação total dos 12 meses. A pluviometria média anual está em torno de 630 mm, com o coeficiente de variação anual (CV), superando, freqüentemente, o valor de 0,30.

Considerando o período de 12 meses como representativo do ciclo do regime hidrológico, nota-se que na região o ano hidrológico não coincide com o ano civil convencional. O primeiro pode ser identificado como correspondente ao período de outubro e setembro do ano seguinte. Contudo, a análise ora efetuada se refere ao período normal convencional (Jan / Dez).

A região estudada, assim como todo semi-árido nordestino, apresenta elevadas taxas de evaporação, provocando grandes perdas hídricas nas reservas superficiais. Utilizando-se dados do Tanque Classe A de cidades circunvizinhas, constatou-se que a evaporação média anual é da ordem de 2.400mm no município de Arcoverde (distante 35km de Pesqueira) e 2.111 mm no município de Caruaru distante 100km de Pesqueira). Nota-se que o período de estiagem (setembro/ novembro) responde por cerca de 49% da evaporação anual em Caruaru e 51% em Arcoverde.

A temperatura da região mostra a realidade do semi-árido do Nordeste, com valores elevados e pequenas amplitudes, constituindo a característica típica do regime térmico desta região, com temperatura máxima média anual de 29°C e mínima média anual de 17,9°C.

A umidade relativa média anual é de 75%, onde os valores mais elevados situam-se logo após a estação chuvosa (maio/ julho) e os mais baixos na estação seca (setembro/ novembro).

Com relação à variável insolação, verifica-se que atinge, na região, um valor próximo de 2400 horas anuais, o que significa uma incidência solar média diária em torno de 5 horas. A insolação se apresenta menor nos meses chuvosos, com média mínima um pouco superior a 4,8 horas/dia. Cerca de 19% da insolação anual ocorre no trimestre de maio a julho, enquanto que no trimestre de outubro a dezembro, ocorre mais de 30%, concentração equivalente a um valor de insolação em torno de 8,5 horas /dia (Montenegro, 1997; PROTECS, 1991).

Em seguida apresenta-se uma descrição das três áreas piloto.

3.1.1. Mimoso – Fazenda Nossa Senhora do Rosário

A Fazenda Nossa Senhora do Rosário localiza-se na bacia do rio Ipanema, sobre um aqüífero aluvial que constitui a fonte de suprimento de água para o desenvolvimento da agricultura irrigada. A Fazenda possui área total de 606,24 ha, com cerca de 110 ha localizados sobre aqüífero aluvial, parcela que constitui a área de estudo (Figura 3.4) (CISAGRO, 1991).

Nessa área, a agricultura irrigada vem sendo desenvolvida desde 1991, utilizando água do aqüífero aluvial do vale fluvial formado pelos riachos temporários Mimoso, Jatobá e Ipaneminha. Um assentamento na área foi implementado pelo Governo do Estado de Pernambuco, promovendo a divisão da área com potencial para agricultura irrigada em lotes com aproximadamente 2 ha, para famílias locais. O aqüífero aluvial é relativamente raso, com aproximadamente 10 m de profundidade, 300 m de largura e 15 km de comprimento (CONESP, 1988).

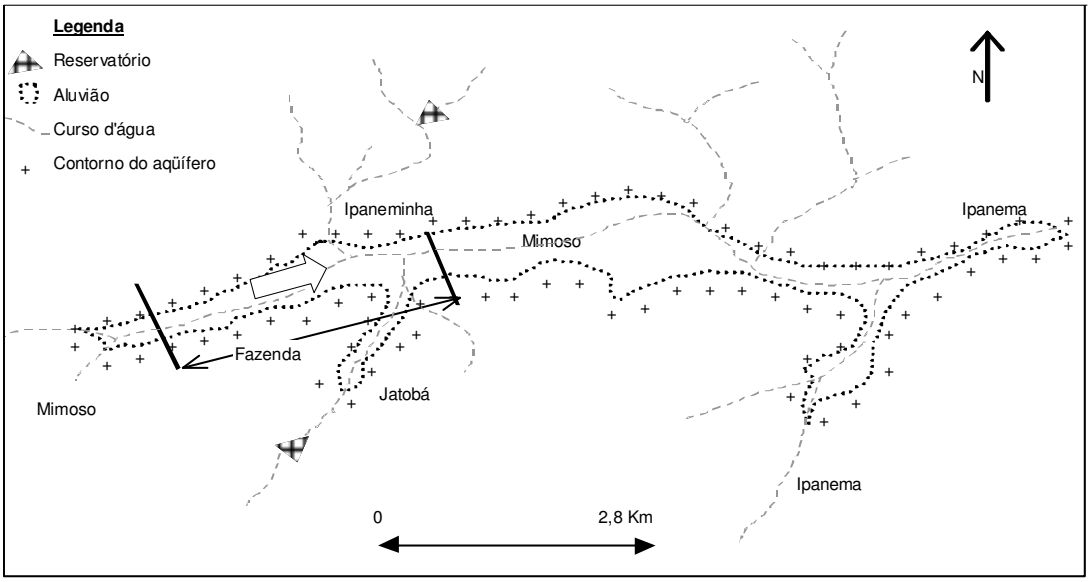

Figura 3.4. Mapa esquemático do vale aluvial, rede de drenagem e área de estudo (Kelly, 1995).

O projeto original de irrigação compreendeu a instalação de quatro poços de grande diâmetro (tipo Amazonas) perfurados no período de instalação do assentamento, no entanto aproximadamente 30 outros poços de grande diâmetro foram construídos pela comunidade

local individualmente em seus lotes para a captação de água do aqüífero e emprego na prática de irrigação. Atualmente existem cacimbões na área da Fazenda. No vale aluvial existem outros poços de grande diâmetro que são utilizados para diversos fins.

Com a finalidade de investigação da água subterrânea na área, poços e piezômetros de monitoramento foram instalados (Montenegro et al., 2001). Estudos anteriores mostraram a susceptibilidade da área à salinidade, influenciada pelas suas características pedológicas, pelo fluxo subterrâneo regional e por contribuições de escoamento das encostas do vale (Montenegro et al., 2001).

Nesta área estudos técnicos têm sido desenvolvidos desde 1993, através de projetos de extensão e pesquisa das universidades Federal de Pernambuco, UFPE, e Federal Rural de Pernambuco, UFRPE.

3.1.2. Campo Alegre – Reserva Indígena Xukuru

A área ocupada pela comunidade de Campo Alegre foi resultado de um programa de assentamento do governo no ano de 1991. Neste programa estava previsto o desenvolvimento de agricultura familiar entre os assentados, estabelecendo uma barragem galgável como a fonte de alimentação para o projeto de irrigação da área. Essa fonte hídrica encontra-se localizada no rio Ipojuca, a 12 km a jusante da atual barragem Pão de Açúcar, a qual alimenta a pequena barragem galgável através de uma descarga de fundo. (PROTECS, 1991). Atualmente, este manancial de abastecimento está localizado em uma reserva indígena, a 1,5 km do povoado de Pão de Açúcar, nos limites dos municípios de Pesqueira e Poções, o que porventura pode vir levar a conflitos de gerenciamento desses recursos. Os agricultores e a comunidade, em geral, utilizam água do rio Ipojuca para suporte a prática agrícola.

A barragem de Pão de Açúcar foi construída em 1992 com uma capacidade de 41 milhões de metros cúbicos com a finalidade de contenção de cheias e outrora serviu ao abastecimento das cidades circunvizinhas. Entretanto, essa barragem tem sofrido com os baixos índices pluviométricos e pela alta taxa de evaporação.

Inicialmente a área indígena não seria contemplada pelo trabalho. Numa segunda fase a comunidade foi integrada a partir da percepção que o reservatório é a principal unidade hídrica a ser gerenciada e para o estabelecimento de um programa de gestão dessa área devem estar integradas as regiões de jusante e de montante.

3.1.3. Vale do Mutuca

A área em estudo localiza-se no vale do Riacho Mimoso, na bacia do rio Capibaribe, que tem início no distrito de Mutuca, cruzando ainda os municípios de Belo Jardim e Jataúba (Figura 3.5 e 3.6)

Mutuca é um distrito urbano do Município de Pesqueira, no estado de Pernambuco (Figura 3.5), localizado próximo à região rural onde são encontradas 19 barragens subterrâneas construídas ao longo do Riacho Mimoso na bacia do Rio Capibaribe e outros, como resultado de parceria entre o Ministério do Meio Ambiente e a Secretaria Estadual de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco – SECTMA, até o ano de 1998. A região de Mutuca foi escolhida para implementação das barragens subterrâneas por ter solos relativamente profundos, condição importante para esse tipo de obra. A localização das barragens foi feita por geólogos com base em critério estritamente técnico e a construção foi feita por uma empresa contratada. As barragens subterrâneas construídas no local são de média a grande profundidade (3,8 a 10 metros) e extensão (30 a 110 metros), sendo a água subterrânea captada na área a montante dessas barragens, que são principais fontes hídricas da região (Abreu, 2001; Costa, 2002).

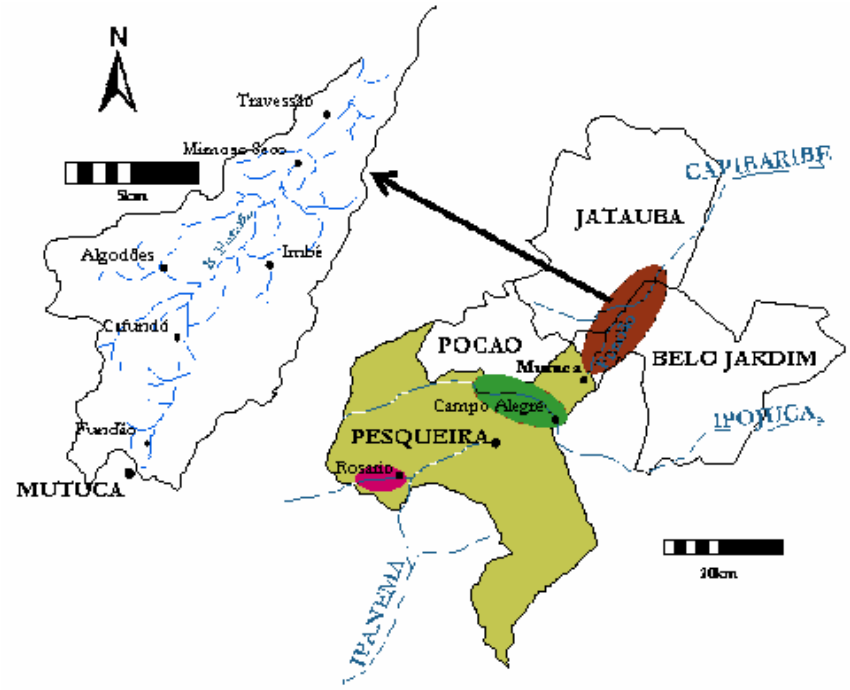

Figura 3.5. Identificação do vale do Mimoso, sobre os municípios de Pesqueira, Belo Jardim e Jataúba (adaptado de Sholl, 2005).

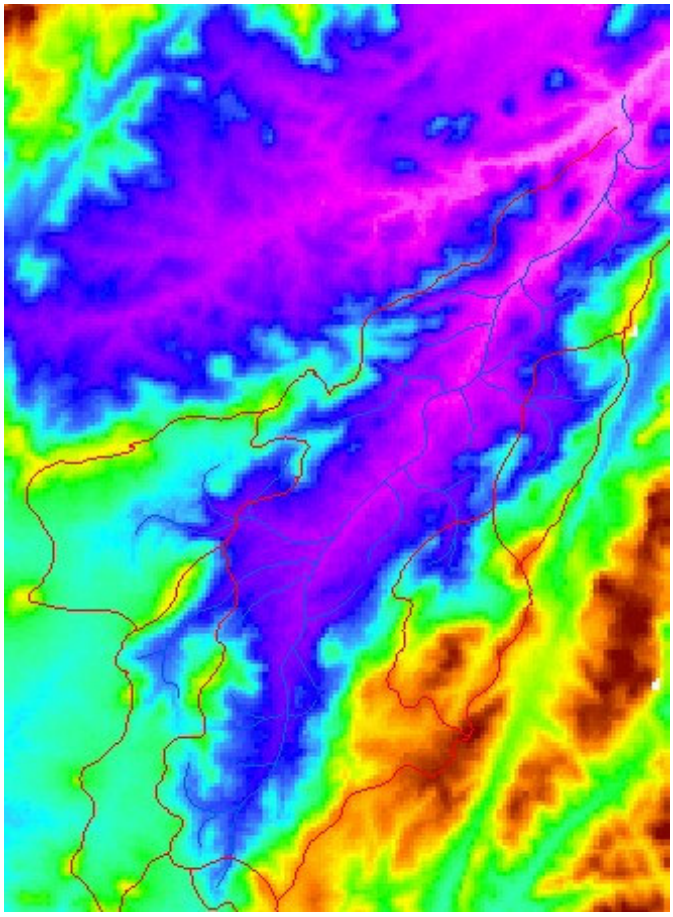

Figura 3.6. Modelo digital do terreno – MDT. Identificação das áreas de captação e rios e riachos. Vale de Mutuca (Sholl, 2005).

A função das barragens subterrâneas é a de incrementar as condições de armazenamento de água no solo, ao mesmo tempo em que se diminui o efeito da evaporação. A barragem subterrânea em discussão segue o modelo de Costa & Melo (Costa, 2004), desenvolvido no início da década de 80, tendo sofrido alterações ao longo do tempo, ajustando-se às condições locais. Esse modelo consta essencialmente da escavação de uma trincheira retilínea, perpendicular à direção de escoamento do riacho, seguida pela colocação de um septo impermeável para contenção do fluxo. Ao septo é comumente aplicado uma lona plástica, apoiada em montante e em jusante por um enrocamento de pedras sem rejunte, próximo a superfície para melhor retenção da água em casos de escoamentos superficiais (Costa, 2004).

A água das barragens é extraída através de poços do tipo amazonas, de escala bastante variável com uma amplitude desde valores de 5 m^3/h a 10 m^3/h, conforme verificado através de testes de bombeamento no local (Montenegro et al., 2005a). Esta variação está diretamente condicionada aos períodos do ano, das características hidráulicas da zona subterrânea e da taxa de exploração do poço. Esta condição vem limitar o tamanho das áreas de exploração com agricultura irrigada. Tais limitações sofrem influência direta do período do ano e da cultura de interesse, onde os períodos de maior demanda evapotranspirativa e as culturas com Kc (coeficiente de cultura) mais elevado imprimem maior grau de restrição à extensão de área aos plantios irrigados.

Em referência ao uso e ocupação do solo, a região é figurada por áreas de agricultura familiar, não associadas, exploradas com culturas anuais e semi-perenes, irrigadas pelos poços amazonas. Na região é observado maior incidência de culturas olerícolas cultivadas em áreas reduzidas. Isto expressa o caráter familiar do aluvião, em que o policultivo é praticado de forma esparsa. Dentre as culturas mais exploradas, em termos de frequência, as olerícolas se sobressaem, destacando-se a cenoura, o pimentão, o repolho e o tomate, tanto por serem cultivadas em ciclos sucessivos ao longo do ano, como por ocuparem áreas maiores e serem mais distribuídas em relação às demais olerícolas. Identifica-se como principal razão para tal fato o rápido retorno econômico proporcionado por essas culturas, dado ao ciclo cultural reduzido (anual). No vale do Mimoso há uma preferência pelo cultivo de beterraba.

3.2. Caracterização da área experimental

O lote experimental foi selecionado em uma área localizada à montante da barragem Cafundó II (Figura 3.7), com lotes de dimensões normalmente inferiores a 0,5 hectares, devido principalmente à receptividade e interesse do proprietário na inserção de novas tecnologias. Nessa área de aproximadamente quatro hectares foram cultivadas, em paralelo, repolho, beterraba e cebola. O proprietário do lote apresenta interesse em inserir tecnologias de otimização dos processos produtivos e já vem utilizando práticas de economia hídrica através do uso de microaspersores e seleção de culturas de acordo com o período do ano e os níveis de salinidade da água – que variam em torno de 2,5 dS/m no período seco. Normalmente esse tipo de agricultura familiar trabalha em sistemas de consórcio, onde famílias agrupam recursos financeiros e de mão-de-obra para o

desenvolvimento do plantio. Dessa forma, trabalha-se muitas vezes com um grupo heterogêneo, onde alguns buscam melhorias tecnológicas e outros membros se acomodam nas práticas empíricas hereditárias, o que dificulta a propagação de informações de conservação dos recursos naturais.

Figura 3.7. Barragens subterrâneas no vale do Mimoso. Destaque para a barragem de Cafundó II (Sholl, 2005).

3.2.1. Experimento 1 – área de treinamento

A área em estudo de aproximadamente 0,5 ha jamais havia sido utilizada na agricultura anteriormente, tendo sido durante o período de estudo cultivada beterraba (*Beta vulgaris L.*). A beterraba é uma das olerícolas mais importantes na região, cultivada o ano

todo. Embora adaptável ao cultivo nas mais diversas condições ambientais brasileiras, a produtividade desta cultura é 40% a 50% menor quando cultivada no período de verão, quando ocorre menor umidade e temperatura elevada, o que favorece a ocorrência de doenças e pragas, freqüentemente levando à aplicação de pesticidas. A área é aqui referenciada como área A0 (Figura 3.8).

A cultura foi desenvolvida no período de outubro de 2004 a janeiro de 2005, caracterizado pela escassez de chuvas e aplicação diária da irrigação.

O volume de água aplicado seguiu o manejo de irrigação proposto no item (3.5). As lâminas aplicadas foram acompanhadas pelo tempo de irrigação e pelo registro de um hidrômetro acoplado à entrada do sistema.

Com a prática da cultura da beterraba neste lote, buscou-se identificar os processos de contaminação de solo e água através do uso de agroquímicos, contudo a cultura não apresentou problemas com pragas. Não foi aplicado fertilizante inorgânico nem agrotóxico na área durante o período de desenvolvimento da cultura.

O experimento foi interrompido por um evento meteorológico extremo, pela ocorrência de chuva de granizo na região no mês de janeiro de 2004, ocasionando a queima e destruição de toda cobertura foliar.

Este lote não foi utilizado como objeto de simulação. O acompanhamento da prática da agricultura nessa área objetivou o treinamento do agricultor para o experimento seguinte. Neste experimento, o agricultor foi treinado com conceitos básicos de balanço hídrico, de uso de réguas tensiométricas como indicadores de umidade e aplicação de técnicas de otimização na irrigação, como irrigação noturna e cálculo de lâmina a ser aplicada a partir de registros climatológicos.

3.2.2. Experimento 2

O experimento foi realizado no primeiro semestre de 2005 (abril a junho), caracterizado por um período de seca seguido de chuvas espaçadas pelo início do inverno na região, em três áreas (A1, A2 e A3) (Figura 3.8). Nestas áreas foi cultivado o repolho do tipo Midori. Em duas das áreas (A1 e A2), não havia restos de cultura ou histórico de aplicação de agrotóxicos e, ou, fertilizantes em tempo inferior a um ano, enquanto na terceira área (A3) havia cultivo prévio há quatro meses de cenoura, a qual foi submetida à aplicação de produtos inorgânicos. As sementes da cultura de repolho foram plantadas em

sementeira e aos 20 dias foram transplantadas para as áreas A1 e A2, e com 30 dias para a área A3.

A área A1 tem aproximadamente 0,2 ha, está localizada a aproximadamente um metro acima do nível de base do leito do riacho, possuindo um embasamento rochoso, sem influência local do lençol freático, onde foi utilizada a irrigação por aspersão convencional. A segunda área (A2) de 0,5 ha está localizada no leito do riacho temporário Mimoso, apresentando um perfil arenoso com acúmulo superficial de material argiloso proveniente das encostas, onde é utilizada irrigação por micro aspersão. A terceira área (A3), também de 0,5 ha, é caracterizada por sua locação em várzea, rica de material carreado ao longo de seu perfil, onde também é utilizada a irrigação por microaspersão (Figura 3.8).

As áreas A2 e A3 não seguiram qualquer manejo de irrigação, apenas a experiência do agricultor foi considerada. Em contrapartida, a área A1 seguiu o manejo de irrigação proposto no item (3.3).

A cultura sofreu a ação de pragas. Pesticidas e fertilizantes foram aplicados. Dentre estes podemos citar: Pirate, Karatê, Thiobel, Rumo, Meothrin, Akito, Xentari e Polytrin.

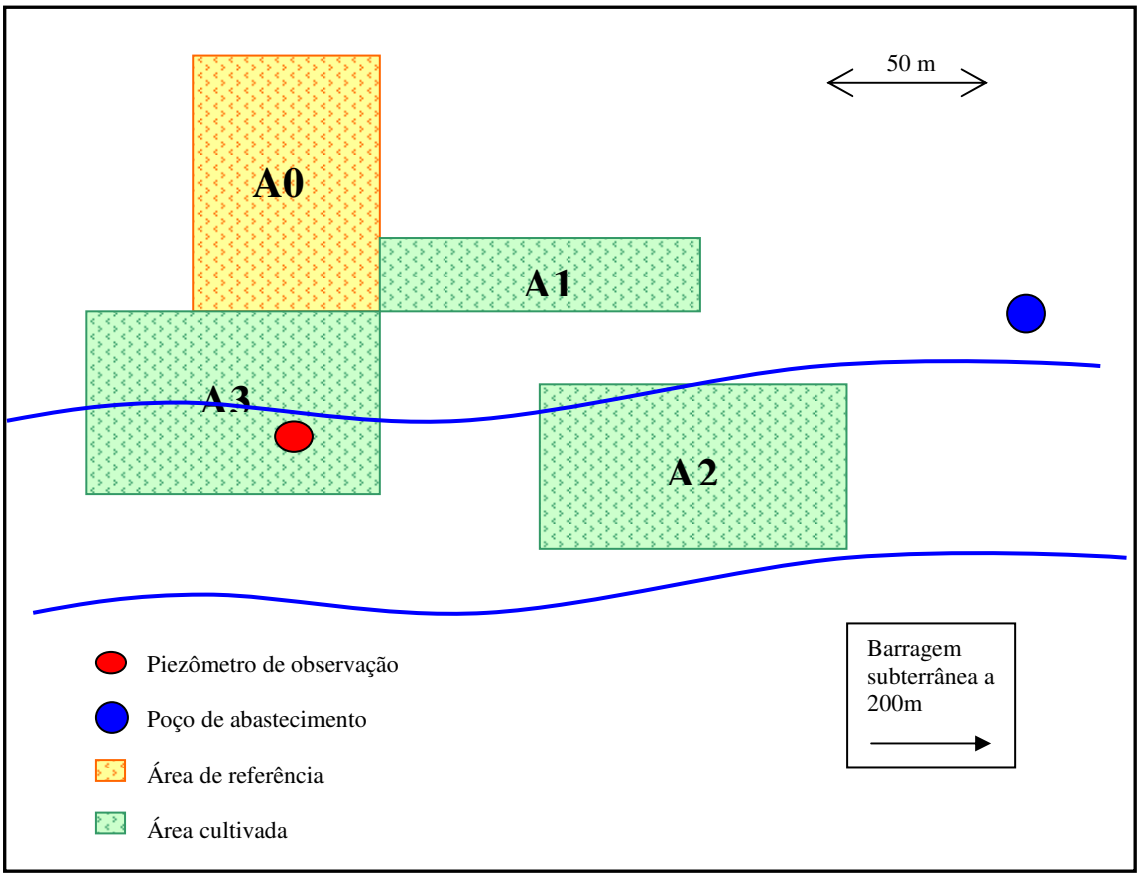

Figura 3.8. Esquema representativo das áreas experimentais.

3.3. Instrumentação (instalação de equipamentos)

Para caracterização da área, foram utilizados dados de precipitação e evaporação provenientes de um pluviômetro e de um Tanque Classe A previamente instalados na área. A instalação de um hidrômetro permitiu a obtenção dos volumes de água subterrânea aplicados na irrigação.

No lote, foram instaladas réguas tensiométricas para determinação dos potenciais de pressão a diferentes profundidades: 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 cm a fim de monitorar o potencial matricial do solo.

Próximo à estação tensiométrica, cápsulas de Teflon® porosas a 20, 30, 40 e 50 cm foram instaladas para extração de solução do solo, para avaliação química da água do solo, visando a estimativa de possível contaminação.

Os registros de leitura foram efetuados pelo agricultor, proprietário do lote, sob orientação. As leituras foram ser feitas no turno da manhã e sempre às 7 horas da manhã. A irrigação foi programada para a noite, de modo a minimizar os efeitos da evaporação, já como uma ação do manejo proposto.

3.4. Testes de lâmina

Testes de lâmina aplicada foram desenvolvidos na área com a participação efetiva do agricultor, com o objetivo de identificar a taxa de disposição de água pelo sistema em função do tempo.

Na área irrigada foram distribuídos recipientes cilíndricos padronizados de volume conhecido. O sistema foi acionado e os testes duraram um tempo mínimo de 20 minutos. Em cada área foram realizados no mínimo dois testes.

Os recipientes foram coletados e os volume de água medidos com o auxílio de uma proveta graduada. Foi calculado o valor médio dos volumes entre os recipientes, que por sua vez, foi transformado em lâmina e correlacionado ao tempo em que o sistema estava em uso. Dessa forma obteve-se uma taxa de aplicação, em milímetros por minuto.

3.5. Volume de água aplicado na irrigação

O agricultor irrigante praticava a irrigação e forma empírica em lotes predeterminados e seguindo o manejo baseado nas leituras de Tanque Classe A e pluviômetro, combinado a testes de aplicação de lâmina em cada lote irrigado.

Na aplicação do manejo na irrigação, o agricultor utilizou expressões matemáticas de cálculo simples. O tempo de irrigação foi determinado pela relação:

$$T_{irrigação} = \textit{reposição da evapotranspiração } (L_R) \quad / \quad \textit{taxa de aplicação} \qquad (3.1)$$

A taxa de aplicação foi previamente determinada pelos testes de lâmina, descritos na seção anterior.

A reposição da evaporação, L_R, foi calculada também pelo irrigante. Seguindo as leituras diárias de precipitação e evaporação, a seguinte relação foi aplicada:

$$L_R = ET_0 - P \qquad (3.2)$$

$$ET_0 = (P + \Delta h) \cdot K_P \cdot K_C \qquad (3.3)$$

onde,

P é a precipitação, em mm;

Δh é a leitura da evaporação no tanque classe A, em mm;

K_P é o fator de correção do tanque, 0,75;

K_C é o coeficiente da cultura.

A partir destas taxas e cálculos simples foram criadas tabelas correlacionando o tempo de irrigação à lâmina, de forma que fosse didaticamente viável ao agricultor seguir o manejo pelas tabelas. Determinando a lâmina de reposição, o agricultora consultava a Tabela 3.1, e determinava o tempo em que o sistema ficaria ligado.

Na área A1 a tabela foi rigorosamente seguida, enquanto nas áreas A2 e A3 por serem consorciadas a agricultores que não aceitavam a inovação do manejo por fatores culturais e empíricos, não foram seguidas.

Neste trabalho não foram consideradas taxas de lixiviação do solo. O turno de rega era determinado pelo perfil de umidade no solo registrado nas réguas tensiométricas.

Como forma de avaliar a quantidade de água aplicada na irrigação foi solicitado que o agricultor registrasse diariamente o tempo de irrigação em cada lote.

Tabela 3.1. Tempo a ser ligado o sistema de irrigação em função da necessidade de reposição da evaporação, L_R.

Área A1		**Área A2**		**Área A3**	
Taxa	*10,09 mm/h*	*Taxa*	*3,63mm/h*	*Taxa*	*4,16 mm/h*
Lâmina a repor (mm)	**Tempo (minutos)**	**Lâmina a repor (mm)**	**Tempo (minutos)**	**Lâmina a repor (mm)**	**Tempo (minutos)**
1	6	1	16	1	14
2	12	2	33	2	29
3	18	3	49	3	43
4	24	4	66	4	58
5	30	5	82	5	72
6	36	6	99	6	87
7	42	7	115	7	101
8	48	8	132	8	115
9	53	9	148	9	130
10	59	10	165	10	144
11	65	11	181	11	159
12	71	12	198	12	173

3.6. Coleta e análise de solo

3.6.1. Caracterização física

A caracterização preliminar dos solos foi efetuada através da coleta de amostras de solo a diferentes profundidades (10-20cm; 20-30cm; 30-40cm; 40-60cm; 60-80cm; 80-100cm; 100-120cm) e submetidas à análise laboratorial para determinação da curva característica e textura. Para determinação de densidade global, as amostras foram coletadas utilizando um amostrador cilíndrico de UHLAND, com anéis de volume padronizado (86,75 cm^3), de 20 em 20 cm, até a profundidade de 100 cm.

Para a determinação da curva característica, as amostras foram saturadas, pesadas e levadas a um funil de placa porosa onde foram aplicadas diferentes sucções. Quando necessária a aplicação de pressões maiores, foi utilizada a câmara de Richard (Richards,

1941). Sempre que o equilíbrio era atingido diante a sucção imposta, as amostras eram pesadas e a umidade volumétrica, referente a cada pressão, calculada.

Para a determinação da textura, as frações granulométricas das amostras determinadas e plotadas no triângulo de classificação (Figura 2.1). As amostras secaram ao ar. Em seguida foi aplicada a metodologia de determinação granulométrica de solos pela combinação de análise por sedimentação e peneiramento (EMBRAPA, 1997). Para essas análises foram utilizadas as instalações do Laboratório de Física do Solo da UFRPE.

A caracterização visual do perfil do solo foi observada através de tradagem até a profundidade de 150 cm (Figura 3.9).

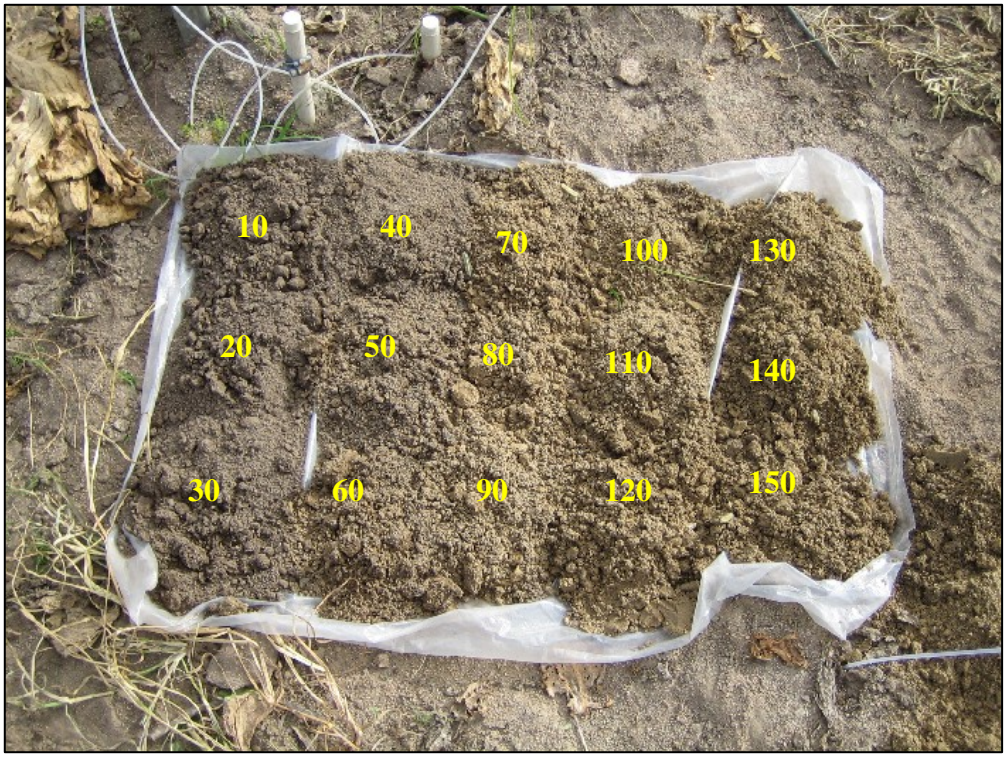

Figura 3.9. Caracterização visual do perfil de solo na área A1, ordenado em colunas, da esquerda para a direita, com as referidas profundidades em centímetros.

3.6.2. Caracterização química

Análises químicas foram realizadas em todas as amostras de solo coletadas segundo as metodologias propostas pela EMBRAPA (1997).

Foram realizadas análises laboratoriais de condutividade elétrica, pH em água, matéria orgânica e nitrogênio total em massa. Ainda, foram investigadas as concentrações

de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^{+}), potássio (K^{+}), cloreto (Cl^{-}), sulfato (SO_4^{2-}), carbonato (CaO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^{-}), amônia em NH_3 e nitrito em N.

Para determinação da condutividade elétrica e do pH foram utilizados respectivamente condutivímetro portátil e o potenciômetro. Para a investigação das concentrações iônicas foi utilizada metodologia internacional de analise laboratorial proposta pelo American Public Health Association (1995).

A partir dos resultados obtidos em laboratório para as concentrações de sódio, cálcio e magnésio, foram calculados a razão de adsorção de sódio (RAS) e a porcentagem de sódio trocável (PST) (Equações 2.20 e 2.21).

O seguinte cronograma de coleta foi seguido (Tabela 3.2):

Tabela 3.2. Cronograma de coleta de amostras de solo para análise química.

	Área A0	**Área A1**	**Área A2**	**Área A3**
Cultura	Sem cultura	Repolho	Repolho	Repolho
Período da cultura		08.04.2005 – 05.07.2005	19.04.2005 – 29.06.2005	08.04.2005 – 21.06.2005
Coleta 1	Caracterização físico-química	Anterior ao plantio e aplicação de pesticidas e fertilizantes – caracterização físico-química	Anterior ao plantio – caracterização físico-química	Anterior ao plantio – caracterização físico-química
Coleta 2		Investigação química (49º dia)		
Coleta 3		Investigação química (63º dia)		
Coleta Final		Investigação química – depois da colheita.		

A primeira coleta de solo teve sempre o objetivo de caracterizar as áreas física e quimicamente, relacionando aos fatores químicos a variabilidade espacial dos contaminantes entre as áreas. A área A1 seguiu o manejo proposto e houve aplicação de pesticidas e fertilizantes.

3.7. Caracterização física dos solos

Os princípios da resistividade elétrica foram usados para identificar a geometria do local, em particular as condições de contorno de base. A situação geológica representa baixa resistividade para zona saturada e alta resistividade para camadas rochosas, o que

revela um contraste significante de resistividade afrontando entre as unidades geológicas. Isto torna a metodologia aplicável às necessidades da pesquisa.

O equipamento consiste em um medidor de resistividade, do tipo ABEM SAS 300B Terrameter; um cabo multicore (cabo de vários condutores) com 120m de comprimento e 25 saídas para conexão com eletrodos, espaçados a cada 5 metros; uma caixa seletora de controle manual para determinação das distâncias de combinação entre os eletrodos e terminais de entrada e saída; e eletrodos de 50 cm de comprimento para conexão do sistema com o solo (Figuras 3.10, 3.11 e 3.12). Esse conjunto de equipamentos foi cedido pela Universidade de Birmingham, no âmbito de projetos de cooperação internacional com as universidades federais de Pernambuco – UFPE e UFRPE, para o desenvolvimento desse estudo.

Figura 3.10. Medidor de resistividade, ABEM SAS 300B Terrameter.

Figura 3.11. Caixa seletora manual para determinação das combinações entre eletrodos.

Figura 3.12. Cabo conector com eletrodos encravados no solo, sobre as áreas A0 e A1.

O medidor de resistividade Terrameter utiliza uma fonte de corrente constante, emitida através do cabo de conexão e dissipada entre os eletrodos de acordo com a determinação combinada na caixa seletora. A corrente é liberada, passa pelos eletrodos predeterminados e pelo solo, e o valor da resistividade é indicado pelo medidor.

As saídas do cabo multicore são conectadas aos eletrodos metálicos, que por sua vez estão fincados ao solo. O cabo é conectado à caixa seletora. A caixa seletora seleciona o potencial e os eletrodos de corrente pelo ajuste de quatro botões seletores de 25 canais os quais permitem a locação dos terminais de corrente (saídas C1 e C2) e de potencial (entrada: P1 e P2) provenientes do Terrameter que se encontra conectado ao fim da linha. O procedimento normal consiste em iniciar com a determinação de espaçamentos pequenos onde a extensão total do cabo é utilizada. Os canais dos botões seletores são alterados, percorrendo toda matriz de eletrodos, mantendo constante o espaçamento. Quando atingido o fim do cabo, o procedimento é reiniciado usando um espaçamento maior entre os eletrodos. Dessa forma a secção é construída, e o aumento do espaçamento entre os eletrodos é proporcional às profundidades de investigação.

Logo, a variação da combinação entre eletrodos, em conseqüência a determinação da distância da distribuição da corrente, vai determinar a que profundidade está sendo medida a resistividade, seguindo a matriz de Werner (Figura 3.13).

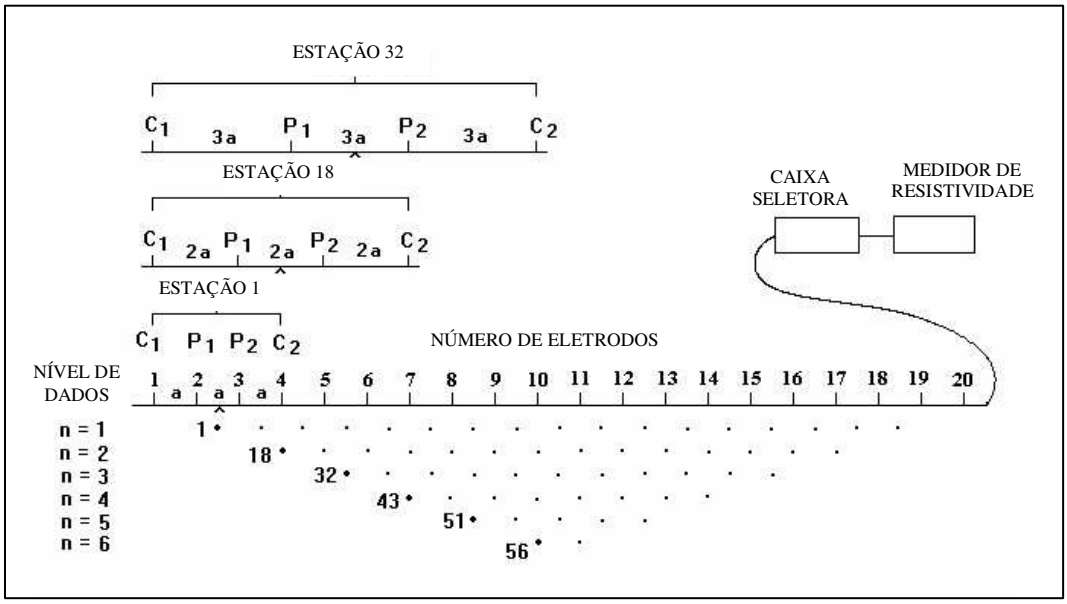

Figura 3.13. Seqüência de combinações e medições, seguindo a matriz de Werner (adaptado de Last, 2004).

O teste foi aplicado em uma secção transversal de 48 metros sobre as áreas A0 e A1. A disposição dos eletrodos foi espaçada a cada 2 metros já que se eram esperados solos rasos e o objetivo da investigação era principalmente detalhar a espessura da zona não saturada e a profundidade do lençol (Last, 2004).

Uma secção foi criada no intuito de determinar o contorno de base das áreas monitoradas tecnicamente (Figura 3.14). Os dados foram coletados manualmente, e em seguida levados ao Excel para cálculo da resistividade aparente.

Os resultados do teste geofísico foram utilizados na determinação do contorno de base da área, para fins de simulação.

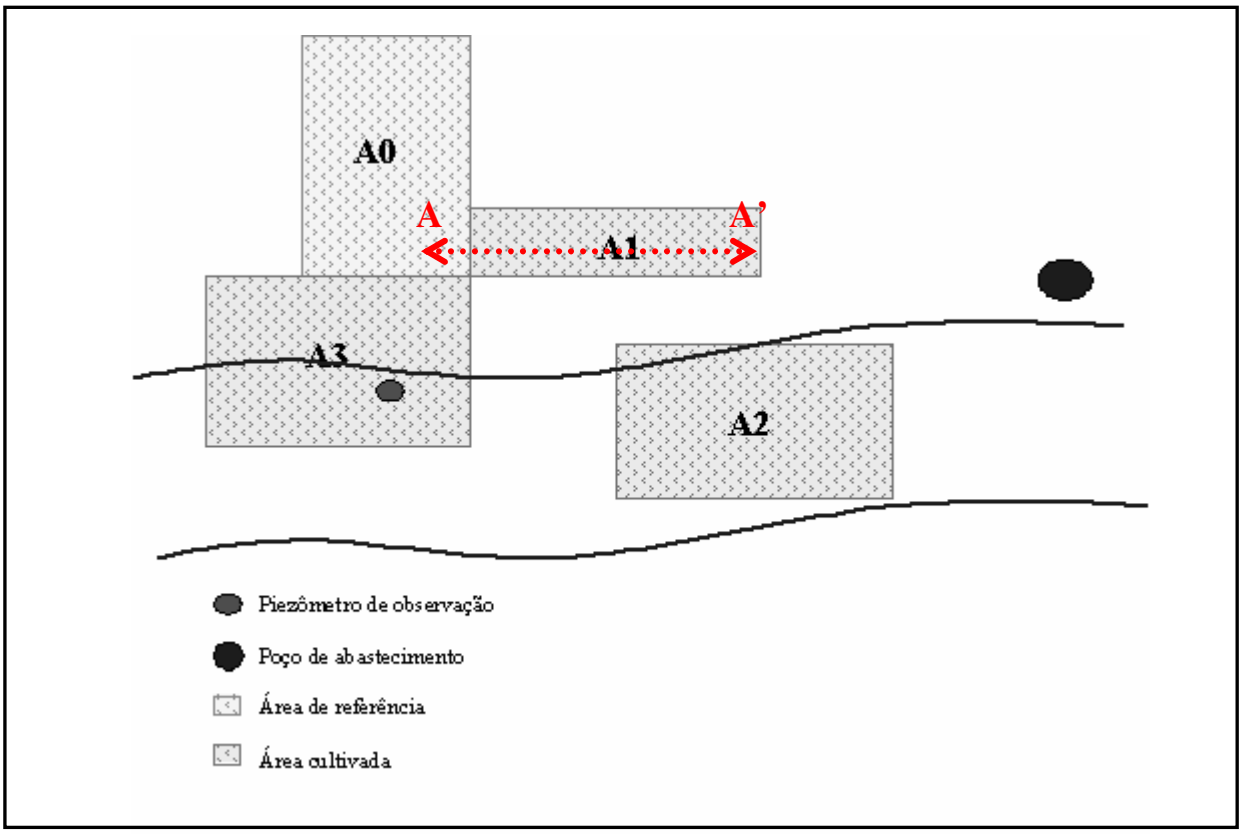

Figura 3.14. Secção geofísica nas áreas investigadas.

Através da análise mecânica das texturas dos solos coletados das áreas de pesquisa, o perfil do solo foi classificado como apresentado na Figura 3.15, onde se pode observar a heterogeneidade na área. A classificação do solo foi baseada no triângulo de texturas apresentado na seção 2.4 (Figura 2.1).

	Área de referência	Áreas cultivadas		
0 cm	**Área A0**	**Área A1**	**Área A2**	**Área A3**
20 cm	Franco Arenoso	Areia Franca	Franco	Franco Arenoso
40 cm			Areia Franca	Areia Franca
60 cm			Franco Arenoso	Franco Arenoso
80 cm	Areia Franca		Areia Franca	Areia Franca
100 cm			Areia	Areia
120 cm				

Figura 3.15. Classificação textural do solo das áreas de estudo.

Observa-se na distribuição de texturas a caracterização da base aluvial nas áreas A2 e A3, que se encontram sobre o leito do riacho temporário. A presença de um solo franco na área A2 é devida ao carreamento de partículas de solo das margens.

Em porcentagem, a Figura 3.16 pode representar os perfis em sua composição e organização. Ainda têm-se na Tabela 3.3 os valores da densidade global. Esses valores foram utilizados para caracterização das áreas para fins de modelagem matemática.

Tabela 3.3. Densidade global e de partículas dos perfis sob cultura.

	Profundidade (cm)	**DG (g/cm³)**	**DP (g/cm³)**
Área A1	0-20	1,82	2,54
	20-40	1,83	2,62
	40-120	1,75	2,48
Área A2	0-20	1,28	2,40
	20-40	1,45	2,40
	40-120	1,55	2,56
Área A3	0-20	1,55	2,54
	20-40	1,41	2,40
	40-120	1,54	2,43

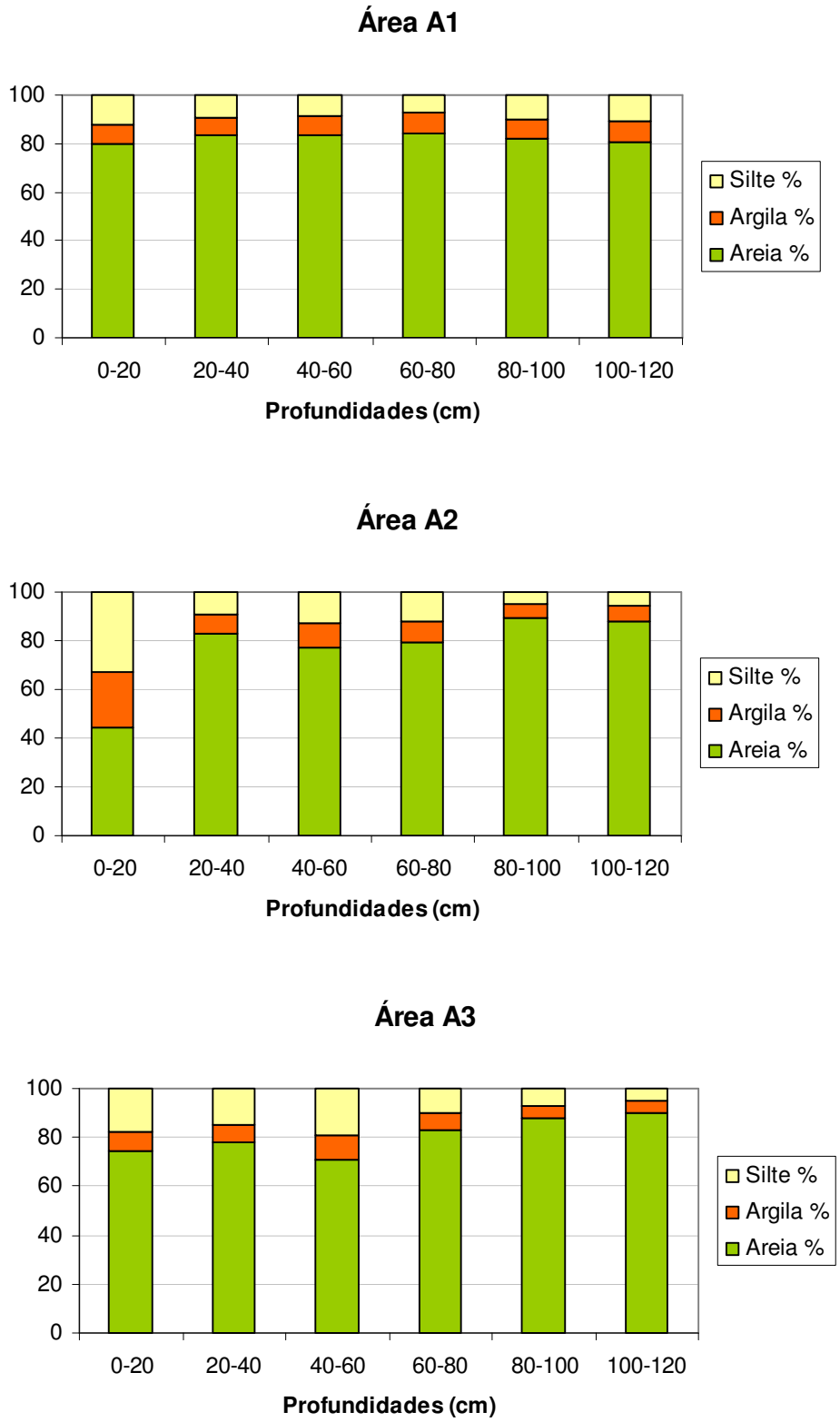

Figura 3.16. Distribuição granulométrica nos perfis analisados nas áreas de estudo

Ensaios geofísicos foram efetuados nas áreas onde houve a aplicação do manejo sob orientação (áreas A0 e A1) em forma de secção longitudinal, para verificação da profundidade do lençol freático e das características de contorno inferior (Figura 3.17).

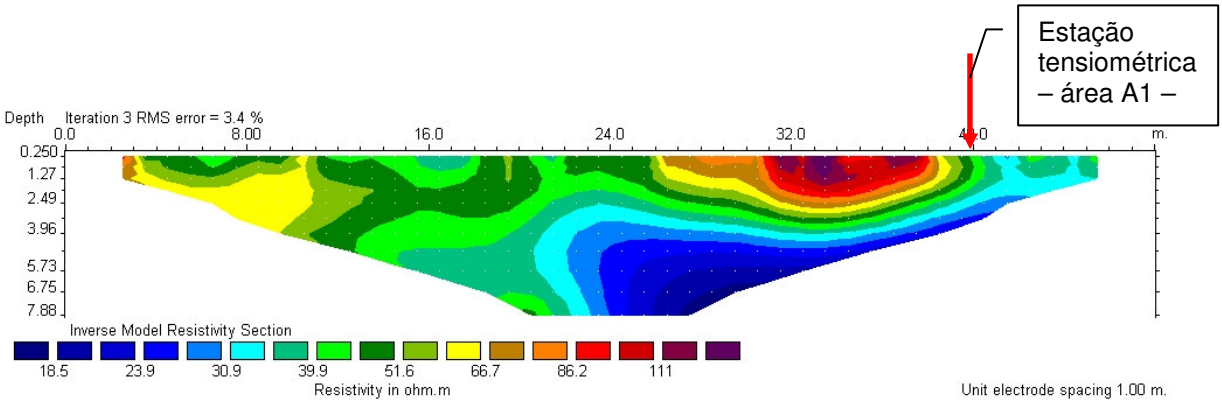

Figura 3.17. Perfil geofísico da secção AA'. Mapeamento dos valores de resistividade (Ω.m). Locação da estação tensiométrica de observação.

A interpretação da secção é dada a partir do mapeamento da resistividade do solo, complementado com tradagens in loco.

Com o auxílio de um trado foi avaliada uma profundidade de aproximadamente 250 cm até o embasamento rochoso na linha de inspeção geofísica (áreas A0 e A1). As áreas A2 e A3 são caracterizadas pelo aluvião, por sua locação sobre o leito do riacho intermitente.

A variação da resistividade é função do grau de saturação e de salinidade, Considera-se que o solo contém água na região não saturada e que a umidade é máxima na zona de saturação, desde a zona de fragmentação do cristalino até o nível do lençol. Os resultados dos testes geofísicos mostram que a resistividade na área estudada apresenta grande variação indicando áreas de saturação e áreas de não saturação numa mesma profundidade, provavelmente devido à desuniformidade da distribuição do aluvião ou a níveis elevados de salinidade em camadas inferiores. Estudos anteriores (Last, 2004; Sholl, 2005) desenvolvidos na área verificaram que a região de fragmentação do cristalino deve normalmente apresentar resistividade maior que o aluvião, quando avaliada apenas as

condições de saturação. Se não ocorre saturação, provavelmente, a diferença de resistividade é provocada pelas variações de salinidade, de forma que a menor resistividade seja relacionada ao aumento da salinidade, certamente oriunda das formações cristalinas naturais, combinadas ou não com a presença de água.

Através do perfil geofísico, verifica-se a redução da resistividade em toda mancha azul, onde pode ser interpretado como a presença de água a partir dos 4 metros de profundidade. Essa avaliação foi desenvolvida em busca da determinação do contorno de base da área estudada, informação esta de grande importância para o processo de modelagem.

3.8. Coleta e análise da água

A investigação teve início pela água subterrânea que serve de fonte para a prática da irrigação. A pesquisa neste âmbito foi efetuada em dois pontos específicos: um piezômetro de investigação instalado a jusante da área, e no poço de extração do tipo Amazonas que foi utilizado para captação de água para irrigação, localizados respectivamente a distâncias de 100m e 300m da área cultivada (Figura 3.8). Desta forma, poder-se-ia avaliar a situação inicial da área quanto à contaminação preexistente à realização da pesquisa.

O estudo de contaminação das águas subterrâneas abordou a investigação dos agrotóxicos do tipo organohalogenados e organofosforados de uso em âmbito nacional no Brasil. Os agrotóxicos investigados foram: aldrin, aletrina, azinfós etil, azinfós metil,azoxystrobin, bifentrina, bioaletrina, bromopropilato, captan, carbofenotion, ciflutrina, cipermetrina (cis e trans), ciproconazole, clordano (alfa e gama), clorotalonil, clorpirimifós etil, clorpirimifós metil, clorfenvinfós, DDT-total (o,p'- DDD; p,p'- DDD; o,p'- DDE; p,p'- DDE; o,p'- DDT e p,p'- DDT), deltametrina (I, II e III), diazinon, diclorvós, dicofol, dieldrin, difenoconazol, dimetoato, dissulfoton, endosulfan (alfa, beta e sulfato), endrin, esfenvarelato, etion, etoprofós, etrinfós, fenamifós, fenarimol, fenpropatrin, fenitrotion, fention, fentoato, fenvarelato, flutriafol, folpet, forate, HCB, HCH (alfa, beta e delta), heptacloro, heptacloro epóxido, iprodione, lambdacialotrina (I e II), lindano, malaoxon, malation, metamidofós, metidation, mevifós, miclobutanil, mirex, oxifluorfen, paration etil, paration metil, paraoxon etil, permetrina (cis e trans), pirazofós, pirimifós etil, pirimifós metil, procimidona, profenofós, propiconazole, tebuconazole, terbufós, tetradifon, triazofós, triclorfon, triflurarina, vamidation, vinclozolin.

As análises foram realizadas pelo ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco, no Laboratório de Toxicologia – LABTOX. A segurança dos resultados dessas análises é garantida pela confiabilidade do laboratório, que segue padrões internacionais de excelência da qualidade das análises.

A avaliação de parâmetros indicadores de qualidade de água foi desenvolvida em duas coletas distintas. Os parâmetros analisados são: CE (dS/cm a 25ºC), pH, amônia em NH_3, nitrito em N, nitrato em N, alcalinidade de hidróxidos em $CaCO_3$, alcalinidade de carbonatos em $CaCO_3$, alcalinidade de bicarbonatos em $CaCO_3$, alcalinidade total em $CaCO_3$, dureza total em $CaCO_3$, fosfato em P, Ca^{2+}(cálcio), Mg^{2+}(magnésio), Na^{+}(sódio), K^{+}(potássio), Cl^{-}(cloreto), SO_4^{2-}(sulfato), NO_3^{-}(Nitrato), HCO_3^{-}(Bicarbonato), parâmetros esses, indicadores de qualidade de água (Al-Senafy e Abraham, 2004; Babiker et al., 2004; Brandão et al., 1999).

Uma segunda avaliação foi baseada no comportamento hidroquímico da água de irrigação. A classificação e comparação de grupos distintos de águas, quanto aos íons dominantes, constitui-se num passo inicial para o entendimento da química da água, o qual determinará os principais usos a que tais águas podem ser destinadas. Para tanto, são utilizados diversos gráficos e diagramas, os quais permitem o manejo e o estudo de diferentes análises químicas simultaneamente. Dentre esses, o diagrama de Piper (Piper, 1944) é um dos mais utilizados na classificação hidroquímica de águas. Uma das principais vantagens do mesmo é a possibilidade de se trabalhar com um grande número de análises, classificando diferentes grupos amostrados quanto aos íons dominantes.

Diante do exposto, visando classificar as águas subterrâneas utilizadas para a irrigação, os resultados das análises físico-químicas foram plotados em um diagrama de Piper (Figura 3.18), evidenciando os valores dos íons dominantes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO^{3-}, SO^{4-} e Cl^{-}) expressos em unidade de meq/L, determinados em laboratório.

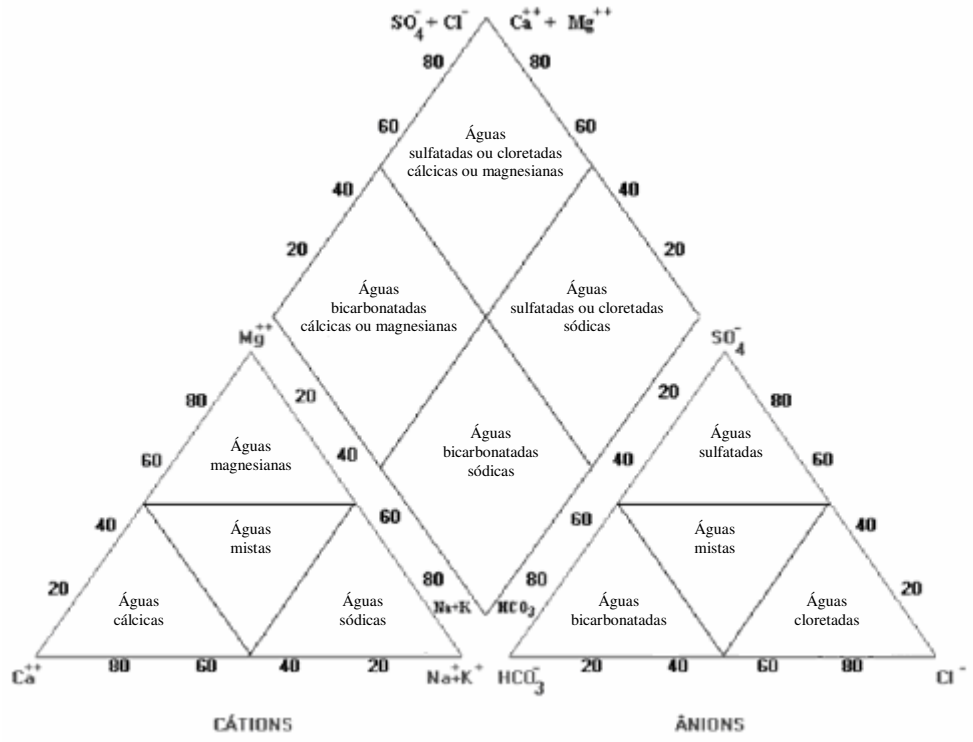

Figura 3.18. Diagrama de Piper para classificação hidroquímica da água (Piper, 1944).

Ainda, os riscos de salinização e sodificação foram estudados. A salinidade e a sodicidade podem ser avaliadas em conjunto, projetando os valores em um diagrama onde a condutividade se representa no eixo das abscissas e a razão de adsorção de sódio – RAS, no eixo das ordenadas, estabelecendo-se uma das 16 possíveis categorias de água para uso em irrigação. Estas categorias são uma combinação das diferentes classes de perigo de salinização de solo (C) e perigo de alcalinização do solo (S) (Figura 3.19) (U.S.D.A., 1954).

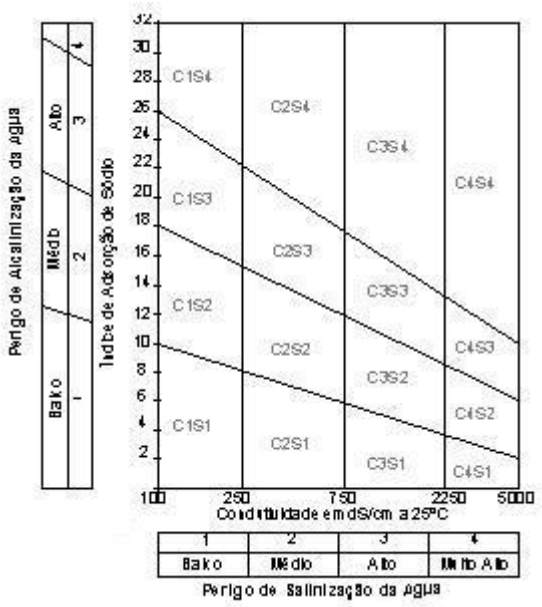

Figura 3.19. Diagrama de classificação da água para irrigação, segundo riscos de salinização e sodificação (U.S.D.A., 1954).

3.9. Análise da vunerabilidade à poluição – Índice GOD

Para a definição da vulnerabilidade da barragem subterrânea de Cafundó II, foi utilizada a metodologia "GOD", a qual está baseada na ocorrência de águas subterrâneas, na classificação geral do aqüífero e profundidade do nível de água (Foster, 1987).

No estudo da ocorrência das águas (*Groundwater occurence*), é avaliado se o aqüífero é confinado, semi-confinado ou não confinado, onde o grau de confinamento hidráulico do aqüífero é identificado e lhe é atribuído um índice na escala de 0,0 a 1,0 (Tabela 3.4)

Na classificação geral do aqüífero (*Overall aquifer class*), são especificadas as características do substrato que recobre a zona saturada do aqüífero em termos do grau de consolidação e do tipo de litologia, assinalando-se um índice a este parâmetro em uma escala de 0,4 a 1,0 (Tabela 3.5)

Por último é avaliada a profundidade do nível de água (*Depth to groundwater table*), onde á estimada a distância ou profundidade ao nível da água (em aqüíferos não confinados) ou profundidade do teto da camada do primeiro aqüífero confinado, atribuindo-se um índice a este parâmetro em uma escala de 0,6 a 1,0 (Tabela 3.6).

O índice final integrado de vulnerabilidade de aqüíferos "GOD" é o produto dos índices obtidos para cada um dos parâmetros, sendo complementado por um sufixo de qualificação que indica o grau de fissuração e a capacidade de atenuação dos poluentes. Este sufixo será uma medida qualitativa da tendência relativa para o transporte lateral de poluentes na zona saturada. O índice recebe valores que variam de 0,0 (vulnerabilidade desprezível) até 1,0 (vulnerabilidade extrema) (tabela 3.7).

Tabela 3.4. Avaliação do parâmetro G – Índice GOD (Foster, 1987).

Parâmetro G (***Ocorrência de águas subterrâneas***)	**Valor**
Nenhum	0
Confinado artesiano	0,1
Confinado	0,2
Semi-confinado	0,3
Semi-confinado (coberto)	0,5
Não confinado	1

Tabela 3.5. Avaliação do parâmetro O – Índice GOD (Foster, 1987).

Parâmetro O (***Classificação geral do aqüífero***)	**Valor**
Rochas não consolidadas:	
Solos residuais	0,4
Aluviões siltosos	0,5
Aluvião arenoso	0,6
Areias e cascalhos aluviais e fluviais	0,7
Cascalhos coluvionares	0,8
Rochas consolidadas (rochas porosas):	
Argilitos e xistos	0,5
Siltitos	0,6
Rochas consolidadas (rochas densas):	
Formações ígneas/metamórficas	0,6
Lavas vulcânicas recentes	0,8
Outros calcários	1

Tabela 3.6. Avaliação do parâmetro D – Índice GOD (Foster, 1987).

Parâmetro D (***Profundidade ao topo do aqüífero***)	**Valor**
>100 m	0,4
50-100 m	0,5
20-50 m	0,6
10-20 m	0,7
5-10 m	0,8
2-5 m	0,9
< 2 m	1

Tabela 3.7. Variação de valores para cada classe de vulnerabilidade do Índice GOD (Foster, 1987).

Índice GOD	**Classe de vulnerabilidade**
0,7 – 1	Extrema
0,5 – 0,7	Alta
0,3 – 0,5	Moderada
0,1 – 0,3	Baixa
0 – 0,1	Desprezível

A região onde o estudo foi realizado, foi a área de montante à barragem subterrânea Cafundó II. A barragem está sobre formação rochosa de embasamento cristalino e o aqüífero é classificado como livre, onde a água subterrânea é utilizada para abastecimento público e principalmente para irrigação. Para tal análise, foram utilizados principalmente dados hidrogeológicos de construção da barragem. A análise recebeu contribuição de uma série temporal de registros de nível de água de doze pontos de observação, entre piezômetros e poços, sob a área da barragem, num período de novembro de 2003 a novembro de 2005 (Figura 3.20).

A análise foi dividida em três períodos representativos, baseado no comportamento climatológico da região: período seco inicial (de agosto a novembro), o período seco final (de dezembro a março) e o período úmido (de abril a julho) (Montenegro et al., 2005a). Para cada ponto observado, foi calculada a média dos níveis de água para cada período citado, em seguida a média ano a ano, a fim de que toda a serie histórica fosse utilizada, validando os dados para os anos referentes às coletas dos dados.

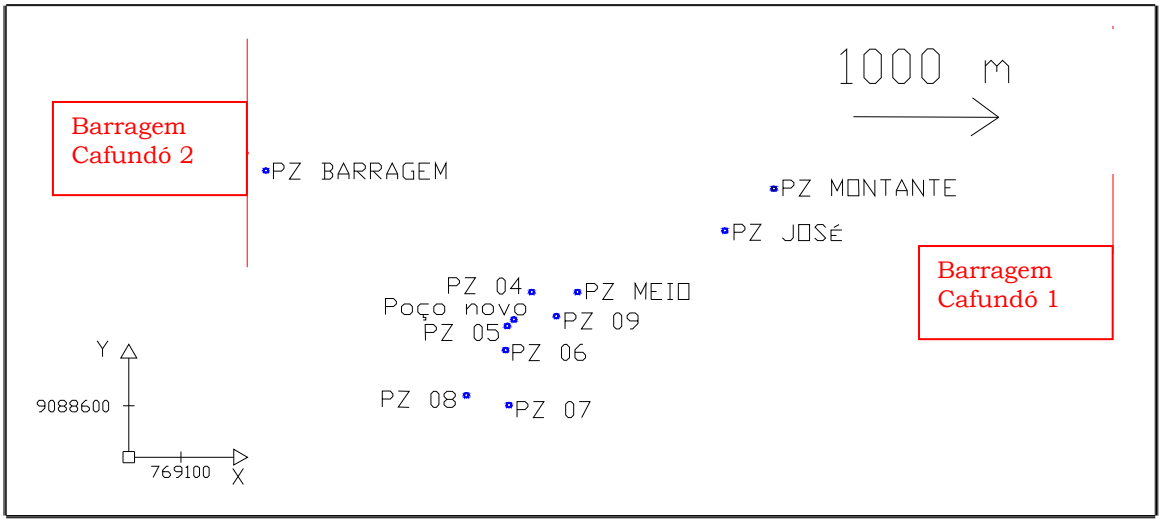

Figura 3.20. Esquema de localização da barragem subterrânea Cafundó II e os poços e piezômetros de observação.

3.10. Modelagem matemática do fluxo em meio não saturado

3.10.1. Modelo Hydrus 1D

O modelo HYDRUS 1D é um modelo numérico em diferenças finitas, para simulação unidirecional do fluxo de água, calor e múltiplos solutos em meios saturados ou não-saturados. O programa soluciona numericamente as equações de Richards para o fluxo variável da água no solo e equações de advecção e dispersão para calor e transporte de solutos (Šimůnek et al.,1998).

O modelo HYDRUS 1D permite o uso de três diferentes modelos analíticos para estimativa das propriedades hidráulicas θ(h) e K(h) – curva característica e curva de condutividade hidráulica, respectivamente. Dentre os modelos disponíveis pode-se citar: Brooks e Corey (1964); van Genuchten (1980) e Vogel e Cislerová (1988)

As equações de transporte de soluto no HYDRUS consideram o transporte advectivo-dispersivo na fase líquida, e transporte difusivo na fase gasosa. As equações de transporte oferecem ferramentas para reações não lineares e, ou em desequilíbrio entre as fases sólida e líquida; reações de equilíbrio linear entre as fases líquida e gasosa; e solução para decaimento de reações de primeira ordem. Para as reações de decaimento de primeira

ordem, são consideradas: radionuclídeos, cadeias de nitrificação e denitrificação, transporte de fosfato orgânico, decaimento de cadeias de pesticidas, e produtos farmacêuticos entre outros contaminantes.

3.11. Simulação numérica

As aplicações das equações de Richards em escala pedológica podem ser utilizadas num domínio regional. No entanto, esse procedimento não é de fácil aplicabilidade devido a complexidade das variáveis envolvidas. Pode-se ainda considerar em uma análise para uma escala maior, a abordagem estocástica (Montenegro, 1997). Uma solução viável foi considerar o fluxo dinâmico em apenas uma direção, equivalente a uma coluna de solo e representativo da área de um lote irrigado. Essa consideração pôde ser feita já que a área não possui grandes declives e apresenta relativa homogeneidade em seu perfil (D'Urso et al..,1999). Dessa forma, na modelagem, a área foi representada por uma coluna de solo independente, e o fluxo analisado unidirecionalmente na direção vertical.

Foram realizadas simulações para caracterização da variação da umidade ao longo do perfil e ao longo do tempo considerando duas condições básicas, aqui chamadas de SIMULAÇÃO A – pela utilização de funções de transferência hidropedológicas (FTHs), e SIMULAÇÃO B – e pela aplicação direta de valores dos parâmetros das curvas características determinadas em laboratório e ajustadas.

Para a execução da SIMULAÇÃO A foi utilizado como suporte um sub programa do HYDRUS chamado *Rosetta Lite 1.1* (Schaap et al., 2001) para determinação dos parâmetros das funções analíticas. O *Rosetta Lite 1.1* é uma rotina que está internamente vinculada ao modelo HYDRUS, construída em redes neurais, que busca a melhor função de transferência através de um processo de calibração otimizada de parâmetros de entrada e saída, sem equações predefinidas (Schaap e Leij, 1998). Internamente, esse modelo dispõe automaticamente dos parâmetros das equações de retenção de água no solo e condutividade hidráulica, o qual está montado a partir de extensa base de dados de parâmetros de água no solo e de textura. A partir de valores da distribuição granulométrica e textura obtidos em ensaios de laboratório, as porcentagens de areia, silte e argila e a densidade global do solo são colocados como dados de entrada nesse sub programa, e os parâmetros da função analítica de van Genuchten (1980) são dados como saída dessa rotina.

Para a SIMULAÇÃO B, o modelo permite a utilização das funções analíticas de Brooks e Corey (1964) (Equações 2.13, 2.14, 2.15) ou van Genuchten (1980) (Equações 2.16, 2.17, 2.18), discutidas na seção (2.5.3).

Na SIMULAÇÃO B, amostras de solo foram coletadas in loco e levadas ao laboratório para determinação da curva característica. Posteriormente essa curva foi ajustada aos dois modelos – de Brooks e Corey (1964) e de van Genuchten (1980), e os parâmetros de ajuste das curvas utilizados como entrada no HYDRUS. Nesse tipo de simulação a condutividade hidráulica saturada utilizada, Ks, foi determinada a partir de ajustes do próprio HYDRUS, a partir das informações de textura, densidade global e da disposição dos parâmetros da curva característica.

São requeridos pelo modelo como dados de entrada, valores de precipitação, lâmina de irrigação, evaporação potencial, transpiração potencial da cultura, e umidade inicial do solo (vide série em anexo). Ao longo do período de simulação a discretização temporal dos dados de entrada foi variável, e o passo de tempo da modelagem foi de comprimento 0,05 dia, intervalo este mantido constante nos cenários simulados nos dois experimentos. Em ambos os casos, considerou-se uma coluna de 100 cm de comprimento, com discretização espacial centrada e uniforme de 10 cm, de acordo com o esquema da Figura 3.21. A condição de contorno superior foi de condições atmosféricas com possibilidade de escoamento superficial, enquanto no contorno inferior considerou-se potencial especificado, seguindo uma série temporal medida em campo, a 100 cm de profundidade.

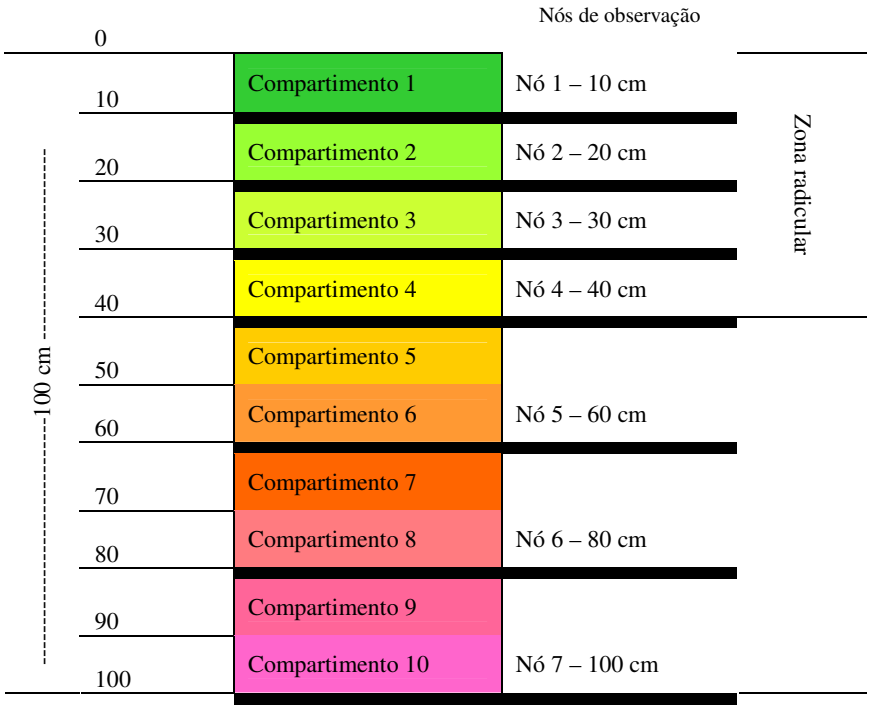

Figura 3.21. Esquema de discretização dos perfis simulados para as duas áreas.

Na discretização temporal, dois cenários foram testados. Registros únicos diários foram lançados como entrada do modelo, como também, o dia foi dividido em quatro períodos iguais de seis horas, de forma que se pudesse avaliar a interferência do horário de irrigação no comportamento hidrodinâmico. Na discretização temporal quadripartida – onde o dia é dividido em quatro períodos de seis horas, a distribuição da precipitação e da evaporação não foi distribuída uniformemente pelas ações externas de radiação solar e ventos. A distribuição seguiu o quadro a seguir (Tabela 3.8). A irrigação na área A1 era aplicada sempre no Período III. Entretanto na área A2, sem o manejo técnico, não foi estabelecido nenhum critério quanto ao período de irrigação, ocorrendo ora num período, ora em outro.

Na simulação, foi avaliada a importância do momento de irrigação variando-o nos quatro períodos, e sua influência no comportamento hidrodinâmico.

Tabela 3.8. Representação da discretização quadripartida do dia, para simulação com entrada diária fracionada.

1 dia	Volume de Precipitação diária	Volume de Evaporação diária	Volume de Irrigação diária			
Período I (0:00 – 6:00)	25%	15%	100% ou			
Período II (6:00 – 12:00)	25%	35%		100% ou		
Período III (12:00 – 18:00)	25%	35%			100% ou	
Período IV (18:00 – 24:00)	25%	15%				100%

A taxa de crescimento adotada para a zona radicular seguiu o padrão observado em campo, de 50% de crescimento até a metade do ciclo da cultura, atingindo 100% ao final do ciclo, estabilizando-se no valor médio de 37 cm (adotado 40 cm para efeito de simulação). As profundidades das raízes eram medidas in loco com a abertura de trincheiras laterais para medição.

A retirada de água do solo pelas raízes seguiu o modelo de Feddes (Feddes et al., 1978). Segundo Feddes (1978) a retirada de água pelas raízes, *S(z,h)*, [T^{-1}], é função da profundidade das raízes [L] e da tensão existente no solo [L], segundo a equação (3.3):

$$S(z,h) = \int_0^r \alpha(h) \cdot Sp \, dz \qquad (3.3)$$

onde, *Sp* é taxa potencial de extração das raízes [T^{-1}], *z* varia da superfície até a profundidade das raízes [L] e α é uma constante adimensional em função da tensão no solo. A Figura 3.22 mostra um esquema representativo da variação de α em função da tensão no solo.

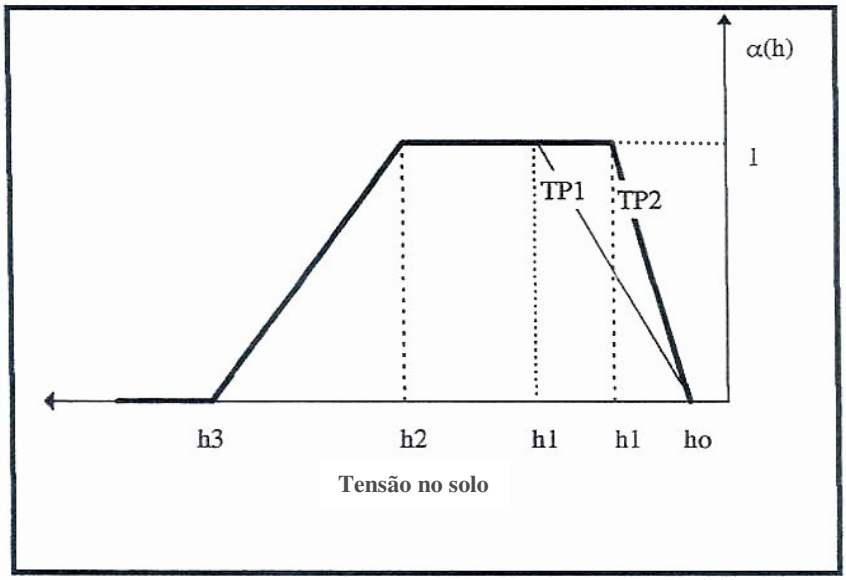

Figura 3.22. Esquema representativo da variação de α em função da tensão do solo (Feddes, 1978).

Como observado na Figura 3.22, a retirada de água próximo a saturação, h=0, a retirada de água pelas raízes é cessada devido a falta de oxigênio no sistema radicular (h_0). A retirada de água pela raízes é considerada otimizada entre os pontos h_1 e h_2, onde α=1. A função α(h) decresce linearmente ou hiperbolicamente, entre h_2 e h_3, onde h_3 é o ponto de murcha do sistema. O valor de h_1 pode variar em função da taxa de transpiração máxima (TP1) e mínima (TP2). No HYDRUS esses parâmetros recebem nomenclaturas diferentes (Tabela 3.9). A seguir encontram-se os valores utilizados (Tabela 3.9).

Tabela 3.9. Parâmetros de planta utilizado no modelo de Feddes (Feddes et al., 1978).

Parâmetro (Feddes, 1978)	h_0	h_1	h_{1max}	h_{1min}	h_3	TP1	TP2
Parâmetro no HYDRUS	P0	P0pt	P2H	P2L	P3	r2H	r2L
Valor adotado (cm/dia)	-10	-50	-200	-300	-16000	0,5	0,1

Os parâmetros de ajuste do modelo de Feddes seguiram as indicações do autor para o tipo de cultura em prática, o repolho. Esses parâmetros foram alterados durante a calibragem do modelo, mas não representaram mudança significativa nos resultados. Os parâmetros ajustados foram: P0, valor de pressão em que a planta começa a retirar água do solo (cm); P0pt, valor de pressão em que a planta retira a água do solo em sua função máxima (cm); P2H, valor limite de pressão o qual a planta cessa a retirada de água do solo em sua função máxima (assumindo a transpiração potencial máxima de r2H) (cm); P2L, função semelhante a P2H, mas com a transpiração potencial mínima, igual a r2L(cm); P3, valor mínimo de pressão que permite a retirada de água pela planta (cm); r2H, transpiração potencial máxima, fixada pelo autor em 0,5 cm/dia e r2L, transpiração potencial mínima, fixada pelo autor em 0,1 cm/dia.

O cálculo da evapotranspiração potencial da cultura foi efetuado a partir dos conceitos apresentados pela FAO Nº 24 (Doorenbos e Pruitt, 1977). A determinação do coeficiente da cultura, Kc, para o cálculo da evapotranspiração potencial seguiu os valores mínimos apresentados pelo referido documento, já que a planta apresentava deficiência fitológica devido à ação de pragas. O primeiro estádio de crescimento a planta ainda se encontrava em sementeira. O início do 2º estádio, em torno do vigésimo dia de vida da planta, coincidiu com a transposição da sementeira para a área de cultivo e com o início da observação. Para o 2º estádio, o valor do Kc foi estimado variando linearmente de 0,6 a 0,8. Para o 3º estádio o valor de 0,8 foi adotado. E para o 4º estádio, o valor decresceu linearmente de 0,8 a 0,7. A variação empregada está apresentada na tabela em anexo (Anexo A).

O modelo HYDRUS adota como dados de entrada a evapotranspiração em forma de evaporação, Ep, e a transpiração potencial, Tp, separadamente. Para tal, o modelo de separação dessas duas variáveis, proposto por Vanclooster et al. (1994) foi utilizado. O modelo propõe o cálculo da evaporação potencial em função do índice de área foliar – IAF, e da evapotranspiração potencial da cultura, seguindo as equações abaixo:

$$E_p = e^{-0,6 \cdot IAF} \cdot ET_c \qquad (3.3)$$

$$T_p = ET_c - E_p \qquad (3.4)$$

onde, ET_c é a evapotranspiração potencial da cultura (mm/dia); T_p é a transpiração potencial (mm/dia); E_p é a evaporação potencial (mm/dia).

O índice de área foliar foi ajustado linearmente a partir de valores apresentados por Aquino et al. (2005), na fase de calibração do modelo. Aquino et al. (2005) propõem valores do índice de área foliar para a cultura do repolho variando de 0,8 a 4,25. Considerando o dia 1 da germinação como IAF igual a zero, e o dia da colheita como IAF igual ao IAF máximo, proposto por Aquino et al. (2005), o valor máximo que melhor se ajustou ao modelo foi um índice de área foliar igual a 0,9. O índice de área foliar foi então distribuído ao longo do período por regressão linear.

Outro parâmetro de ajuste foi a distribuição do potencial de extração de água pelas raízes. No tocante ao padrão de extração vertical da planta, adotou-se um perfil linear de decrescimento com a profundidade, com o valor de 40% na superfície e zero no limite radicular considerado, para cada instante de tempo.

Em geral, a calibração foi efetuada a partir do condicionamento dos parâmetros de planta, ou seja, pelo ajuste do Kc, do índice de área foliar e pela distribuição da retirada de água pelas raízes das plantas, procurando-se observar o melhor ajuste entre as tensões diárias medidas em campo e simuladas pelo HYDRUS.

Essas considerações foram utilizadas igualmente para as duas áreas em estudo, A1, onde ocorreu o manejo técnico e A2, a qual seguiu apenas o empirismo e experiência do agricultor.

3.11.1. Área A1 – manejo técnico

Na tentativa de caracterizar e analisar o fluxo vertical, a cultura foi limitada a um período de 84 dias de observação (08.04.2005 a 30.06.2005), com análise diária dos parâmetros agroclimatológicos, agregando a lâmina de irrigação previamente calculada pelo agricultor aos valores de precipitação. O período de simulação coincidiu com todo o ciclo da cultura do repolho. O perfil foi analisado até a profundidade de 120 cm, desconsiderando a presença do lençol freático no local, segundo análise dos testes geofísicos desenvolvidos na área.

O processo de calibragem do modelo seguiu os ajustes descritos na seção 3.11.

Na discretização espacial do perfil, foram estabelecidas diferentes dimensões aos compartimentos das diversas camadas do perfil. Para calibragem, foram estabelecidos como nós de observação, as profundidades de 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm,

100 cm e 120 cm. O tensiômetro instalado a 120 cm apresentou defeito de operação e seus registros não foram considerados ma fase de calibração, limitando o perfil a 100 cm.

Várias simulações foram realizadas utilizando o modelo HYDRUS, como fase inicial, objetivando a caracterização da água no perfil. Essa análise se desenvolveu através da observação dos nós registrados em campo pelas réguas tensiométricas (10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 e 120 cm) e, daqueles propostos pela saída do modelo teórico, buscando-se uma adequada equivalência entre os valores medidos em campo e os valores simulados.

Foi admitida como hipótese que a evapotranspiração real, calculada pelo modelo, deve-se aproximar da evapotranspiração potencial, garantindo assim que não houve deficiência hídrica na planta, e que o manejo foi efetuado corretamente pelo agricultor.

A coluna foi dividida em duas regiões a partir dos horizontes de solo encontrados em campo, pela caracterização das camadas texturais. Todo o perfil foi caracterizado como de textura franco-arenosa para a simulação A, e em seguida, foi utilizada num modelo de redes neurais para avaliação dos parâmetros que melhor ajustassem as FTHs. Para a simulação B, o perfil foi dividido em camadas de 10 cm de espessura e dividida em duas sub-regiões principais: a zona radicular (0 - 40 cm) e a zona não radicular (40 – 100 cm). Para cada camada uma curva característica foi ajustada a pontos obtidos em laboratório.

3.11.2. Área A2 – manejo empírico-cultural local

A cultura foi limitada a um período de 72 dias de observação (19.04.2005 a 29.06.2005), com análise diária dos parâmetros agroclimatológicos, agregando a lâmina de irrigação empírica (determinada pela experiência do agricultor) aos valores de precipitação.

O processo de calibragem do modelo seguiu os ajustes descritos na seção 3.11.

O perfil foi analisado até a profundidade de 100 cm. A presença do lençol freático foi desconsiderada, mesmo com o posicionamento do lote sobre o leito do riacho temporário, já que o lençol encontrava-se a uma profundidade média de 3,50 metros.

Na discretização espacial do perfil, foram estabelecidas diferentes dimensões aos compartimentos das camadas do perfil. Foram estabelecidos nós de observação nas profundidades de 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm e 100 cm. Várias simulações foram realizadas utilizando o modelo HYDRUS, como fase inicial no objetivo da caracterização da movimentação da água no perfil vertical. Essa análise se desenvolve

através da observação dos nós registrados em campo pelas réguas tensiométricas (10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 e 120 cm) e do proposto pela saída do modelo teórico, ou seja, visando obter uma equivalência entre os valores medidos e os calculados.

A coluna foi dividida em três regiões a partir dos horizontes de solo identificados em campo, pela caracterização das camadas texturais. O perfil foi caracterizado como de textura franca (0-20 cm), franco arenoso (20-60 cm) e arenoso (60-100 cm), que posteriormente, foi utilizado como dado de entrada da simulação do tipo A. Para a simulação do tipo B, o perfil foi dividido em compartimentos de 10 cm de espessura, agrupados em camadas conforme a classificação textural descrita. Para cada camada uma curva característica foi ajustada em laboratório.

A mesma hipótese utilizada na área A1 foi aplicada para a área A2: a evapotranspiração real acumulada, calculada pelo modelo, deve se aproximar da evapotranspiração potencial, garantindo a efetividade do manejo do agricultor.

3.12. Proposição do gerenciamento dos recursos hídricos

3.12.1. Gestão participativa na área em estudo

Visando atender às demandas de organização institucional, trabalhou-se em um domínio maior com grupos de agricultores em várias comunidades da região. Dessa forma, não haveria centralização em apenas uma comunidade na representação das ações de gerenciamento. Para um estudo de gerenciamento local, o processo não poderia ser definido por apenas um grupo; por isso, as ações para o desenvolvimento da gestão participativa foram trabalhadas em três comunidades distintas da região: além do vale do Rio Mimoso, região de Mutuca; foram trabalhados os assentamentos rurais de Campo Alegre e a Fazenda Nossa Senhora do Rosário. As três áreas possuem em comum a prática da pequena agricultura irrigada, e são vulneráveis a problemas de escassez hídrica e de más práticas ambientais.

Uma nova concepção política tem sido implantada em todos os níveis organizacionais na convivência com o semi-árido. As ações de infra-estrutura emergenciais têm proporcionado maior espaço às ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos de forma integrada, participativa e descentralizada em apoio às ações dos órgãos gestores locais e estaduais (SECTMA). Neste contexto, procurou-se identificar e otimizar todas as

formas e usos da água, desenvolvendo mecanismos e estratégias que garantissem o gerenciamento integrado e minimizassem os conflitos naturalmente gerados pela escassez do recurso hídrico.

Neste contexto foram propostas reuniões e oficinas de difusão tecnológica e integração social, que propusessem o intercâmbio de informações, a compatibilização de ações estratégicas e diretrizes entre as instituições que têm por área de atuação as comunidades envolvidas.

As ações foram focadas em temas norteadores seguindo as demandas de saberes dos agricultores e de problemas locais. Os temas discutidos foram:

1. Armazenamento e uso doméstico da água;
2. Água para agricultura;
3. Manejo do solo para um maior aproveitamento e retenção de água;
4. Aspectos institucionais e organizacionais do manejo da água subterrânea.

Ao primeiro tema foram contextualizadas mensagens associadas à vinculação da qualidade da água a problemas de saúde e pela integração de experiências de soluções alternativas para o fornecimento de água de boa qualidade para o uso doméstico. Em um enfoque agrícola, foram abordados métodos e processos de economia hídrica na produção, como a implementação de sistemas otimizados de irrigação e o incentivo à agricultura de sequeiro, que interligam os temas 2 e 3. O último tema apresentou os aspectos institucionais e legais dos recursos hídricos como as legislações vigentes, direitos e deveres do usuário de água, a resolução de conflitos ligados a água e a importância da organização social em busca da sustentabilidade num âmbito ambiental, além do arranjo institucional existente.

Em uma ação paralela, foram identificados pelas respectivas comunidades representantes com perfis de liderança, os quais em encontros mensais, discutiram os resultados obtidos. Esse grupo de líderes recebeu o nome de Grupo Consultivo. Nestas reuniões, os anseios das comunidades foram considerados relevantes no planejamento de ações futuras. Ainda, tem-se neste grupo a função de difusor de informações em seqüência ao treinamento especializado de gerenciamento integrado de recursos hídricos ao qual são submetidos. Esta ação participativa teve o apoio de organizações não governamentais, gestores municipais e estaduais diretamente ligados ao processo, inseridos no âmbito do Projeto KaR (DFID/UFPE/UFRPE) (Montenegro et al., 2005b).

Em outro plano, está a formação de agentes multiplicadores, através do treinamento num enfoque ambiental e de conservação dos recursos hídricos, dos agentes de saúde e dos professores da rede pública de ensino fundamental. Esse processo foi desenvolvido a partir de treinamento específico para professores e agentes de saúde, e pela integração de membros da comunidade em campanhas de monitoramento de variáveis. Esses indivíduos receberam destaque por possuírem educação escolar não elementar, diferente de grande parte da comunidade.

Atuando na integração de ações sociais com desenvolvimento técnico, a formação de recursos humanos foi conduzida considerando lotes piloto demonstrativos de irrigação localizada, com equipamentos de medição agrometerológica, como tanques evaporimétricos e pluviômetros, operados diretamente pelos agricultores. Adicionalmente, unidades foram instaladas nas escolas públicas de ensino fundamental e médio.

3.12.2. Gestão participativa – exemplo em lote irrigado

A participação da população foi dada a partir da inserção do agricultor nas atividades técnicas em diferentes níveis. Inicialmente um trabalho de conscientização foi desenvolvido e a discussão de conceitos de manejo integradas ao dia a dia da irrigação. Parte desse treinamento também foi procedida, além de outros conceitos nas oficinas temáticas.

O processo de conscientização foi desenvolvido respeitando a abertura tecnológica e a experiência do agricultor, inserindo-se conceitos de preservação de água e solo, estrutura do solo, movimento de água no solo, até se atingir um adequado manejo. O contexto das discussões esteve sempre diretamente ligado à problemática local dos lotes irrigados. Buscou-se então, incentivar a utilização de métodos de irrigação com menor consumo de água, seleção de culturas em consonância com a qualidade da água disponível, aplicação da quantidade de água adequada à necessidade das culturas, horário correto para a irrigação, diminuição do efeito da evaporação por utilização de cobertura morta e barreiras, controle da salinização, etc.

O agricultor irrigante recebeu orientação da importância do monitoramento agrometerológico para a otimização de sua produção. Assim, o monitoramento foi efetuado de forma simples, através da participação do indivíduo em leituras de evaporação,

precipitação e o manejo da irrigação era desenvolvido pelo produtor sob orientação técnica.

Conceitos de fluxo subterrâneo foram também tratados e visualizados através das réguas tensiométricas instaladas nos lotes irrigados.

Testes de lâmina de irrigação foram executados com a participação do agricultor em todos os lotes irrigados, objetivando desenvolver a percepção de consumo hídrico vinculado ao sistema de irrigação.

O agricultor preencheu inicialmente planilhas propostas de monitoramento, e posteriormente seguiu o modelo inicial, desenvolvendo suas próprias planilhas de registros pluviométricos e evaporimétricos, como também de tensiometria diários. Esse processo foi enriquecido por explicações técnicas da importância dos registros.

Um dos propósitos foi a criação de áreas reconhecidas como áreas demonstrativas pela instalação de módulos de irrigação, que proporcionem a comunidade o interesse na adoção de novas práticas otimizadas e pratique estas tecnologias em suas propriedades diminuindo os processos que danificam o meio ambiente pela contaminação do lençol freático. Nesses lotes o manejo foi incentivado de forma que o principal executor das ações tenha sido o agricultor local. Nessas áreas, módulos experimentais de baixo custo e de baixo consumo hídrico, como a microaspersão, foram implantados a fim de despertar o interesse da comunidade em geral na implementação de novas tecnologias.

3.13. Aplicação do modelo de análise SWOT

A aplicação da análise SWOT permitiu captar as informações ambientais e técnicas da área em estudo, bem como avaliar as ferramentas utilizadas para essa identificação. Em seguida, através da separação dos fatores internos (forças e fraquezas) e externos (oportunidades e ameaças) é possível identificar a potencialidade dessas ferramentas dentro do ambiente em estudo, para posterior planejamento quanto a ações gestoras e táticas.

O ambiente interno pode ser controlado pelos componentes internos do sistema, já que é resultado de estratégias de atuação definidas pelo grupo de ação. Desta forma, quando é perceptível um ponto forte na análise, essa deve ser ressaltada e, ou reforçada; quando são notórias as fraquezas, deve-se agir para obtenção de seu controle, ou pelo menos com vistas a minimizar seu efeito.

Já o sistema não possui controle do ambiente externo, mas apresenta a necessidade de conhecê-lo. Apesar de não ser possível controlá-lo, é possível monitorá-lo e procurar aproveitar as oportunidades da maneira mais ágil e eficiente e evitar as ameaças sempre quando possível. Diversos fatores externos ao sistema podem afetar seu desempenho. E as mudanças no ambiente externo podem representar oportunidades ou ameaças ao desenvolvimento do planejamento do sistema ou organização.

A análise da situação deve ser considerado não apenas o que está sendo sinalizado como uma alternativa de cenário, mas também a probabilidade de que aquele cenário se transforme em realidade. Esta análise de cenários deve ser permanente, porque o ambiente externo é muito dinâmico e sofre alterações constantemente, sendo necessário adaptar-se a estas mudanças, aproveitando as oportunidades e, ou, enfrentando as ameaças.

Da mesma maneira que ocorre em relação ao ambiente externo, o ambiente interno deve ser monitorado permanentemente (Goldschmidt, 2003).

De imediato, é importante fazer uma relação do que deve ser monitorado. Em seguida, avaliar a eficiência e qualidade desses parâmetros. Quando se têm definidas quais são as áreas de maior importância e quais as áreas que são consideradas fraquezas do sistema em avaliação, torna-se fácil decidir onde devem ser alocados os esforços para melhoria, já que não seria possível investir em todas as áreas ao mesmo tempo.

Depois de se ter realizado uma análise SWOT, a organização pode estabelecer metas de melhoria dos itens que tenham sido considerados prioritários e de baixo desempenho; estabelecer metas relacionadas à forma de atuação no que diz respeito ao aproveitamento de oportunidades; e estabelecer quais as ações que serão importantes para evitar os efeitos de eventuais ameaças.

A promoção de uma correlação entre as forças identificadas no ambiente interno e das oportunidades observadas no ambiente externo é um passo fundamental na obtenção de sucesso das metas observadas no planejamento estratégico; da mesma maneira, deve-se buscar a desconexão entre as fraquezas e as ameaças de maneira a diminuir o potencial de danos dentro dos resultados buscados.

Estas metas serão a base do planejamento de atividades da organização e a garantia de sustentabilidade pela previsão e potencialidade adicionadas as incertezas do sistema aplicado.

A análise SWOT foi desenvolvida neste trabalho como ferramenta para discussão e avaliação da integração de modelos matemáticos, como o HYDRUS, como elementos de suporte a processos de gestão, entre eles a gestão participativa.

3.13.1. Strengths – Forças

Considerando o fato que o fluxo da água em solos não saturados sob culturas irrigadas é altamente dinâmico devido às variações das grandes taxas de infiltração e no escoamento sub-superficial rápido da drenagem, os modelos matemáticos predizem, com precisão relativamente elevada, a umidade do solo e os perfis transientes de salinidade no solo. Com a habilidade de descrever os processos físicos no solo, os modelos são aplicáveis para a quantificação das condições naturais das operações de sistemas de irrigação e para avaliar os efeitos do manejo.

A evapotranspiração, por exemplo, pode ser identificada como importante componente hídrico do sistema solo-água-planta-atmosfera e de forte influência na determinação do manejo adequado. Uma vez avaliada a interferência desse fator no sistema, pode-se representar numericamente o atendimento da demanda da cultura pelo volume de água complementar pela irrigação.

O primeiro atrativo da utilização de simulações como ferramenta de gestão é determinado pela possibilidade da variação de parâmetros singulares ou em conjunto com a criação de cenários e problemas futuros. Alguns modelos de simulação numérica na zona vadosa, como o HYDRUS, podem se apresentar como a base de sistemas de suporte a decisão tanto em escalas locais quanto regionais. As simulações dos diferentes cenários virão a representar critérios alternativos, e, ou ferramenta para gestão, principalmente dos recursos hídricos, identificando os pontos estratégicos de ação e projetando objetivos.

Na vista da necessidade de planejamento de processos que atendam a demanda, de forma associada entre os dados espaciais e temporais, o modelo HYDRUS 1D deverá ser considerado como veículo preliminar de gerência por ser suportado e dirigido por bases de dados espaciais apenas unidirecionais, tratando a área como representada por uma única coluna de solo e, portanto, sem variabilidade espacial no plano.

3.13.2. Weakness – Fraquezas

A maior dificuldade em modelar o fluxo não saturado é a solicitação elevada do número de parâmetros do solo e da planta, o que freqüentemente permite obter um ajuste não muito robusto e uma calibração não singular desse conjunto. É necessário utilizar a experiência do operador do modelo na avaliação do tipo e a quantidade de parâmetros que podem ser coletados a priori, e posteriormente complementar a calibração com o ajuste do segundo grupo de parâmetros.

O HYDRUS oferece as ferramentas necessárias para otimização numérica de parâmetros, como no uso das funções de transferência hidropedológica. Entretanto não há garantias de calibração, principalmente no caso em que os valores utilizados como referência estão sujeitos a erros de medição não garantindo segurança dos valores. Logo, o modelo só apresentará cenários seguros se houver garantia dos valores de calibração. Ainda, quanto à obtenção de parâmetros para calibração, é importante ressaltar o custo envolvido em atividades de coleta de informações in loco e análises laboratoriais.

3.13.3. Opportunities – Oportunidades

Anterior a qualquer ação junto aos gestores e usuários dos recursos naturais, em especial os recursos hídricos, tentou-se desenvolver uma abertura cultural para aceitar alterações dos paradigmas contrapostos de constante abundância e escassez hídrica, quando relacionados ao ambiente semi-árido. Aos momentos de grande oferta, devem ser incentivadas posturas de economia e armazenamento que atendam a demandas futuras dos períodos de baixa oferta hídrica principalmente vinculadas à sustentabilidade das atividades nos períodos de seca, sem redução da produtividade.

Com a oportunidade oferecida pelo usuário em aplicar a nova tecnologia – em forma de modelos ou de novas tecnologias, e uma compreensão melhor dos processos físicos naturais, foi possível trabalhar na operação de tais sistemas de forma integrada e determinística. O emprego desses sistemas numéricos como metodologias, apresentaram um grau de confiabilidade pequeno, mas de crescimento positivo e lento em aplicações práticas. Entretanto é necessária a oportunidade de extensão dessas informações ao grupo gestor local.

Ainda há uma grande oportunidade de se mostrar como a aplicação de modelos de fluxo combinados à prática de irrigação no âmbito científico e comercial pode crescer, para demonstrar como encontrar soluções ótimas com as várias ferramentas que estão disponíveis.

O desenvolvimento e a melhoria dos métodos de transferência de tecnologia do ambiente da pesquisa ao ambiente da política e da gerência – especialmente entre centros de pesquisa e de usuários – são cruciais. Modelar os processos que mostram impactos da falta da água em meios de subsistência e identificação das melhores soluções deve tornar-se comum dentro do processo de planejamento na bacia, no esquema organizacional e nos níveis de associação de usuários de água.

A irrigação pode impactar os meios de subsistência de comunidades pobres em diversas maneiras. Tais impactos não afetam tão somente diretamente na renda e no nível de nutrição, mas também nas outras dimensões que esses grupos percebem como aspectos importantes da pobreza: a vulnerabilidade a instabilidades econômicas, o acesso limitado a recursos e a privação do status social que se encerra quando o indivíduo passa a ser informado e incluído na tomada de decisão.

3.13.4. Threats – Ameaças

À parte do problema econômico-político, o ponto inicial para a aplicação extensiva de um modelo para suporte a um programa de gestão, é necessário ainda a aproximação entre o operador, os tomadores de decisão e a comunidade para suportar e facilitar a execução local da tecnologia. Uma possível solução a esse problema é o estabelecimento ou o restabelecimento de programas de treinamento intensivos e extensionistas, que proporcionem o desenvolvimento de ações integradoras entre os criadores dos softwares, os operadores e os grupos de usuários das comunidades que os aplicarão.

Há uma pequena sustentação pública para obter a permanência dessas ações e aplicações in loco, principalmente dos modelos de fluxo em zona não saturada, como é o caso. Os modelos são de difícil aplicação pelos motivos já discutidos no item (3.13.2).

O desafio maior é estreitar os caminhos entre o operador do modelo e o usuário final, como os agricultores irrigantes. Entretanto, deve-se colocar como desafio, a criação de modelos mais versáteis e de fácil aplicação em ambientes de políticas públicas, que

atendam circunstâncias sociais, econômicas e físicas diferentes e que sejam aplicados nos ambientes que têm a disponibilidade pobre ou limitada de dados. Se não ocorrer assim, a comunidade irrigante continuará a ignorar essas ferramentas por não atenderem ao ponto inicial de aplicação.

Uma ameaça a estreitar os laços entre o operador e o usuário é a falta de recompensa aos pesquisadores que devotam o tempo e o esforço a melhorar a execução desses modelos. Esses operadores não são recompensados e não são avaliados à mesma extensão que aqueles que desenvolvem os modelos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Manejo da irrigação

Testes de lâmina foram desenvolvidos nas áreas. No sistema de aspersão convencional instalado na área A1, foi estimada uma taxa de 10,1 mm/h. Nos sistemas de microaspersão das áreas A2 e A3 foram estimados, respectivamente, 3,63 mm/h e 4,14 mm/h.

Como discutido na seção (3.5), o manejo da irrigação foi calculado a partir das leituras de precipitação em pluviômetro e evaporação em Tanque Classe A (Figura 4.1).

As Figuras 4.2, 4.3, 4.4 ilustram a efetividade do manejo, através da representação gráfica da demanda da cultura não atendida pela precipitação e a lâmina aplicada. Os dias de demanda igual a zero, indicam que houve ocorrência de precipitação, e que a necessidade da cultura foi atendida.

Apenas a área A1 seguiu a orientação de irrigação noturna e com tempo controlado, segundo o cálculo apresentado na seção 3.5. As outras áreas foram irrigadas em horários e tempos aleatórios, seguindo apenas a experiência do agricultor.

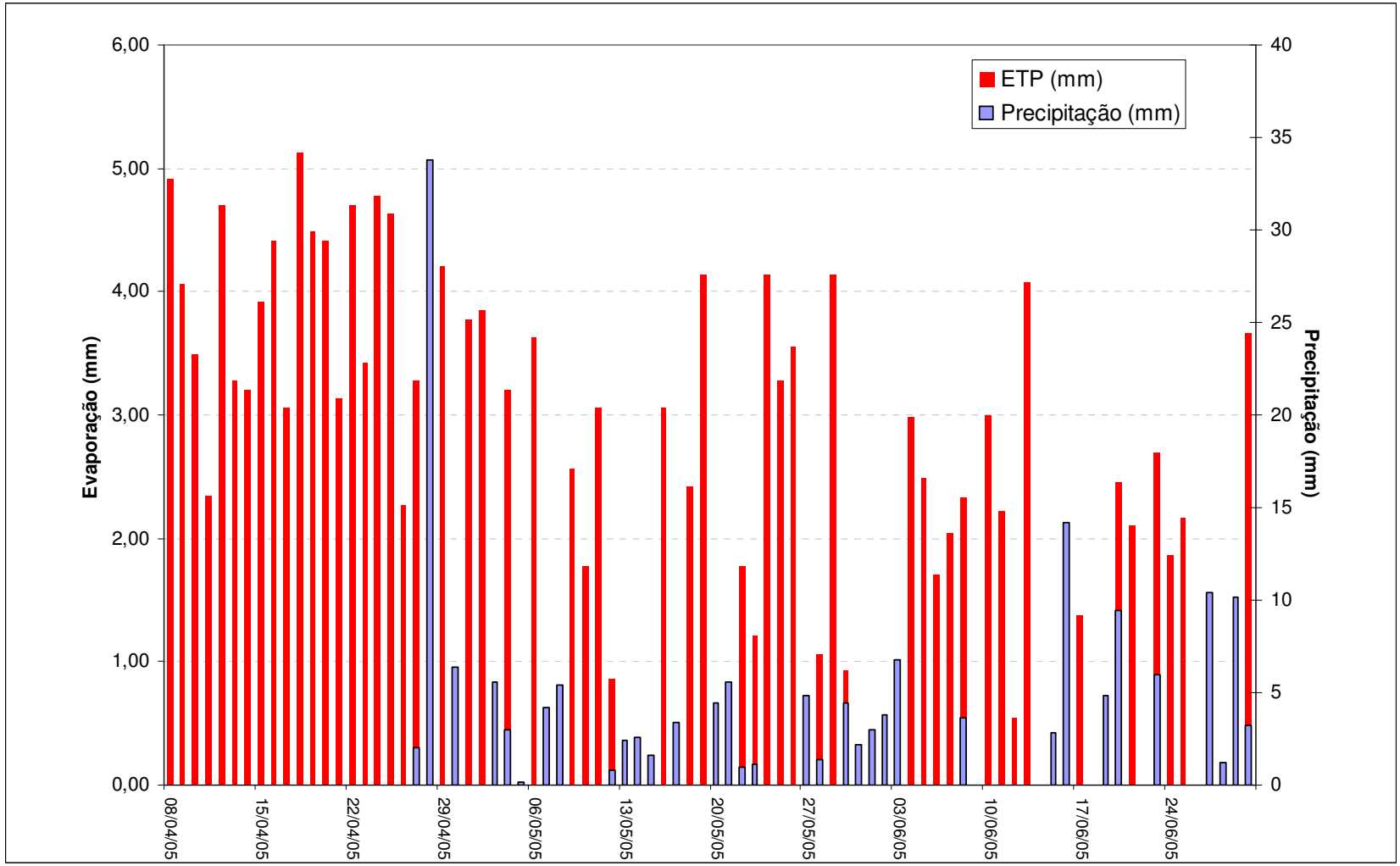

Figura 4.1. Evapotranspiração potencial e precipitação, em mm, para o período de avaliação (08.04.2005 a 30.06.2005).

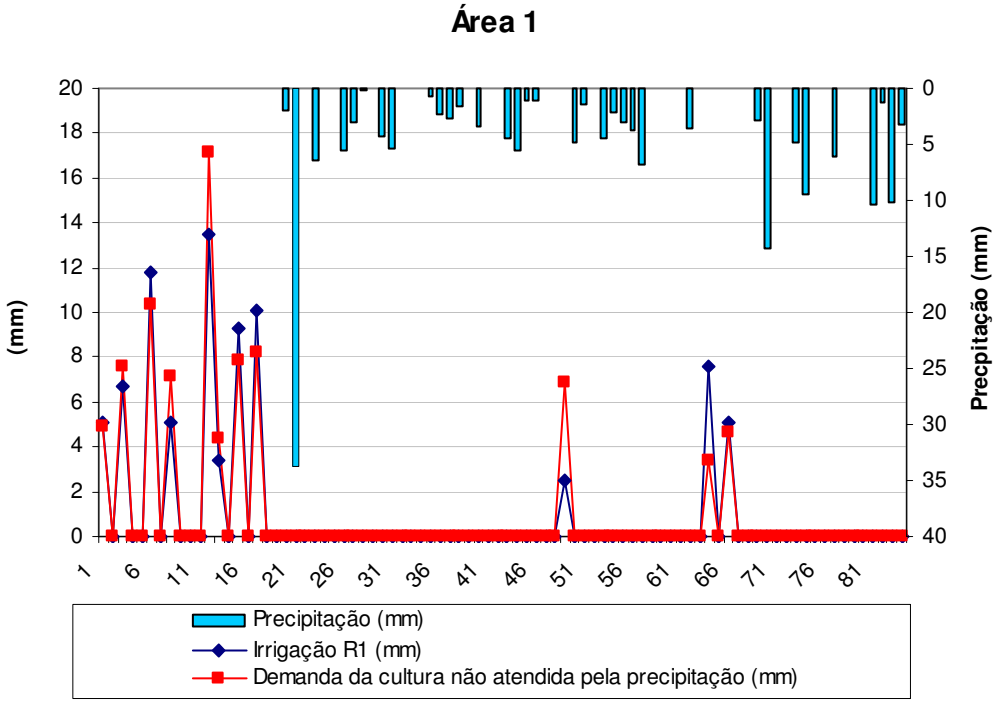

Figura 4.2. Lâmina de irrigação aplicada e demanda hídrica da cultura do repolho, não atendida pela precipitação, na área A1, no dia da aplicação.

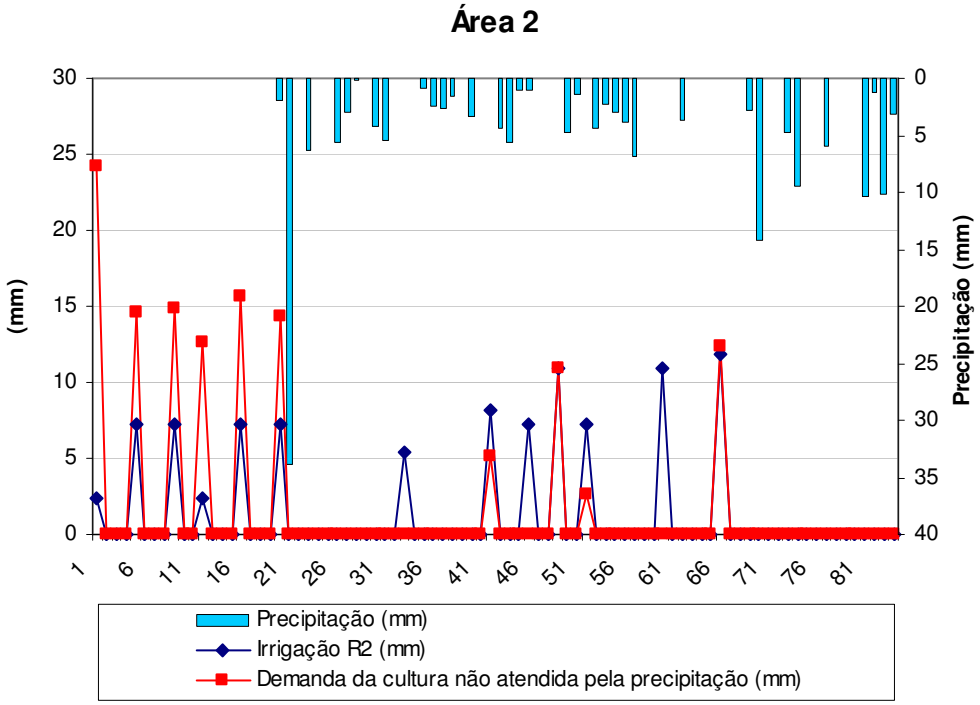

Figura 4.3. Lâmina de irrigação aplicada e demanda hídrica da cultura do repolho, não atendida pela precipitação, na área A2, no dia da aplicação.

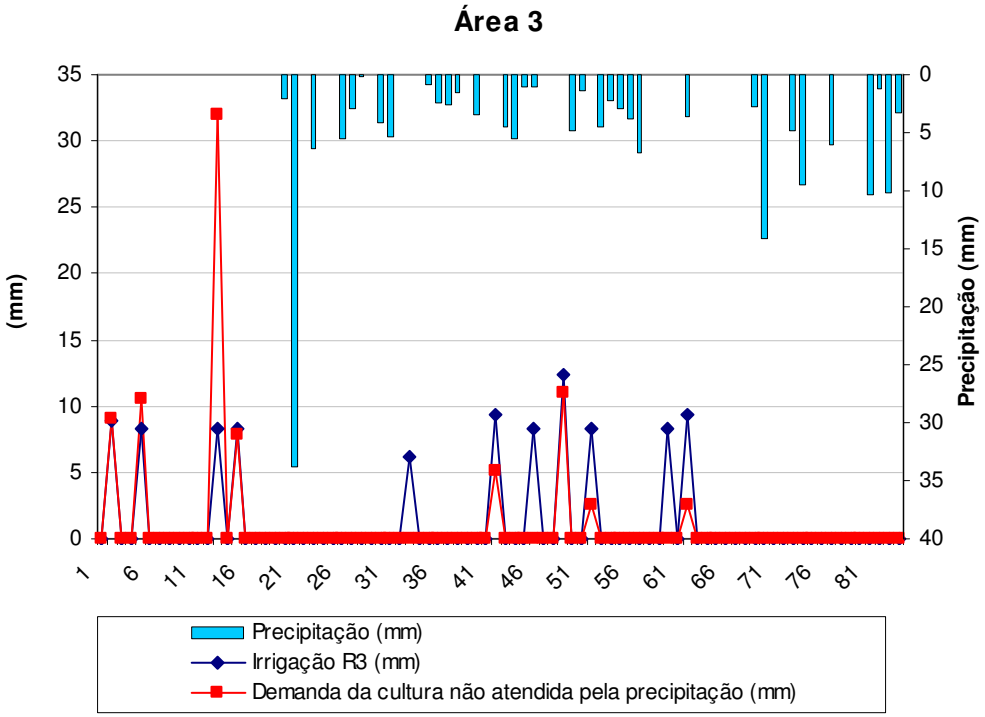

Figura 4.4. Lâmina de irrigação aplicada e demanda hídrica da cultura do repolho, não atendida pela precipitação, na área A3, no dia da aplicação.

A Figura 4.2 apresenta a área com manejo orientado pelos registros de precipitação, pelo pluviômetro e evaporação pelo Tanque Classe A. É possível observar que a demanda é normalmente atendida, verificando a ocorrência leve de estresse hídrico da cultura na fase de crescimento. É observada no fim do período a ocorrência da irrigação, mesmo havendo demanda nula da cultura, por esta ter sido atendida pelos eventos de chuva. Atribui-se a essa irrigação à falha do agricultor em seguir o manejo.

Nas Figuras 4.3 e 4.4, onde o manejo da irrigação seguiu apenas a experiência do irrigante, observa-se grande estresse hídrico no período inicial da cultura e, no fim do período, oferta hídrica pela irrigação mesmo sem demanda pela cultura, devido a existência de índices de precipitação nesse período.

Em geral, a experiência do agricultor atende a demanda total da cultura, entretanto não há qualquer preocupação com a distribuição temporal da aplicação da irrigação, causando grandes estresses desnecessários e aplicação de lâminas de irrigação em dias úmidos.

Na avaliação do volume total de água utilizado na irrigação, as três áreas apresentam valores semelhantes, mas apenas a área A1 apresenta uma certa uniformidade na distribuição destes (Figura 4.5).

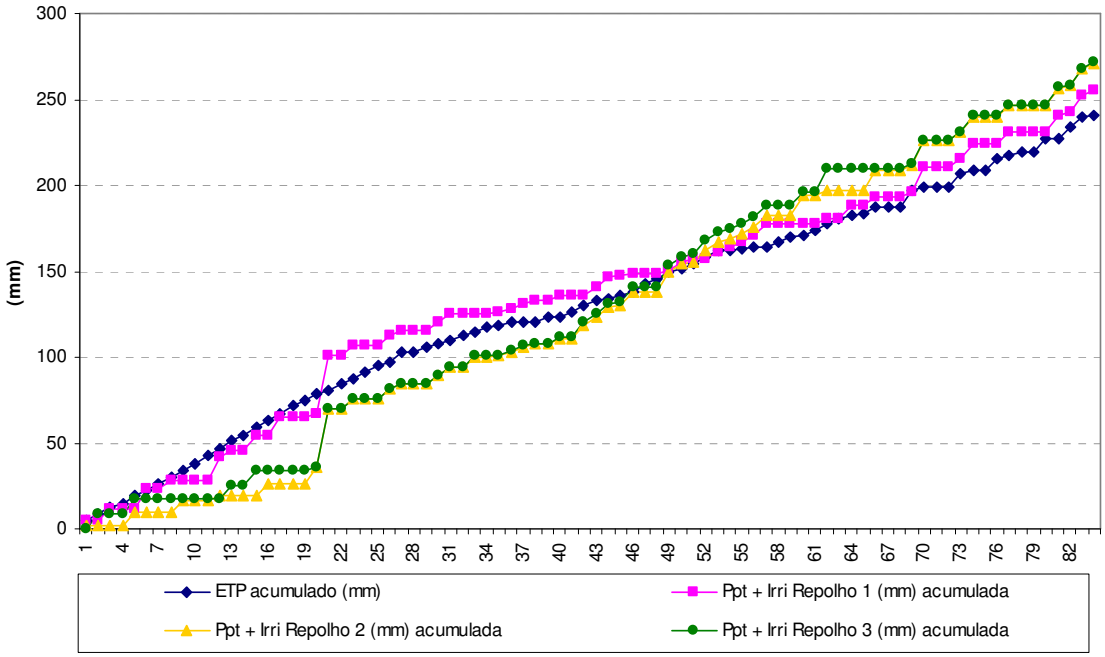

Figura 4.5. Valores acumulados de oferta e demanda hídrica nas três áreas irrigadas.

Em termos numéricos, na área A1 apresentou um déficit hídrico em volume de 2,9%, quando comparado o valor acumulado da demanda hídrica total da planta e a oferta por irrigação ou precipitação. Na área A2 o déficit foi de 25,02%, e na área A3 ocorreu um desperdício de 19,06% do volume total demandado.

4.2. Curva característica

A curva característica foi determinada em laboratório a duas profundidades decorrente da análise da textura única da área A1. Para a área A1, o perfil foi discretizado em duas camadas distintas, a zona radicular (0 a 40 cm) e a zona não radicular (40 a 100 cm), já que a investigação textural identificou um perfil preenchido por apenas areia franca. Posteriormente, as curvas foram ajustadas às funções de Brooks e Corey (1964) e van Genuchten (1980), relacionando o potencial matricial do solo (cm) com a umidade

volumétrica (cm^3/cm^3). Entretanto, os melhores ajustes foram atribuídos às funções de van Genuchten (1980) (Figura 4.6).

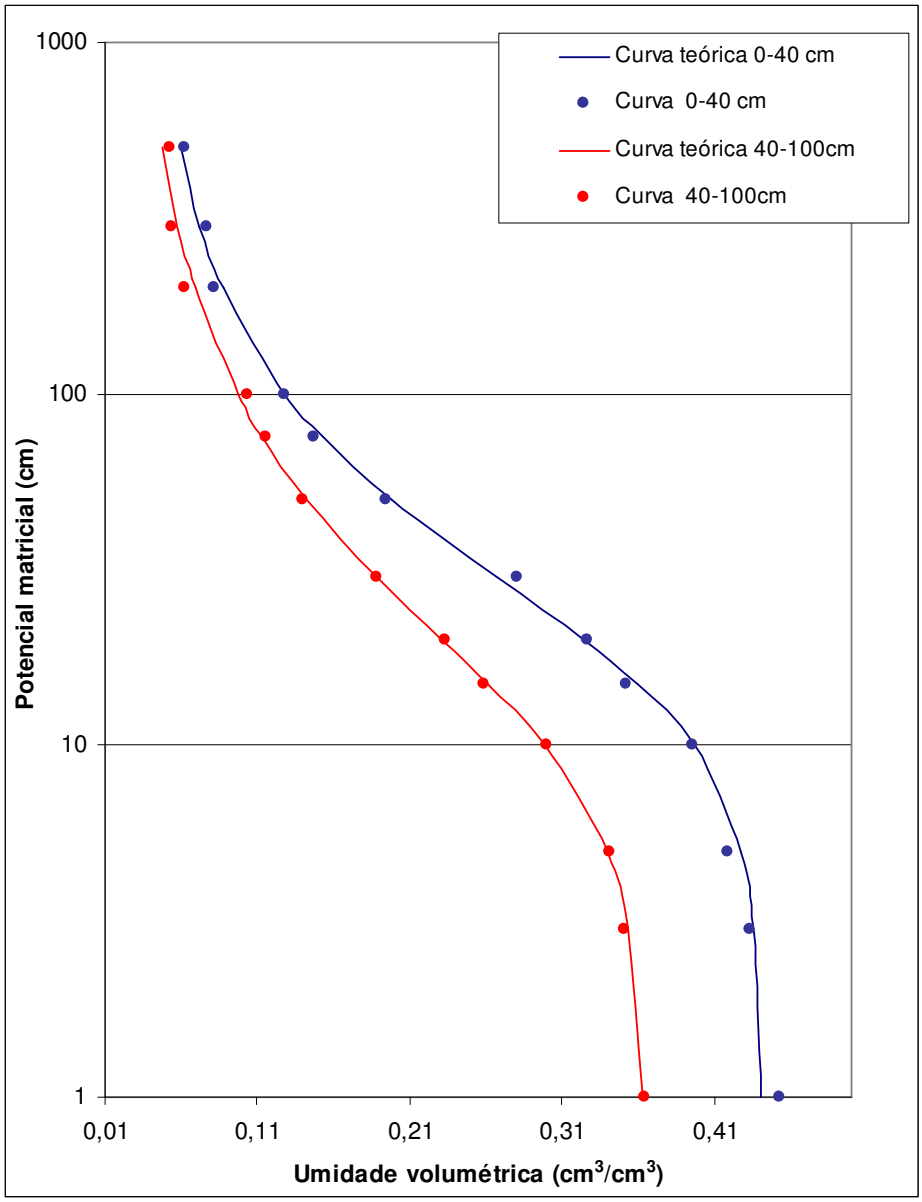

Figura 4.6. Curvas características de retenção de umidade da área A1.

Para a área A2, o perfil foi discretizado em três camadas distintas baseado na distribuição das texturas ao longo do perfil. Posteriormente, as curvas foram ajustadas à equação de van Genuchten (1980) (Equação 2.16), relacionando o potencial matricial do solo (cm) com a umidade volumétrica (cm^3/cm^3) (Figura 4.7).

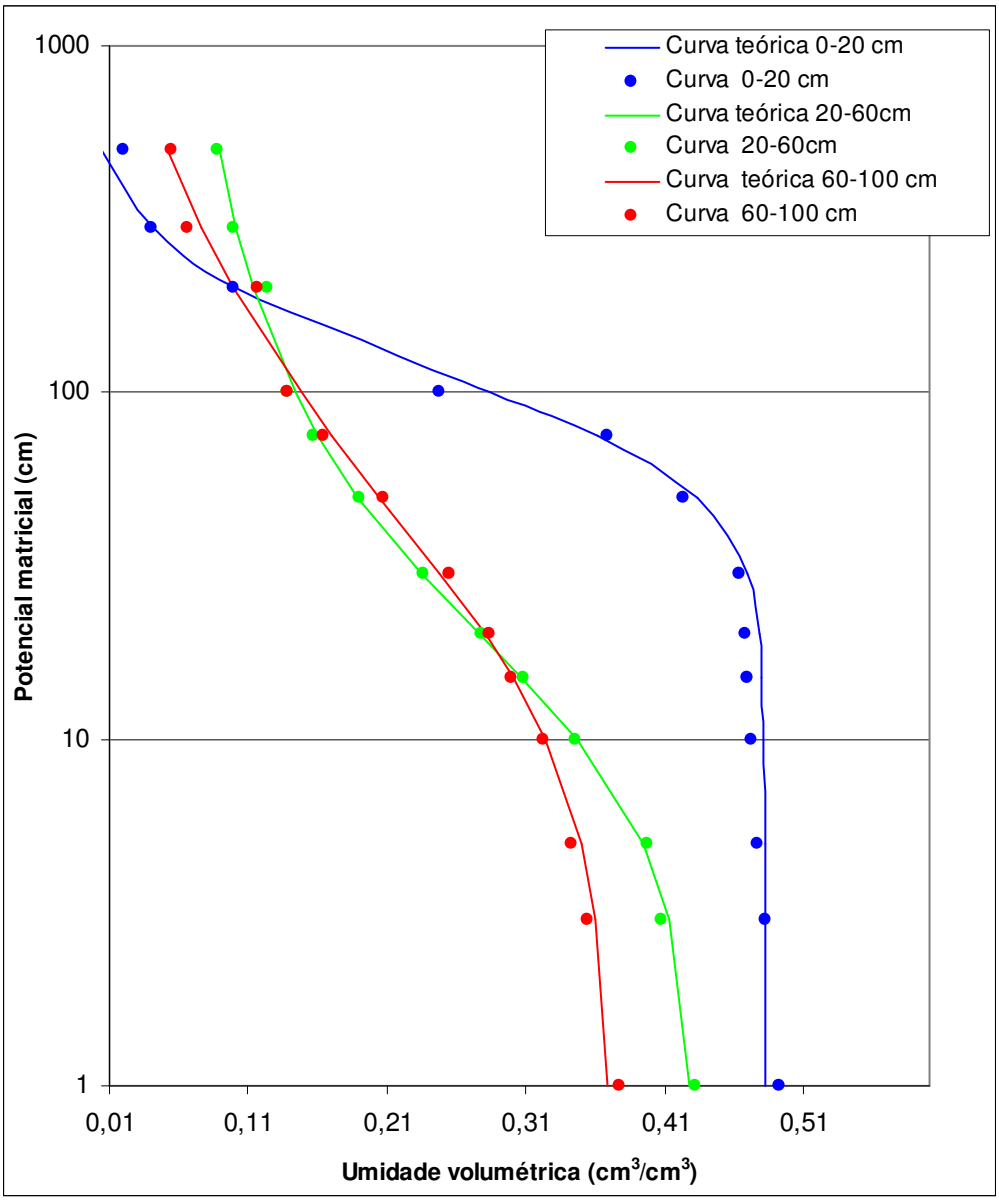

Figura 4.7. Curvas características de retenção de umidade da área A2.

Os parâmetros encontrados no ajuste, para as áreas A1 e A2, estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Parâmetros encontrados para caracterização do perfil de solo nas áreas A1 e A2, segundo van Genuchten (1980).

ÁREA A1	θr	θs	α	n	Coeficiente de correlação do ajuste (R)
Profundidade 0-40cm	0,03897	0,44096	0,051341	1,908411	0,9989
Profundidade 40 – 100 cm	0,02712	0,36408	0,078321	1,758086	0,9995
ÁREA A2					
Profundidade 0- 20cm	0,02115	0,481438	0,010631	1,775804	0,9741
Profundidade 20- 60cm	0,06047	0,430385	0,094595	1,661578	0,9993
Profundidade 60 – 100 cm	0,06843	0,370300	0,060700	1,380498	0,9975

4.3. Simulações computacionais

As simulações com o modelo HYDRUS 1D permitiram a comparação das tensões matriciais, medidas em campo, com as calculadas pelo modelo nos 84 dias do experimento conduzido na área A1, e nos 72 dias de experimento da área A2, como descrito nas seções (3.11.1) e (3.11.2).

4.3.1. Experimento na área A1

Nas simulações com o modelo HYDRUS 1D foi possível comparar as tensões matriciais medidas em campo pelo agricultor, com as obtidas pelo modelo, no período de 84 dias, para calibração. Nas simulações do modelo para a área A1, a calibração seguindo as simulações do tipo B, utilizando os parâmetros de ajuste da curva característica de van Genuchten, apresentaram melhores ajustes quando comparadas à utilização das funções de transferência hidropedológicas – FTHs propostas pela simulação tipo A.

Verifica-se em todas as análises que a entrada de valores únicos diários apresenta sempre melhor ajuste quando as informações hidrológicas e o potencial são consideradas variáveis pontuais ao longo do dia, como discutido na seção (3.11).

A Figura 4.8 ilustra os potenciais medidos e calculados no compartimento mais superficial, susceptível a grandes variações por ações de superfície e de evaporação. Nesse compartimento são percebidos picos de seca entre o 30º e o 40º dias, que voltam a ocorrer no fim do período entre o 70º e 80º dias. Esses picos de secagem podem ser atribuídos ao mau funcionamento dos tensiômetros em campo, por má vedação do sistema. No detalhamento da Figura 4.8, com potenciais até -140 cm, verifica-se acompanhamento de picos de umidade em grande parte dos dias, ocorrendo sobreposição em alguns períodos.

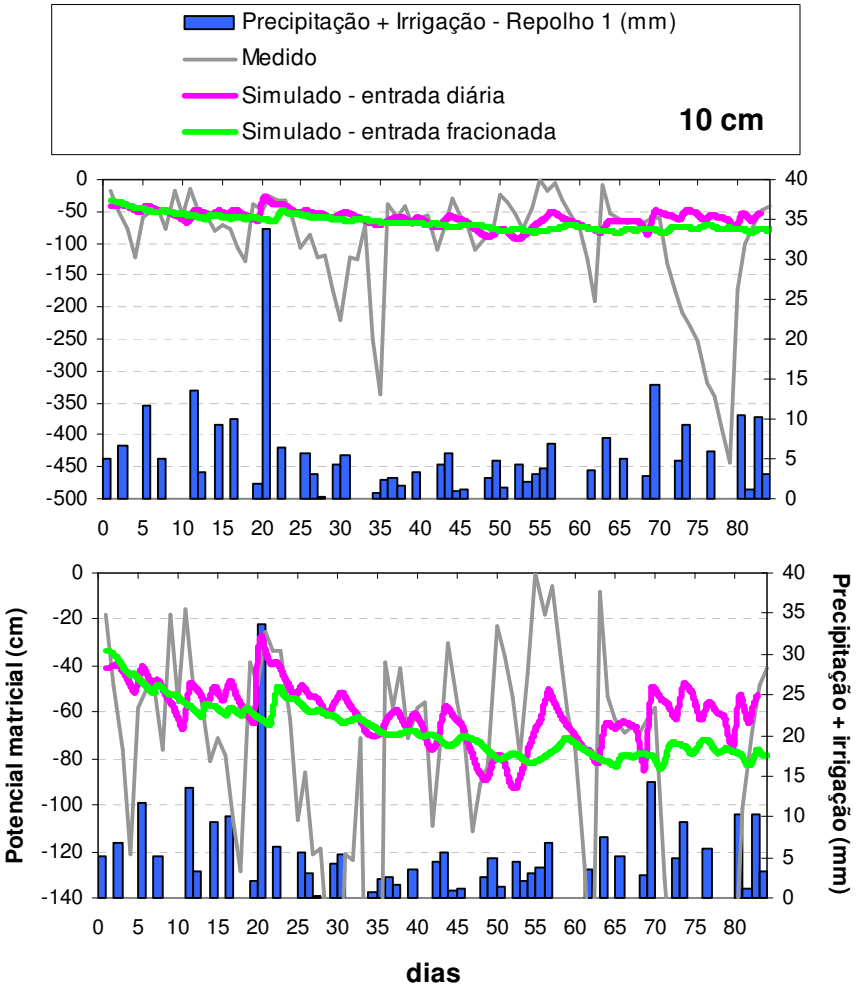

Figura 4.8. Verificação dos potenciais matriciais a 10 cm de profundidade. Destaque para os valores maiores que -140 cm., na área A1.

A Figura 4.9 ilustra as tensões medidas e simuladas nos quatro compartimentos que preenchem a zona radicular, a partir das tensões às profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm, sucessivamente.

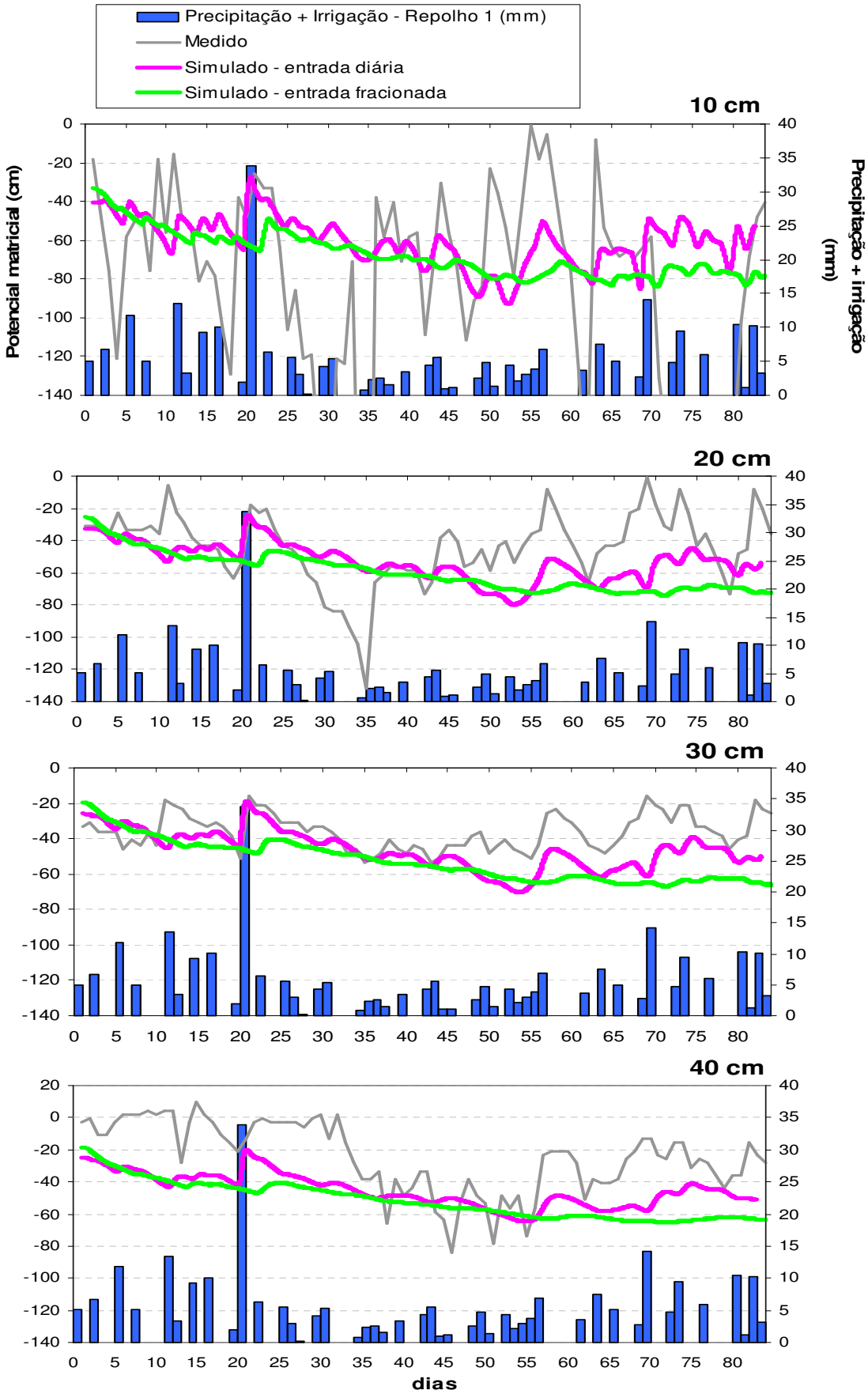

Figura 4.9. Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, ao longo da zona radicular. Nós de observação a 10 cm, 20 cm, 30 cm e 40 cm, na área A1.

No compartimento mais superficial é notória a interferência da ação da evaporação e da heterogeneidade do meio por ações antrópicas e de cultivo. Nas camadas superficiais, até 40 cm, observa-se a redução dos picos de umedecimento e de secamento da superfície às camadas mais profundas. A existência desses picos pode ser atribuída a uma maior interferência da evaporação em relação ao processo de infiltração para as camadas subseqüentes. A ação da evaporação é determinante principalmente quando avalia-se a baixa instabilidade da umidade nas camadas a 30 cm e 40 cm de profundidade. Ainda deve-se considerar a variação da taxa de retirada de água pelas raízes que também decresce com a profundidade.

Em toda zona radicular, o modelo normalmente acompanha os momentos de ascensão, acompanhando a tendência. No final do período de observação, os valores medidos se apresentam sempre menores que os calculados pelo modelo.

Entre os compartimentos 6 e 7, o modelo consegue uma aproximação dos valores reais até a primeira metade do período. As medições dos dados reais pelo tensiômetro após o 40º dia apresentam falhas, devido ao mau funcionamento do dispositivo (Figura 4.10).

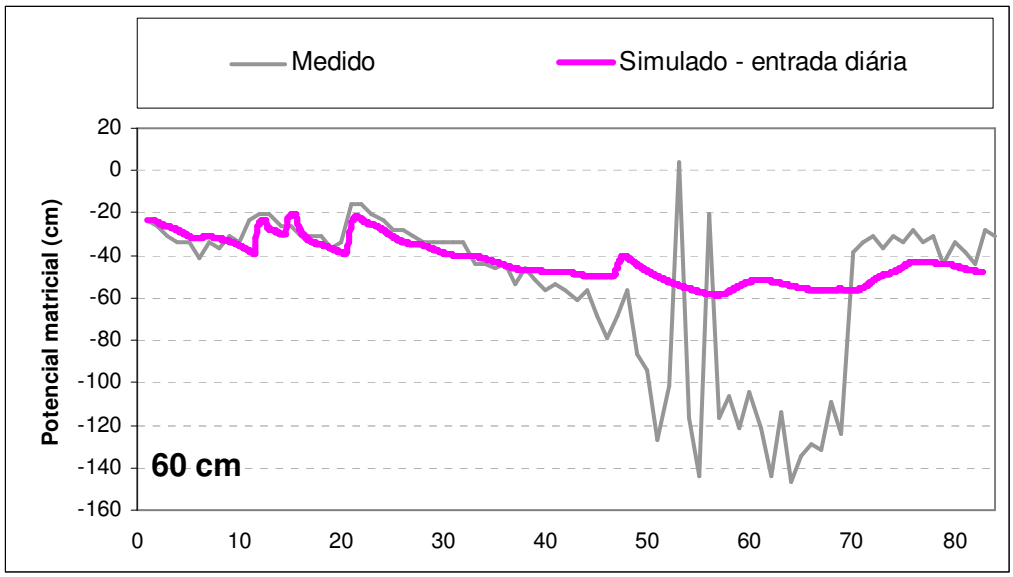

Figura 4.10. Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, abaixo da zona radicular. Nó de observação a 60 cm, na área A1.

Na Figura 4.11, que representa as tensões entre os compartimentos 8 e 9, o modelo sobrepõe alguns valores e subestima outros, principalmente na primeira metade do ciclo. A

partir do 4º dia, o modelo alcança os valores médios das tensões a essa profundidade, sem atender aos picos de umedecimento e, ou, secagem.

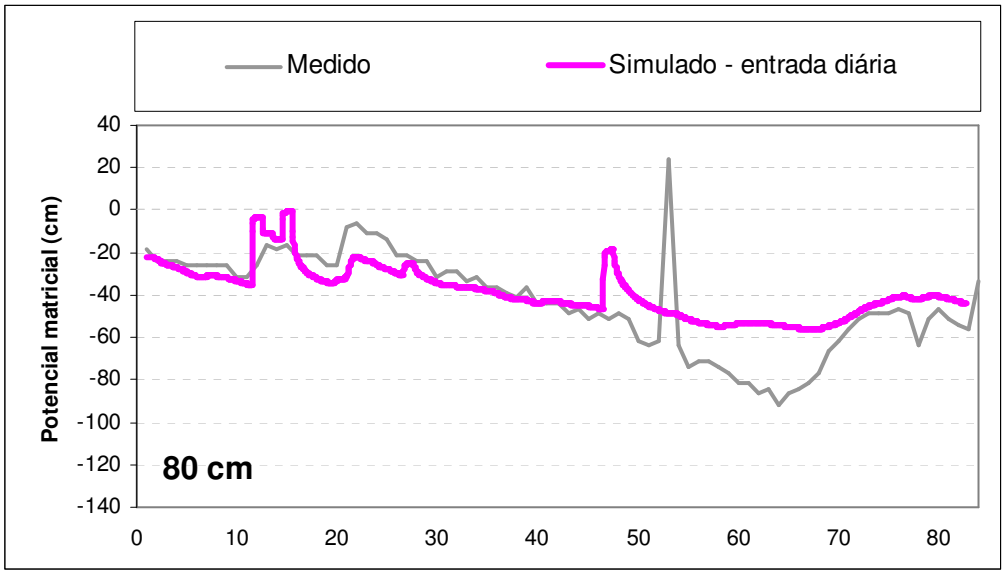

Figura 4.11. Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, abaixo da zona radicular. Nó de observação a 80 cm, na área A1.

Após a fase de calibração, avaliou-se a eficiência do manejo de irrigação através da comparação das alturas de transpiração real acumulada e transpiração potencial acumulada, obtidas através das simulações com o HYDRUS.

Atendendo a hipótese inicial, o modelo calculou valores acumulados potenciais que se igualaram aos valores acumulados reais até o 20º dia do período de observação. A partir deste momento, os valores potenciais, levemente, superaram os reais, mas seguindo a mesma tendência comportamental (Figura 4.12). Isso representa a efetividade do manejo praticado pelo agricultor, atendendo às necessidades de planta ao longo do período, sob orientação técnica.

A Figura 4.13 mostra a lâmina de evapotranspiração real acumulada, a lâmina potencial acumulada, a transpiração real da planta e a evaporação do solo nu. É possível observar que a contribuição da evaporação do solo nu supera a da transpiração real da planta, provavelmente pela influência do baixo índice de área foliar, e o funcionamento irregular fitológico causados por pragas, que pode ter alterado o Kc da planta ao longo do período de observação.

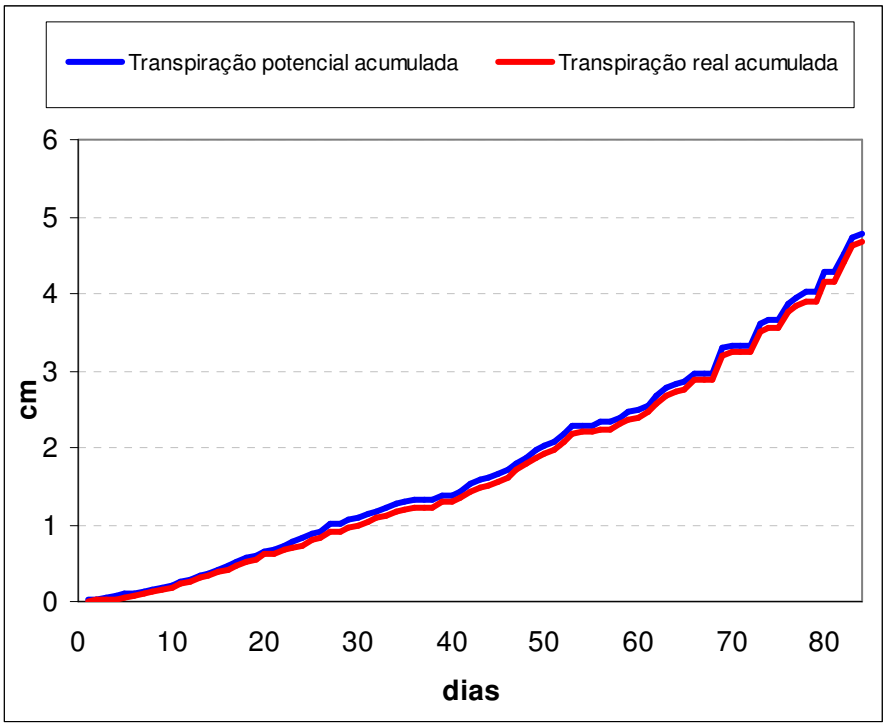

Figura 4.12. Evolução da transpiração real e transpiração potencial acumuladas, para o período de observação, na área A1.

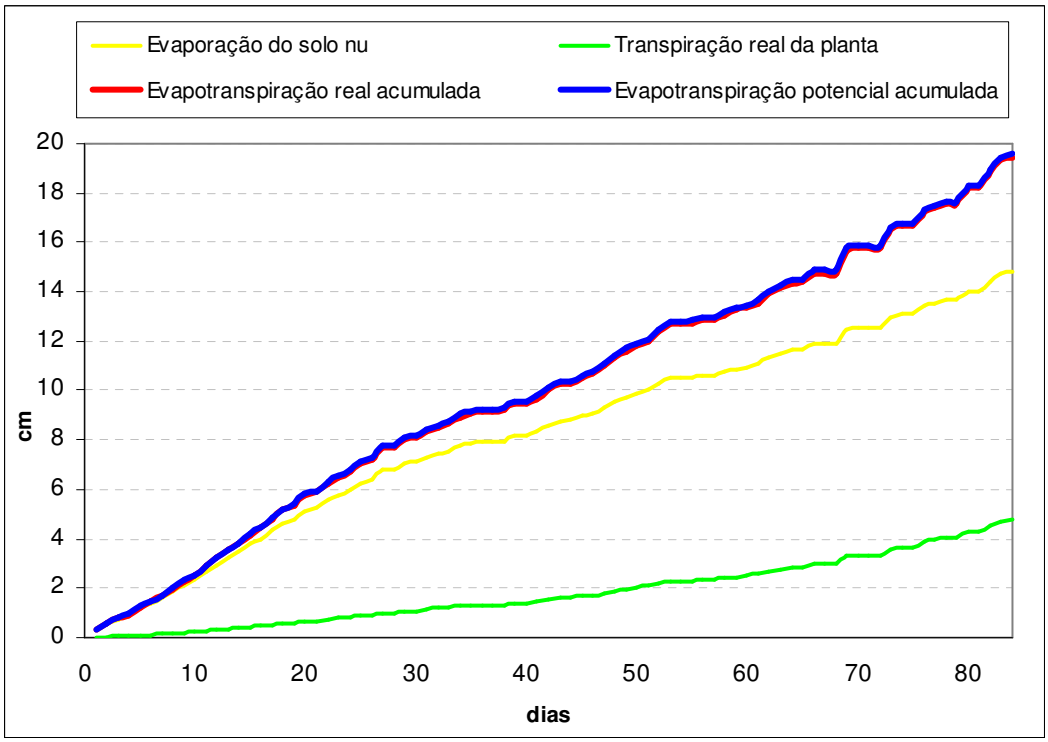

Figura 4.13. Evapotranspiração real e potencial acumuladas, evaporação de solo nu e transpiração real da planta, no período de observação, na área A1.

Na Figura 4.14 é possível observar o balanço na superfície, das lâminas evaporadas (valores positivos) e a parcela infiltrada (valores negativos) ao longo do período de observação. Verifica-se que grande parte da água disponível foi infiltrada, proporcionando poucas perdas por evaporação. As variações de armazenamento de água no perfil do solo acompanharam as variações da oferta hídrica por precipitação e, ou irrigação. Não foi verificada ocorrência de escoamento superficial durante o período de observação.

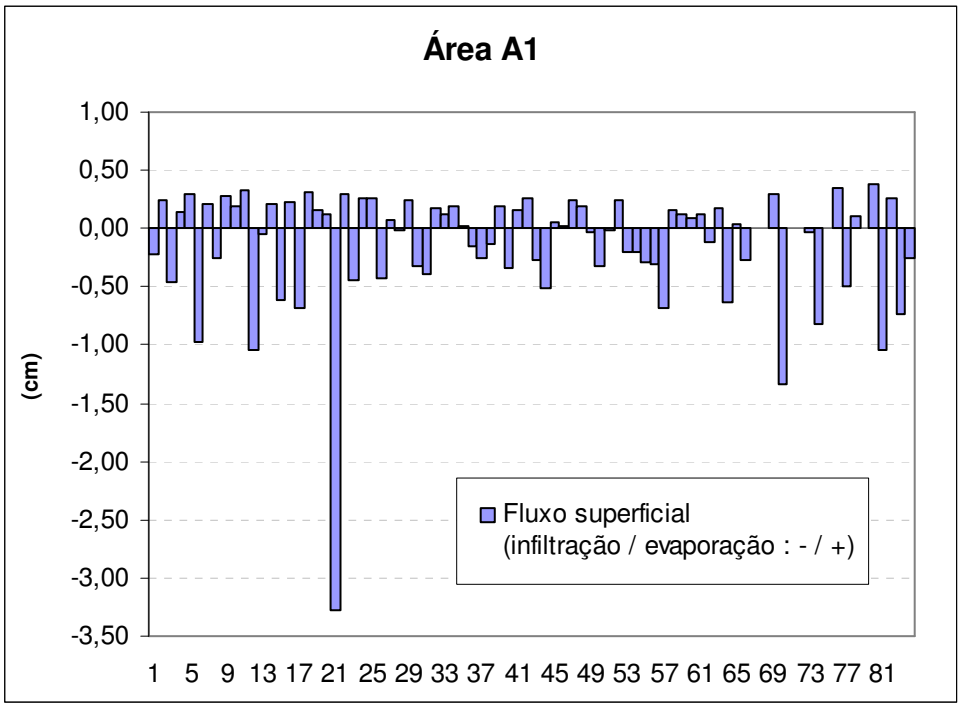

Figura 4.14. Lâmina infiltrada (-) e evaporada (+) calculadas pelo HYDRUS, para o período de observação, na área A1.

4.3.2. Experimento na área A2

Nas simulações com o modelo HYDRUS 1D, para a área A2, as tensões matriciais medidas em campo e as obtidas pelo modelo foram comparadas. O período total de observação neste lote foi de 72 dias.

Verifica-se em todas as análises que a entrada de valores unificados diários, apresenta sempre melhor ajuste quando as informações hidrológicas e a tensão são consideradas variáveis pontuais ao longo do dia, como discutido na seção (3.11).

Os parâmetros calibrados nas simulações da área A1 foram replicados para a área A2. O princípio geral de que para um manejo eficiente, a evapotranspiração potencial deveria ser igual a evapotranspiração real, também foi respeitado.

A Figura 4.15 ilustra os potenciais medidos e calculados no compartimento mais superficial susceptível a grandes variações por ações de superfície e de evaporação. Nesse compartimento é perceptível que o modelo apenas representa valores médios, sem atender aos picos de umedecimento e secamento. No detalhamento da Figura 4.15, verifica-se acompanhamento de picos de umidade em grande parte dos dias, ocorrendo sobreposição em alguns períodos.

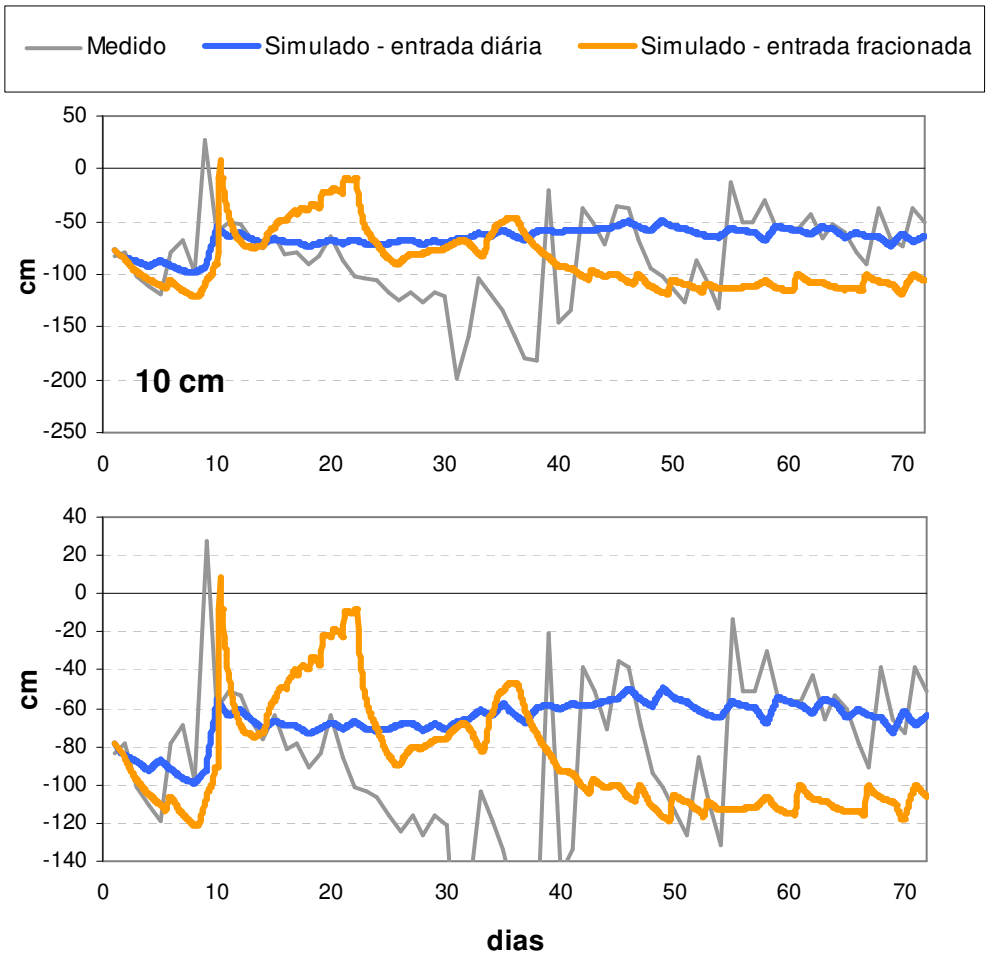

Figura 4.15. Verificação dos potenciais matriciais a 10 cm de profundidade. Destaque para os valores maiores que -140 cm, na área A2.

A Figura 4.16 ilustra os potenciais matriciais medidos e simulados nos quatro compartimentos que preenchem a zona radicular, a partir das tensões às profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm, sucessivamente.

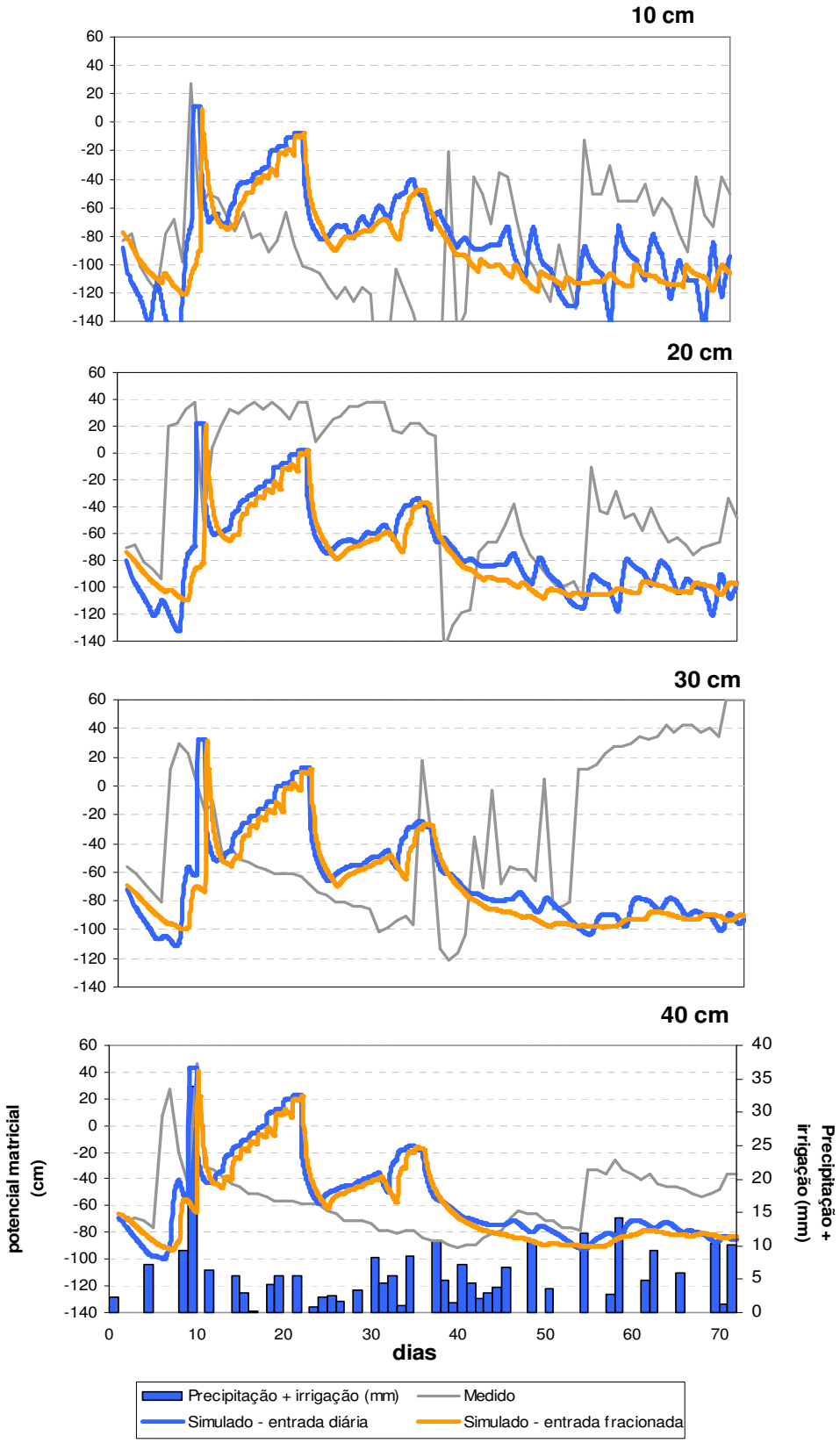

Figura 4.16 Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, ao longo da zona radicular. Nós de observação a 10 cm, 20 cm, 30 cm e 40 cm, na área A2.

Abaixo da zona radicular a umidade sofre influência da camada arenosa que representa. A interferência do lençol e o fluxo existente nesta região podem também justificar as oscilações de umidade (Figuras 4.17 e 4.18).

Entre os compartimentos 6 e 7 (nó a 60 cm), o modelo consegue uma aproximação dos valores reais até aproximadamente o 55º dia. As falhas subseqüentes podem ser atribuídas a defeitos no dispositivo de medição ou de leitura, uma vez que não houve registro de precipitação nos dias de umedecimento.

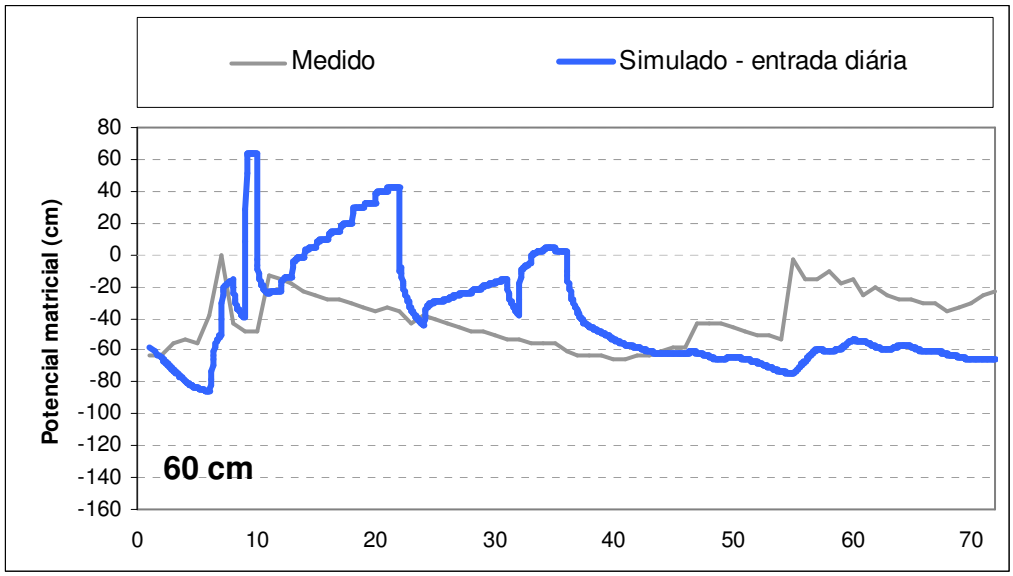

Figura 4.17. Potenciais medidos e calculados pela simulação tipo B, abaixo da zona radicular. Nó de observação a 60 cm, na área A2.

Na Figura 4.18, que representa os potenciais matriciais entre os compartimentos 8 e 9, o modelo sobrepõe alguns valores e superestima outros. Em geral, o modelo alcança os valores médios dos potenciais a essa profundidade.

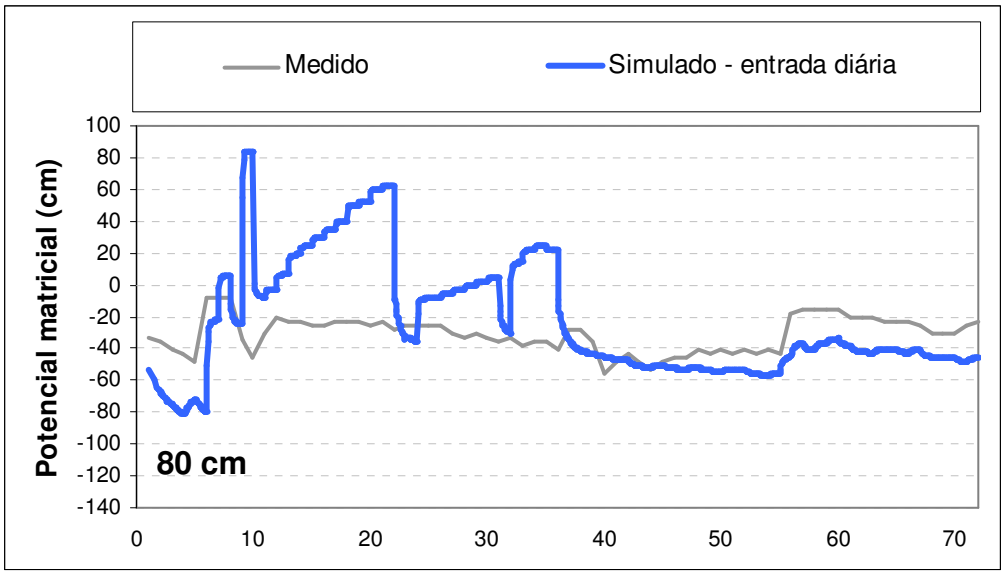

Figura 4.18. Tensões medidas e calculadas pela simulação tipo B, abaixo da zona radicular. Nó de observação a 80 cm, na área A2.

Uma outra avaliação foi feita através das lâminas de transpiração real acumulada e transpiração potencial acumulada, obtidas através das simulações com o HYDRUS.

A eficiência do manejo de irrigação também foi avaliada através da comparação das alturas de transpiração real acumulada e transpiração potencial acumulada, resultantes das simulações com o HYDRUS. O modelo calculou valores de transpiração acumulados potenciais que superaram os valores acumulados reais, indicando situação de estresse hídrico durante o desenvolvimento da cultura (Figura 4.19).

A Figura 4.20 mostra a lâmina de evapotranspiração real acumulada, potencial acumulada, transpiração real da planta e evaporação do solo nu. É possível observar que a contribuição da evaporação do solo nu supera a da transpiração real da planta, provavelmente pela influência do baixo índice de área foliar, pela retenção hídrica nas camadas superiores em função da distribuição heterogênea da textura dos solos, e a possível alteração do Kc da planta por interferência das pragas em seu sistema fitológico. Certamente, o modelo não conseguiu representar os valores medidos pela imposição da hipótese inicial, mostrando que o manejo não foi eficiente.

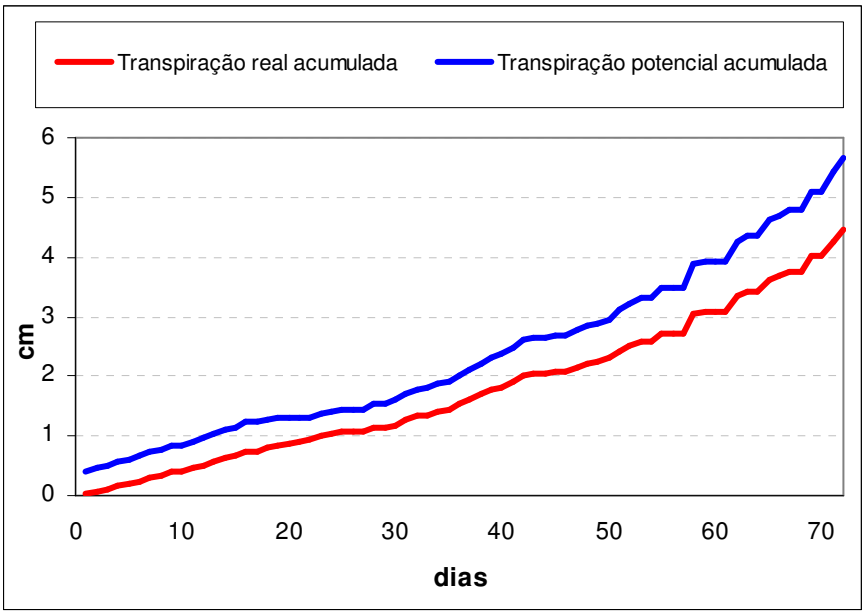

Figura 4.19. Evolução da transpiração real e transpiração potencial acumuladas, para o período de observação, na área A2.

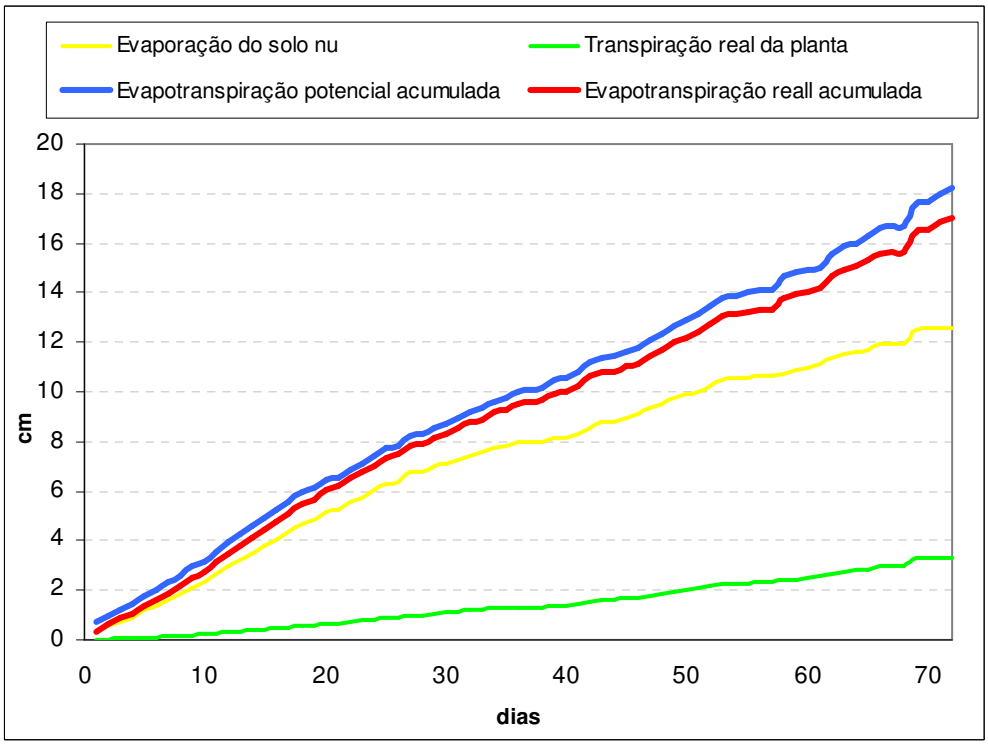

Figura 4.20. Evapotranspiração real e potencial acumuladas, evaporação de solo nu e transpiração real da planta, no período de observação, na área A2.

Na Figura 4.21 é possível observar os fluxos de superfície calculado pelo modelo. Para o cálculo, os valores negativos são considerados como fluxo de infiltração, e aos valores positivos como evaporados. Verifica-se que, no início do período, principalmente nos primeiros dez dias, o balanço positivo indicou grande perda por evaporação. Essa variação de armazenamento acompanhou as variações da precipitação e irrigação.

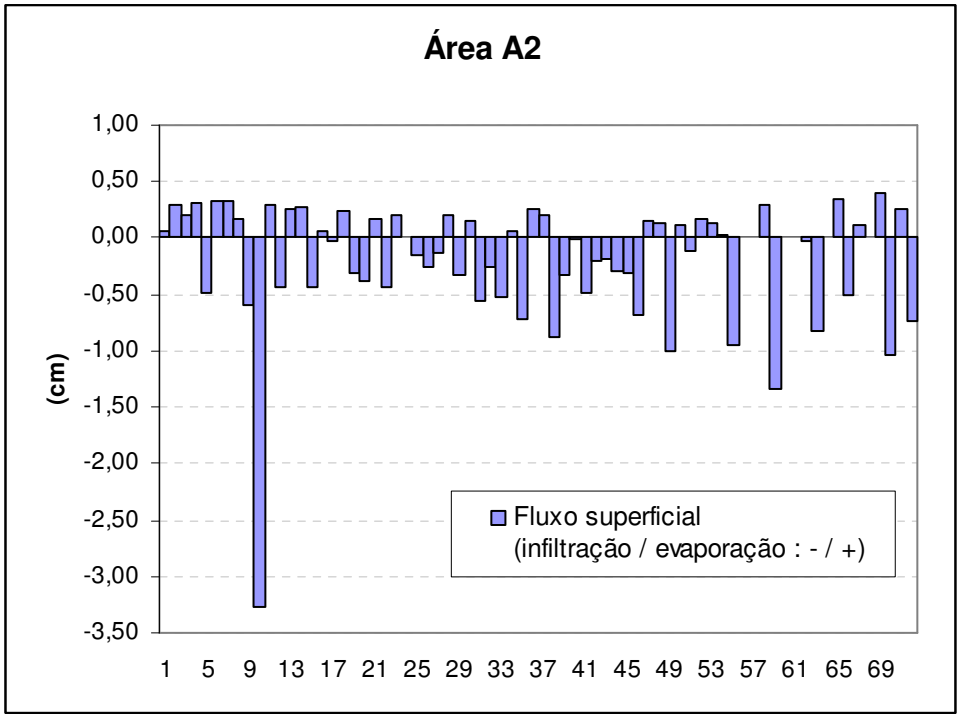

Figura 4.21. Lâmina infiltrada (-) e evaporada (+) calculadas pelo HYDRUS, para o período de observação, na área A2.

4.3.3. Aplicação do HYDRUS como ferramenta de gestão

Com a aplicação dos princípios levantados pela análise SWOT, o HYDRUS foi avaliado e indicado como ferramenta auxiliar no processo de gestão.

O HYDRUS pode ser caracterizado como um modelo simples e com uma interface bastante amigável.

A performance do modelo foi avaliada comparando resultados numéricos e dados coletados em campo em situações de stress e oferta hídrica, enquanto os parâmetros de planta foram em sua maioria calibrados pelo modelo.

Em trabalhos futuros e como ferramenta de gestão, o HYDRUS pode ser de fundamental contribuição, na avaliação da implementação de diferentes tipos de cultura, na seleção de turnos de rega ou ainda na escolha do tipo de sistema de irrigação utilizado, entre outros. No caso dos sistemas de irrigação, pode-se verificar através das simulações que sistemas obsoletos e que normalmente levam ao desperdício de água, como os aspersores convencionais, quando manejados corretamente, podem oferecer resultados melhores que um sistema econômico, como os micro-aspersores, quando operados empiricamente.

4.4. Determinação do índice de vulnerabilidade GOD

A análise recebeu contribuição de uma série histórica de registros de nível de água de doze pontos de observação, entre piezômetros e poços, sob a área da barragem, num período de novembro de 2003 a novembro de 2005, em doze pontos de observação distintos.

Para o caso da barragem subterrânea Cafundó II, o índice "GOD" variou de 0,55 a 0,59 nos três diferentes períodos analisados. As Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam a determinação do índice GOD nos três períodos.

Tabela 4.2. Determinação do Índice GOD para o período seco inicial (agosto – novembro).

Pontos observados	Profundidade do lençol (m)	Parâmetro G	Parâmetro O	Parâmetro D	Índice GOD	Classe de Vulnerabilidade
PZ José	4,03	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 09	3,98	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 04	3,98	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 01	2,81	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 05	4,03	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 06	3,93	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 07	3,14	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 08	3,30	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ barragem	2,74	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
Poço novo	3,27	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
Pz Meio	0,92	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Pz Montante	1,23	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Média					**0,55**	**Alta**

Tabela 4.3. Determinação do Índice GOD para o período seco final (dezembro – março).

Pontos observados	Profundidade do lençol (m)	Parâmetro G	Parâmetro O	Parâmetro D	Índice GOD	Classe de Vulnerabilidade
PZ José	3,07	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 09	2,85	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 04	2,71	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 01	1,97	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 05	2,77	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 06	2,69	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 07	2,45	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 08	2,50	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ barragem	1,30	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Poço novo	2,60	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
Pz Meio	1,11	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Pz Montante	1,64	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Média					**0,56**	**Alta**

Tabela 4.4. Determinação do Índice GOD para o período úmido (abril – julho).

Pontos observados	Profundidade do lençol (m)	Parâmetro G	Parâmetro O	Parâmetro D	Índice GOD	Classe de Vulnerabilidade
PZ José	2,21	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 09	2,02	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 04	1,93	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 01	0,47	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 05	1,96	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 06	1,81	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 07	1,72	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 08	1,74	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ barragem	1,30	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Poço novo	2,01	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
Pz Meio	1,00	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Pz Montante	1,40	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Média					**0,59**	**Alta**

É possível observar que, para os diferentes períodos (seco inicial, seco final e úmido), a região apresenta uma alta vulnerabilidade à poluição, sendo o período seco inicial o menos crítico enquanto o período úmido o mais crítico, devido ao aumento do nível da água subterrânea e sua proximidade com a superfície.

4.5. Avaliação da contaminação

4.5.1. Investigação de agrotóxicos

O estudo de contaminação das águas subterrâneas, no poço de abastecimento e no piezômetro de observação, abordou a investigação dos agrotóxicos do tipo organohalogenados e organofosforados de uso em âmbito nacional no Brasil. As análises de laboratório das amostras coletadas antes do plantio no poço de abastecimento e no piezômetro de observação não registraram contaminação por qualquer agrotóxico nas águas subterrâneas.

Este resultado levou à hipótese da contaminação se dar no meio não-saturado, o que foi tentativamente investigado através da extração de solução por cápsulas porosas instaladas a diferentes profundidades nos lotes experimentais. A extração foi conduzida por sucção pelo período de 24 horas. Tendo em vista que o volume de solução coletado neste tempo foi inferior ao mínimo necessário para análise laboratorial, e que o aumento do tempo de extração levaria à exposição do material à grande variação de temperatura por um longo período (o que levaria à degradação da amostra e conseqüentemente a perda de suas características), não foi possível a obtenção de valores de campo para as concentrações no perfil. Metodologia alternativa deve ser investigada para este fim em trabalhos futuros.

4.5.2. Avaliação da qualidade da água de irrigação

Na análise físico-química da água verifica-se não existirem grandes diferenças entre os dois pontos amostrados (Tabela 4.5), estando dentro dos padrões admitidos pela legislação vigente para água de consumo humano, aplicável a culturas de vegetais de consumo sem cozimento (MMA, 1990).

Tabela 4.5. Análise físico-química da água coletada nos pontos amostrais previamente ao plantio.

Parâmetro		**Poço de abastecimento**	**Piezômetro de observação**
CE (dS/m a 25ºC)		3,33	3,25
pH		7,40	7,20
Amônia em NH_3 (mg/L)		ND*	ND*
Nitrito em N (mg/L)		0,01	0,004
Nitrato em N (mg/L)		0,55	0,14
Alcalinidade de hidróxidos em $CaCO_3$ (mg/L)		0,00	0,00
Alcalinidade de carbonatos em $CaCO_3$ (mg/L)		0,00	0,00
Alcalinidade de bicarbonatos em $CaCO_3$ (mg/L)		264,30	252,30
Alcalinidade total em $CaCO_3$ (mg/L)		264,30	252,30
Dureza total em $CaCO_3$ (mg/L)		730,60	666,00
Fosfato em P (mg/L)		0,44	0,40
Ca^{2+}(Cálcio)	(mg/L)	153,20	147,30
	(mmol(+)/L)	7,65	7,35
Mg^{2+}(Magnésio)	(mg/L)	84,50	72,40
	(mmol(+)/L)	6,95	5,96
Na^{+}(Sódio)	(mg/L)	356,50	299,00
	(mmol(+)/L)	15,51	13,01
K^{+}(Potássio)	(mg/L)	8,20	10,90
	(mmol(+)/L)	0,21	0,28
Cl^{-}(Cloreto)	(mg/L)	808,80	686,30
	(mmol(+)/L)	22,81	19,35
SO_4^{2-}(Sulfato)	(mg/L)	98,60	92,70
	(mmol(-)/L)	2,05	1,93
NO_3^{-}(Nitrato)	(mg/L)	2,40	0,60
	(mmol(-)/L)	0,04	0,01
HCO_3^{-}(Bicarbonato)	(mg/L)	322,40	307,70
	(mmol(-)/L)	5,28	5,04

Metodologia de análises: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed.1995.

*ND = não detectado – limite de detecção: Amônia em NH_3: 0,1 mg/L; Nitrito em N: 0,002 mg/L.

Na Figura 4.22 apresenta-se uma projeção dos resultados obtidos para a qualidade da água, em diagrama de Piper. Os resultados permitem concluir tratar-se de uma água cloretada, e, ou sulfatada sódica.

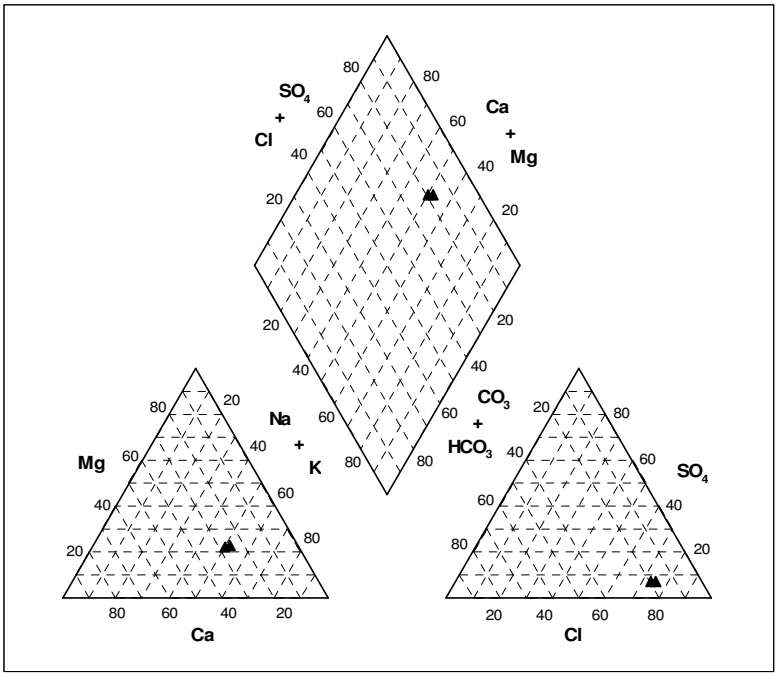

Figura 4.22. Diagrama de Piper da água analisada.

Na avaliação quanto à toxicidade, verifica-se alta concentração de bicarbonatos que em reação com o cálcio e magnésio existente no solo, aumentam o risco de sodificação. Ainda, a observação da grande concentração de íons de cloro e sódio contribuem para o aumento da perda da salinidade e da sodicidade dos solos.

A salinidade da água expressa pela condutividade elétrica, supera o limite de tolerância da cultura, indicando possível perda de produtividade. Segundo Ayers e Westcot (1985), para nível de salinidade maior que 2,90 dS/m, a perda da produtividade pode atingir o valor de 25% em relação á produtividade máxima. Para esse caso, com a condutividade elétrica da água em torno de 3,30 dS/m, possivelmente a perda da produtividade superou os 25% apresentados pela bibliografia. Pode-se verificar a influência das concentrações de cloreto nos valores de condutividade elétrica.

A Figura 4.23 apresenta a classificação das águas para a rega, baseada nos valores de condutividade e na razão de adsorção de sódio (RAS), para as águas analisadas (U.S.D.A, 1954). Registra-se que as águas apresentam um perigo muito alto de salinização da água

(C4) e um perigo médio de alcalinização (S2), indicando média concentração de sódio, devendo ser utilizada apenas em solos de textura grossa ou em solos orgânicos com boa permeabilidade; e para a salinidade é observado o nível de salinidade muito alta (C4), não indicada para uso na irrigação (U.S.D.A., 1954).

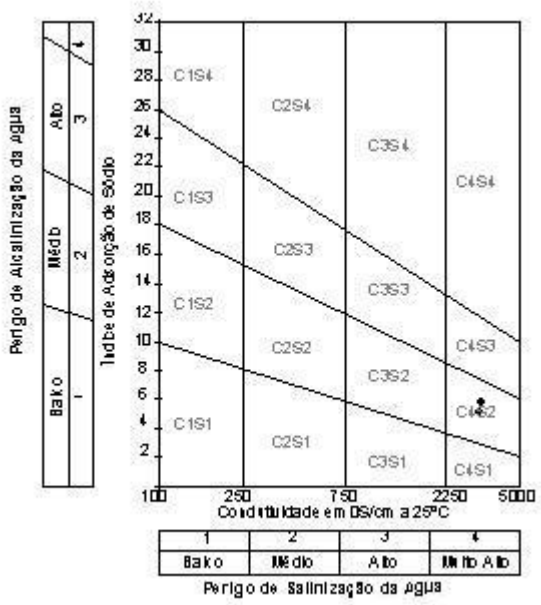

Figura 4.23. Classificação das águas de rega, com base no risco de salinização e de alcalinização.

4.5.2. Avaliação da contaminação de solos

Quanto à análise físico-química do solo na área de referência, foram obtidos valores elevados de nitrogênio e fósforo nas camadas superiores, possivelmente resultantes da contaminação por escoamento de lotes a montante utilizados anteriormente para a agricultura. Também, o sódio, o potássio, o cloreto e os sulfatos possuem valores elevados na superfície. Pode-se atribuir esses valores elevados na superfície à ação da evaporação. A análise da condutividade elétrica reflete condições limítrofes para a queda de produtividade (Tabela 4.6).

Tabela 4.6. Análise físico-química do solo da área de referência

	Profundidade do solo (cm)						
Parâmetro	**10 a 20**	**20 a 30**	**30 a 40**	**40 a 60**	**60 a 80**	**80 a 100**	**100 a 120**
CE (dS/m a 25°C)	4,89	5,84	4,23	2,47	2,40	2,91	4,27
% de saturação	14,40	12,50	16,30	13,80	13,70	13,80	15,00
pH (H_2O)	5,90	5,90	6,00	6,20	6,40	6,50	6,60
Matéria Orgânica (g/kg)	7,59	3,45	2,59	2,24	1,55	0,86	0,86
Nitrogênio total (g/kg)	0,50	0,30	0,30	0,20	0,20	0,10	0,10
No extrato de saturação							
Cálcio (mmol(+)/L)	6,94	16,00	6,13	3,63	7,27	7,27	10,00
Magnésio (mmol(+)/L)	6,94	8,00	9,19	7,27	3,63	7,27	13,34
Sódio (mmol(+)/L)	22,21	10,40	16,55	3,63	7,27	7,27	8,67
Potássio (mmol(+)/L)	13,20	24,00	10,40	9,45	5,09	8,00	9,34
Cloreto (mmol(-)/L)	27,76	28,80	10,42	5,08	2,18	0,72	4,00
Sulfato (mmol(-)/L)	13,19	2,40	18,39	2,18	0,00	11,63	20,01
Carbonato (mmol(-)/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato (mmol(-)/L)	11,10	19,20	14,71	14,54	17,44	17,44	10,67
Amônia em NH_3 (mg/L)	2,33	1,78	3,68	3,80	1,44	2,05	2,20
Nitrito em N (mg/L)	0,01	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*

Metodologia de análise: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed.1995.

*ND = não detectado – limite de detecção: Amônia em NH_3: 0,1 mg/L; Nitrito em N: 0,002 mg/L.

Na Figura 4.24 é apresentada uma análise estatística dos diferentes valores observados para as várias amostras de solos a diferentes profundidades. Da análise da figura é possível constatar que há diversos parâmetros que se apresentam relativamente constantes ao longo do perfil do solo, na medida em que os seus valores não apresentam diferenças significativas (pH, matéria orgânica, CO_3, NO_3 e N total). No entanto, observa-se que outros parâmetros (Ca, Mg, Na, K, Cl, NH_4, NH_3, HCO_3, SO_4) apresentam apreciáveis alterações para as várias profundidades do solo analisadas como resultado das contribuições das práticas agrícolas.

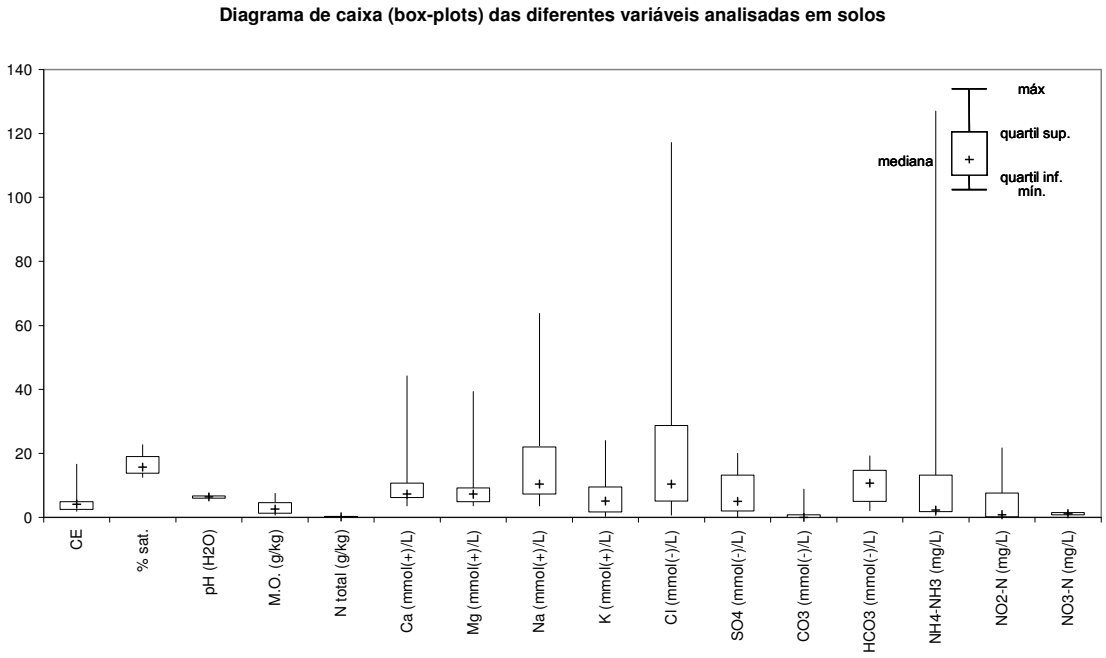

Figura 4.24. Diagrama de caixas das diferentes variáveis analisadas em solos.

A área de referência apresenta também riscos de salinização dos solos, devido aos altos valores de sódio e cloretos, principalmente nas camadas com presença de silte e argila. É notório o risco de salinização pelas perdas por evaporação, uma vez que a área em observação não sofre influência do lençol freático. As concentrações de nitrogênio em nitrito e amônia caracterizam a não contaminação por compostos inorgânicos, principalmente pela exposição a agrotóxicos e fertilizantes.

Na avaliação da contaminação dos solos irrigados e sob ação do cultivo do repolho (Tabela 4.7), observa-se a concentração do nitrogênio em amônia e nitrito nas camadas mais superiores dos lotes 2 e 3, decorrente da presença de raízes e absorção pela planta. Na observação da área 1, percebe-se um decréscimo dos valores de nitrogênio, certamente devido à lixiviação decorrente da irrigação por aspersão convencional combinada às características do perfil do solo.

Devido aos custos agregados às análises, a pequena quantidade de amostras não permitiu a aplicação de uma estatística mais refinada.

Tabela 4.7. Análise físico-química do solo das áreas cultivadas.

	Repolho 1		Repolho 2		Repolho 3	
Parâmetro	**0 a 40**	**40 a 80**	**0 a 40**	**40 a 80**	**0 a 40**	**40 a 80**
CE (dS/m a 25°C)	2,21	1,89	3,065	16,615	7,863	4,139
% de saturação	16,7	15,7	22,7	20,7	19	19
pH (H_2O)	7,4	6,9	7,2	6,1	6,7	5,9
Matéria Orgânica (g/kg)	4,65	1,21	5,1	3,7	4,8	0,69
Nitrogênio total (g/kg)	0,2	0,10	0,2	0,3	0,3	0,1
No extrato de saturação						
Cálcio (mmol(+)/L)	6,71	5,16	4,5	44,24	14,99	10,73
Magnésio (mmol(+)/L)	4,85	4,52	5,82	39,36	10,15	4,84
Sódio (mmol(+)/L)	7,79	5,73	18,52	63,8	49,44	22,09
Potássio (mmol(+)/L)	2,58	3,25	1,19	0,29	1,68	0,74
Cloreto (mmol(-)/L)	10,24	7,26	14,16	117,2	58,54	30,04
Sulfato (mmol(-)/L)	1,26	1,78	1,99	17,73	8,78	5,05
Carbonato (mmol(-)/L)	0,42	0,64	8,8	4,3	5,05	0,89
Bicarbonato (mmol(-)/L)	9,58	8,92	4,94	4,83	3,79	2,1
Amônia em NH_3 (mg/L)	0,60	0,96	109	66,2	127	13,2
Nitrito em N (mg/L)	0,11	0,12	21,7	5,56	9,73	0,88
RAS (razão de adsorsão de sódio)	0,67	0,59	1,79	0,76	1,97	1,42

Metodologia de análises: Manual de métodos de análise de solo da Embrapa.1997.

Os carbonatos estão fortemente presentes nas áreas sob uso agrícola. Sua presença é devido à adição de oxigênio proveniente dos compostos de base nítrica, fosfórea e potássica dos adubos e agrotóxicos inorgânicos. Por sua vez, os carbonatos são combinados aos sais já existentes no solo, provocando incremento a salinidade do mesmo.

A CE por sua vez está claramente ligada a textura dos solos, onde as concentrações de cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloretos e sulfatos acompanham as taxas de condutividade elétrica.

4.6. Avaliação da mobilização comunitária para a gestão participativa

O processo participativo despertou nas comunidades o interesse pelas vantagens do manejo adequado e as implicações negativas do uso inadequado dos recursos naturais.

Ainda, o manejo com a participação do agricultor, com valorização das ações da comunidade e dos saberes locais, conduziu a um empoderamento desses grupos, contribuindo dessa forma para a sustentabilidade das práticas.

Nas oficinas de trabalho onde foram discutidos os temas expostos, a interação da comunidade com o palestrante e difusor de experiências e tecnologias despertou o interesse na expansão da discussão de forma integrada e enriquecendo o sentimento de empoderamento dos indivíduos locais (Figuras 4.25 e 4.26). Essa estratégia de integração e participação atendeu aos princípios de sustentabilidade, percepção de indicadores reais locais que retratam a realidade do ambiente em diretrizes sociais, econômicas e culturais.

Foram demonstrados interesses por novos temas, como cultivo da mamona, a prática da agricultura orgânica e a divulgação de fontes de financiamento.

Material didático, em formas de cartilhas, foi desenvolvido e trabalhado com as comunidades durante as oficinas, enfocando a problemática local e sua convivência.

Figura 4.25. Capacitação de agricultores, setembro 2004 – Pesqueira, PE.

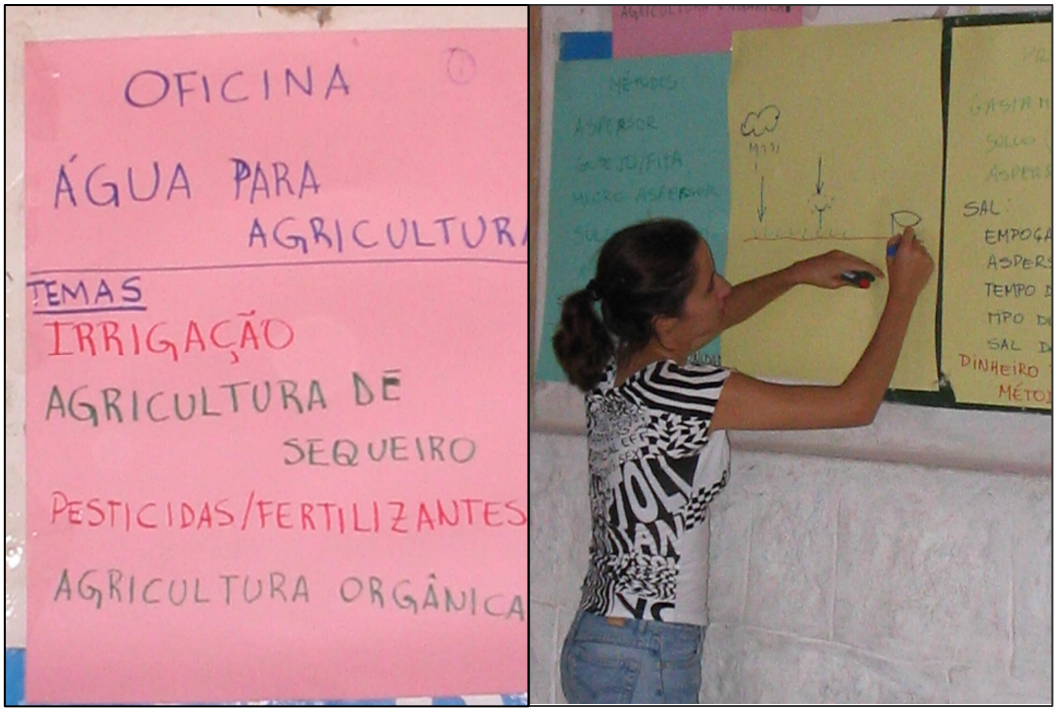

Figura 4.26. Difusão de conceitos técnicos em oficina de capacitação – Pesqueira, PE.

Foram identificados agricultores com perfis de inovadores e abertos à recepção de novas práticas e conhecimentos, e que potencialmente se apresentassem como membros de difusão de métodos e de informações relevantes ao desenvolvimento da agricultura sustentável.

Na ação técnica, os agricultores que foram incentivados a reconhecer a importância do monitoramento climatológico e aplicá-lo às práticas de irrigação, já possuem sua autonomia na execução das leituras dos níveis de água em piezômetros, evaporação no tanque classe A, a precipitação nos pluviômetros e a quantidade de água retirada do aqüífero pelas leituras dos hidrômetros. A lâmina de irrigação a ser aplicada é calculada pelo próprio agricultor, com o auxílio das planilhas, utilizando as medições do tanque e do pluviômetro

A comunidade participou da implementação de sistemas monitorados e tem demonstrado uma aceitação positiva às tecnologias propostas. Numa pequena escala,

alguns agricultores se entregaram ao risco de novas práticas, enquanto outros se mostraram resistentes em razão da formação cultural e da limitação da formação educacional.

Ainda, é destacado como ótimo resultado, a inserção do gênero feminino no âmbito agrícola, que obteve seu destaque de forma indireta na operação dos instrumentos de medição, ou até mesmo de forma direta na operação da irrigação já que sistemas como os microaspersores não exigem elevado esforço físico quando comparado a aspersão convencional. A mulher exerceu papel fundamental no cálculo da lâmina de irrigação, como também na indicação dos turnos de rega.

Os lotes experimentais implantados foram reconhecidos como áreas-modelo e receberam destaque maior, quando apresentadas as suas ações para a comunidade em geral, como áreas demonstrativas de prosperidade econômica e social e em equilíbrio com o meio ambiente.

4.6.1. Avaliação do monitoramento participativo

Entre os agricultores foi desenvolvida a importância do acompanhamento da variação espacial e temporal do nível de água do lençol subterrâneo e da análise de evolução da condutividade elétrica da água nas áreas circunvizinhas. Dessa forma foi avaliada a disponibilidade quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos de maneira a possibilitar o planejamento de ações futuras. Esse processo foi chamado de monitoramento participativo.

Em princípio o envolvimento da comunidade no monitoramento seguiu o instinto de atender a curiosidade pessoal, e ao longo do tempo foi possível desenvolver um processo lento de conscientização entre esses. A utilização dos equipamentos de suporte técnico não foi destacada como dificuldade para execução do processo, e o entendimento da finalidade do monitoramento seguiu a partir da discussão dos conceitos técnicos.

A integração entre as três comunidades nas ações de monitoramento permitiu que os agricultores desenvolvessem uma percepção de causa-efeito, ao relacionar índices pluviométricos e evaporimétricos ao incremento ou redução da salinidade da água subterrânea. A avaliação da variação temporal do nível do lençol de água proporcionou um senso de preocupação relacionado à quantidade da água subterrânea, e quando analisado junto aos índices representativos de salinidade, uma relação de proporcionalidade inversa entre a quantidade de sais e o nível da água subterrânea foi percebida.

Cada área demonstrou atenção especial à análise de uma variável a fim de atender a solução de seus problemas em âmbito local. A comunidade de Mutuca apresentou constante interesse pela variação da condutividade elétrica, uma vez que o vale é extremamente dependente da agricultura irrigada e os problemas com os altos teores de sais das águas de irrigação é presente no histórico da área, marcado pela redução da produtividade e em alguns casos pontuais pela impossibilidade de uso da água subterrânea para fins agrícolas. Em Campo Alegre, o uso da água superficial e suas limitações ao longo dos períodos de seca, desenvolveu na comunidade uma atenção especial ao nível do rio que abastece a área e a barragem localizada a montante da área – Barragem Pão de Açúcar, que o regulariza. Ainda, essa comunidade apresentou o desenvolvimento de uma percepção de correlação entre os índices pluviométricos e a vazão corrente do rio. A comunidade de Rosário, por sua vez, apresentou um poder de interligação entre todas as variáveis. Diferente das outras áreas, a comunidade encontra-se locada num vale pequeno, onde as variáveis climatológicas produzem rápidas respostas nos aspectos quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos. Ainda, vale ressaltar que em Rosário diversos projetos técnico-científicos vêm sendo desenvolvidos ao longo da última década.

Durante o monitoramento tentou-se desenvolver uma noção de causa-efeito entre as áreas de montante e jusante ao longo dos vales, onde uma ação maléfica ao longo do vale traria problemas aos usuários de jusante àquele ponto. Em Rosário e Campo Alegre bons resultados foram alcançados em relação a esse enfoque, entretanto em Mutuca devido a distância entre os usuários de água combinada à grande extensão do vale esse conceito não foi absorvido pela maioria do grupo.

A aplicação dessas informações por parte das comunidades foi dada de forma restrita e isolada em alguns lotes. Já foram registrados como resultados dessa grande ação sócio-tecnológica: o uso dos dados diários de precipitação e evaporação como base para o cálculo da lâmina de irrigação a ser aplicada diariamente; a determinação do tipo de cultura a ser desenvolvida a partir dos índices de salinidade da água de irrigação; a estimativa do tamanho da área a ser irrigada em função da disponibilidade hídrica, a partir da avaliação do monitoramento do nível de água nos poços e piezômetros, e da disponibilidade da água superficial do Rio Ipojuca, em caso particular a população de Campo Alegre.

Ainda vale ressaltar que a preocupação com a detenção, ou continuidade da disseminação das informações mostrou-se real no decorrer do processo, mas foi sanada

pelo fato dos membros envolvidos se apresentarem como difusores de outros tipos de informação, sendo estes, agentes de saúde, professores, e, ou líderes comunitários. Entretanto, grande parte da população local por não possuir conhecimentos de leitura e compreensão, revela um sentimento de vergonha e desconforto levando-os à omissão, ainda proporcionando a dificuldade da disseminação de informações.

As Figuras 4.27, 4.28 e 4.29 ilustram as ações de mobilização descritas.

Figura 4.27. Monitoramento agroclimatológico feito por agricultora local.

Figura 4.28. Agricultor em monitoramento de salinidade por medição de condutividade elétrica.

Figura 4.29. Agricultor disseminando informações em área demonstrativa.

4.7. Avaliação da garantia de sustentabilidade das ações

Para garantia da difusão tecnológica, foi formado um grupo de discussão com agricultores onde conceitos técnicos, de gestão e de proteção ambiental foram discutidos. Nestas discussões, os lotes demonstrativos e suas ações foram apresentados. Coube ainda a este grupo a função de difusor de informações em seqüência ao treinamento especializado de gerenciamento integrado de recursos hídricos ao qual foram submetidos. Ainda, dentro de uma visão de representatividade das comunidades, esse grupo se tornou responsável pelas tomadas de decisões referentes às ações futuras, como também expôs os anseios de suas comunidades e propôs a discussão de novos temas.

O despertar da importância do monitoramento é dado em longo prazo. Os conceitos de previsão para garantia da sustentabilidade foram inseridos e de certa forma absorvidos pela comunidade.

Em decorrência dos resultados preliminares dessas ações, em áreas experimentais, alguns agricultores já estão inseridos em programas de manejo adequado utilizando sistemas otimizados, e inserindo em sua prática diária o manejo dos sistemas com lâmina de rega estimada pelas medições in loco, que promova um adequado umedecimento do perfil de solo, e previna a ocorrência de zonas de saturação.

Em conformidade com essas ações, organizações municipais de educação buscaram a implementação de treinamento de professores de nível fundamental da região, para que o

processo também atingisse as novas gerações de agricultores, através de um programa de educação ambiental. Esse programa foi contemplado com cursos de capacitação técnica aos professores e alunos, desenvolvimento de material didático, que proporcionasse longetividade ao ciclo de discussões sobre a conservação dos recursos naturais e dos quatro temas base aqui apresentados.

5. CONCLUSÕES

Em geral, a experiência do agricultor atende à demanda total da cultura, entretanto não há qualquer preocupação com a distribuição temporal da aplicação da irrigação, causando grandes estresses desnecessários e aplicação de lâminas de irrigação em dias úmidos.

A aplicação do modelo matemático para a área sob manejo orientado apresentou melhores ajustes aos dados medidos pelo provável atendimento à hipótese inicial que a planta não sofreu qualquer déficit hídrico durante seu ciclo. O mesmo não ocorre para a área sob prática empírica.

O uso de modelos matemáticos como suporte científico a essas ações é de extrema importância. Entretanto, para qualquer ação de utilização de ferramentas avançadas, é necessário haver sempre uma integração entre o usuário do modelo e o agricultor que aplicará in loco seus resultados. Inicialmente a participação do agricultor, ou indivíduo que aplicará o resultado dos modelos, é de grande importância: no levantamento de indicadores locais, ou informações que valorizem os costumes e a prática hereditária. Dessa forma, proporcionando a atuação do irrigante nas diferentes fases do processo, o mesmo tem seu trabalho apreciado, o que vem a ser um indicador futuro de sustentabilidade pela valorização das ações desenvolvidas.

A área em estudo apresenta alta vulnerabilidade à contaminação segundo investigação preliminar efetuada. A água subterrânea está dentro dos padrões vigentes para a água de consumo humano e cultivo de vegetais de consumo sem cozimento. A salinidade da água subterrânea supera o limite de tolerância da cultura (repolho). A salinidade do solo nos lotes investigados é elevada, com influência climática e do tipo de solo, embora a prática da irrigação também deva estar contribuindo. A matéria orgânica está mais presente nos lotes de referência do que nos lotes irrigados, provavelmente devido à lixiviação freqüentes desses últimos. Os resultados refletem a influência do tipo de solo e da prática da irrigação, associada ao uso de agroquímicos, na composição química dos solos. Em trabalhos futuros, ações de conservação da qualidade da água e de solos devem ser investigadas mais profundamente.

No âmbito social, o melhor dos resultados é observado no empoderamento das comunidades envolvidas e pelo processo de educação ambiental iniciado. O processo de

gestão participativa entre as ações desenvolvidas tem contribuído para o uso sustentável dos recursos hídricos, e a conservação dos recursos naturais através do manejo integrado e participativo. Os membros da comunidade têm-se organizado gradualmente, com crescente interesse em temas de gestão de recursos hídricos. Experiências bem sucedidas nos lotes experimentais demonstrativos foram observadas, resultando em maior economia de água e em sua utilização mais racional do ponto de vista agrícola e ambiental.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, G.H.G. **A função da barragem subterrânea como obra de convivência com a seca.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

AHMED, M.; AL-MASEHLI, M.; KHAN, A.J.; AL-HADDABI. M. Impact of agriculture on groundwater quality in Northern Oman and possible ways to prevent nitrate leaching to groundwater. In: FGR'01 – INTERNATIONAL CONFERENCE, 3, 2001, Lisboa. **Anais…** 2001. p.311-319.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration** – guidelines for computing crop water requirements. FAO – Irrigation and Drainage Paper 56. Roma: FAO. 1998. 297p.

ALMEIDA, T. A.; COSTA NETTO, M.L.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A. ; BRANCO, A. M. Utilização de águas subterrâneas em aluviões no Agreste pernambucano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, 2004, Cuiabá. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2004. 19 p. CD.

AL-SENAFY, M.; ABRAHAM, J. Vulnerability of groundwater resources from agricultural activities in southern Kuwait. **Agricultural Water Management**, v. 64, n. 1. 2004. p. 1-15.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 19ª ed. Washington DC, 1995.

ANTONINO, A.C.D.; SAMPAIO, E.V.S.B.; DALL'OLIO, A; SALCEDO, I.H. Balanço Hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1. Campina Grande, 2000, p. 29-34.

AQUINO, L.A; PUIATTI, M.; PEREIRA, P.R.G.; PEREIRA, F.H.F.; CASTRO, M.R.S; LADEIRA, I.R. Características produtivas do repolho em função de espaçamentos e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.2, Brasília, 2005.

ARYA, L.M.; PARIS, J.F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society American Journal** v. 45, n. 4, p.1023-1030. 1981.

ARTUSO, E.; OLIVEIRA, M.M.; FERREIRA, J.P.C.L. Avaliação da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas so sector de Évora do sistema aqüífero de Évora-Montenegro-Cuba. In: CABRAL et al. (Org.) **Água Subterrânea**: Aqüíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. Tópicos Especiais em recursos Hídricos Vol. 4. Recife: UFPE, 2004, p.277-322.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1984). **NBR – 7181**: Solo – análise granulométrica. 1984, Rio de Janeiro.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. (1995) **A salinidade das águas disponíveis para a pequena agricultura no Sertão nordestino:** caracterização, variação sazonal, limitação de uso. Recife:CNPq, 1995. 128p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **Water Quality for Agriculture:** FAO - Irrigation and Drainage Paper 29, rev. 1. Roma: FAO, 1985. 174 p.

BABIKER, I.S.; MOHAMED, M.A.A.; TERAO, H.; KATO, K.; OHTA, K. Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. **Environment International** v. 29, n. 4, 2004. p. 1009– 1017.

BANCO DO NORDESTE – BNB. **Mapa do Semi-árido.** Disponível em: http:// www.bnb.gov.br/content/aplicacao/Investir_no_Nordeste/Mapa_do_Semi_Arido/gerados/apresentacao.asp. Acesso em: 30 de setembro de 2005.

BASTIAANSSEN, W.G.M; ALLEN, R.G.; DROOGERS, P.; D'URSO, G.; SEDUTO, P. Inserting man's irrigation and drainage wisdom into soil water flow models and bringing it back out: how far have we progressed? In: FEDDES et al. (Org.) **Unsatured-Zone Modeling: Progress, Challenges and Applications**. Wageningen. 2004. p.263-299.

BASTOS, D.C.O. **Manejo da salinidade em irrigação localizada: análise da alternativa de lixiviação incompleta**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2004. 91 p.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6ª edição. Viçosa: Editora da UFV, 1995. 657p.

BIDLEMAN, T.F. Atmospheric transport and air-surface exchange of pesticides. **Water, air and soil pollution,** v. 115, n. 2, 1999. p.115-166.

BLACKBURN, D. **Relatório Final de Bolsa de Pesquisa CNPq**. Recife: UFPE. 2002. 75p.

BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. **Agriculture, Ecossystems and Environment**, v. 88, n. 2, 2002. p.129-136.

BOURAOUI, F.; HAVERKAMP, R.; ZAMMIT, C. Physically-based pedotransfer function for estimating water retention curve shape parameters. In: INTERNATIONAL WORKSHOP CHARACTERIZATION AND MEASUREMENT OF THE HYDRAULIC PROPERTIES OF UNSATURED POROUS MEDIA, 2, Riverside, 1999. **Anais...** , 1999. p.947-958.

BOVOLATO, L.E. Estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas utilizando a metodologia "GOD" para a área urbana de Araguaína/TO. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa. **Anais...** , Porto Alegre: ABRH. CD.

BRAINWOOD, M.A.; BURGIN, S.; MAHESHWARI, B. Temporal variations in water quality of farm dams: impacts of land use and water sources. **Agricultural Water Management**, v. 70, n. 2, 2004. p.151–175.

BRANCO, A.M.; ARAÚJO, G; SUASSUNA, J; VAINSENCHER, S. Água e Sustentabilidade no Semi-Árido Nordestino: A Importância do Uso da Metodologia Participativa em Projetos Multidisciplinares. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE ANTROPOLOGIA, 24, 2004, Recife. **Resumo...** Recife:ABA, 2004. p. 374.

BRANDÃO, C.C.S.; KOIDE, S.; SINOTI, A.L. Estudo da contaminação de águas por atividades agrícolas na sub-bacia do córrego Capão Comprido, Bacia do Rio Descoberto, Distrito Federal – Resultados preliminares. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999. **Anais...,** Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 2201 -2209.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.433: Da Política e Sistema Nacional de Gerenciamentos de Recursos Hídricos publicado em 09 de janeiro de 1997. **Diário Oficial da União**. Presidência da República do Brasil.

BRAUN, H.M.H.; KRUIJINE, R. **Soil conditions**. In: Drainage principles and applications. International institute for land reclamation and improvement. Wageningen, 2ª ed 1994. p. 77-109.

BROOKS, R.H.; COREY, A.T. Hydraulic properties of porous media. **Hydrology Paper,** v. 3, Fort Collins :Colorado State University, 1964. 210p.

CABRAL, J.J.P.S. Movimento das águas subterrâneas. In: CPRM / LABHID / UFPE (Org.) **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações, 2ª ed., Recife: CPRM, 2000. p.35-51.

CAICEDO, N.L. Água Subterrânea. In: Tucci, C. (Org.) **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2ª edição. Porto Alegre: ABRH. 2000. p.289-333.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, vol. 1, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e científicos, 1988. 213 p.

CARVALHO, L.A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo.** Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de São Paulo, 2002. São Paulo. 98 p.

CHICOTA, R.; JONG van LIER, Q. Análise da variabilidade espacial de pontos amostrais da curva de retenção da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n. 3, Viçosa, 2004. p.585-596.

CHU, X.; MARIÑO, M.A. Semidiscret pesticide transport modeling and application. **Journal of Hydrology**, v. 285, n. 1. 2004. p.19-40.

CISAGRO – COMPANHIA AGROPECUÁRIA DE SERVIÇOS AGROPECUÁRIOS. **Projeto de Irrigação da Fazenda Nossa Senhora do Rosário-Pesqueira-PE.** Recife, 1991. 110 p.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 357**, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. Disponível em: http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705.pdf Acesso em: em 15 de março de 2006.

CONESP – COMPANHIA NORDESTINA DE SONDAGENS E PERFURAÇÕES. **Relatório Final de Pesquisa de Manancial:** Nossa Senhora do Rosário, Pesqueira – PE, Recife, 1988. 120 p.

COSTA FILHO, W.D.; COSTA, W.D. Caracterização hidrológica do estado de Pernambuco. In: JOIN WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 2000, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza, 2000. 13p.

COSTA, M.R. **Avaliação de reservatórios constituídos por barragens subterrâneas**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2002. Recife 120p.

COSTA, M.R., MONTENEGRO, S.M.G.L, CIRILO, J.A., MAIA, A., COSTA NETTO, M.L. Avaliação da qualidade da água em fontes superficiais e subterrâneas da região semi-árida do Nordeste. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 2003, Curitiba. **Anais...** , Porto Alegre: ABRH. 2003. CD.

COSTA, W.D. Barragens subterrâneas: conceitos básicos, aspectos locacionais e construtivos. In: CABRAL et al. (Org.) **Água Subterrânea**: Aqüíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. Tópicos Especiais em recursos Hídricos Vol. 4. Recife: UFPE, 2004, p.13-60.

CRAVEN, A; HOY, S. Pesticide persistence and bound residues in soil – regulatory significance. **Environmental Pollution**, v. 133, n. 1, 2005, p.5-9.

DOORENBOS, J. PRUITT, W.O. **Crop Water Requirement:** FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Roma: FAO, 1977. 144p.

DORAN,J.W Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecossystems and Environment**, v.88, n. 2, 2001. p.119-127.

DORES, E.F.G.C.; DE-LAMONICA-FREIRE, E.M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas – estudo de caso: águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso - análise preliminar. **Química Nova**, v. 24, n. 1, 2001. p.27-36.

D'URSO, G.; MENENTI, M.; SANTINI, A. Regional application of one-dimensional water flow models for irrigation management. **Agricultural Water Management**, v. 40, n. 2, 1999. p.291-302.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos** – Manual de Métodos de Análises de Solo. Rio de Janeiro, 1997. p. 153-164.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FESLM: an international framework for evaluating sustainable land management. **World Resources Report 73**. Roma: FAO. 1993. Disponível em: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/T1079E/T1079E00.htm Acesso em 26 de setembro de 2005.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS **Water for food and ecosystems**. 2005a. Disponível em: http://www.fao.org/ag/wfe2005/ . Acesso em: 09 de agosto de 2005.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS **AQUASTAT:** FAO's Online Information System on Water and Agriculture. 2005b. Disponível em: http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/dbase/index.stm . Acesso em: 11 de agosto de 2005.

FEDDES, R.A.; KOWALIK, P.J.; ZARADNY, H. **Simulation of field water use and crop yield.** New York: Jonh Wiley and Sons. 1978.

FERNANDES, F.B.P. Gestão de recursos hídricos nas regiões áridas e semi-áridas como um processo de redução das desigualdades sociais. In: Água e desenvolvimento sustentável, 24, Fortaleza, 2002. **Anais...** , Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2002. p. 69-86.

FERREIRA, S.R.M.; SILVA, J.M.J.; BASTOS, E.G. **Relatório do Projeto REENGE:** Caracterização dos Solos. Recife: UFPE, 1997. 41p.

FERRELL, O.C.; HARTLINE, M.D.; LUCAS JUNIOR, G.L.; LUCK, D. **Estratégia de Marketing**. 1ª ed., São Paulo: Atlas, 2000. 306 p.

FORUM FORSCHUNG. **Konflikt-Quelle der Zunkunft: Die Wasserkrise aus sozialwissenschaftlicher Sicht**. Duisburg: Institut für Entwiklung und Frieden, 2001. 116p.

FOSTER, S.S.D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy, In: van Duijvanbooden, W; van Waegeningh, H.G. (Eds.), **Vulnerability of soil and groundwater to Pollution**, Delft: TNO Committee on Hydrological Research, 1987.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.; ROCHA, G.A. Riscos de Poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1988. p. 175-185.

FRASER, E.D.G.; DOUGILL, A.J.; MABEE, W.E.; REED, M.; MC APLPINE, P. Bottom up and down: Analysis of participatory processes for sustainability indicator identification as a pathway to community empowerment and sustainable environmental management. **Journal of Environmental Management,** v. xx, 2005. p. 1-14.

FREITAS, A.J. Gestão de Recursos Hídricos. In: _____ (Org), Gestão de Recursos Hídricos; aspectos legais, econômicos e sociais. 20ª ed., Brasilia: ABRH, 2000. p.1-120..

GARDNER, K.; VOGEL, R.M. Predicting ground water nitrate concentration from land use. **Groundwater**, v. 43, n. 3, 2005. p.343-352.

GOLDSCHMIDT, A. Análise SWOT na captação de recursos – avaliação de oportunidades, ameaças, pontos fortes e pontos fracos. **Revista Integração**, v. 9, n. 27, 2003. São Paulo. Disponível em: http://integracao.fgvsp.br/ano6/06/financiadores.htm . Acesso em : 26 de setembro de 2005.

GOMES, H.P. **Engenharia de Irrigação:** Hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. Campina Grande: UFPB, 1999. 390p.

GRACE, J.; WILLIAMS, M. Understanding and parameterizing the soil-water-atmosphere transfer through vegetation. In: FEDDES et al. (Org.) **Unsatured-Zone Modeling: Progress, Challenges and Applications**. Wageningen. 2004. p.73-94.

HOFMANN, N.; MITCHELL, B. The RESPECT model: evolving decision-making approaches in water management. **Water Policy** , v. 1, n. 3, 1998. p.341-355.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico Nacional,** 2000. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 04 de julho de 2005.

JALBERT, M.; DANE, J.H. Correcting laboratory retention curves for hidrostatic fluid distributions. **Soil Science Society of America Journal,** v. 65, n. 4, 2001. p.648-654.

KELLY, C. **An investigation of the hydraulic conductivity of a shallow unconfined alluvial aquifer in Pernambuco state, Northeast Brazil.** Dissertação (Mestrado em Civil Engineering), University of Newcastle Upon Tyne, 1995, 78p.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.

KLEEMEIER, E. The impact of participation on Sustainability: an analysis of the Malawi Rural Piped Scheme Program. **World Development**, v. 28, n. 5, 2000. p. 929-944.

KOTLER, P. **Administração de Marketing – A edição do novo milênio**. Rio de Janeiro: Pearson Education do Brasil, 2000. 768p.

LAST, B.J. **Modelling a groundwater dam in anp alluvial ribbon-valley in Pernambuco, Northeast Brazil:** Flow and Salt Transport Modelling. Dissertação (Mestrado em Earth Sciences), University of Birmingham, 2004. CD.

LAHLOU, S.; MRABET, R.; OUADIA, M. Soil physics: a Morocan perspective. **Journal of African Earth Sciences**, v. 39, n. 1, 2004. p. 441-445.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2ª ed. Piracicaba, 2000. 509 p.

LOURENCETTI, C.; RIBEIRO, M.L.; SANTIAGO-SILVA, M. Avaliação do risco de contaminação de água subterrânea por pesticidas: comparação entre modelos. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, Cuiabá, 2004. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2004, CD.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: CPRM / LABHID / UFPE (Org.) Hidrogeologia: conceitos e aplicações, 2ª ed., Recife: CPRM, 2000. p.13-33.

MBONILE, M.J. Migration and intensification of water conflicts in the Pangani Basin. **Tanzânia. Habitat International**, v. 29, n. 1, 2005. p. 41–67.

MERMOUD, A.; TAMINI, T.D.; YACOUBA, H. Impacts of diferent irrigation schedules on the water balance components of an onion crop in a semi-arid zone. **Agricultural Water Management**. Article in Press. 2005. 12p.

MILMO, P.C. **A water use assessment of the Mutuca valley, NE Brazil.** Dissertação (Mestrado em Earth Sciences). University of Birmingham, Birmingham, 2004. CD.

MMA. **Portaria Nº 36/GM**, publicado em 19 de janeiro de 1990. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/25_Recursos_Hidricos_Subterraneos.pdf. Acesso em: 04 de julho de 2005.

MONTENEGRO, A.A.A. **Stochastic hydrogeological modeling of aquifer salinization from small scale agriculture in Northeast Brazil**. Tese de doutorado, University of Newcastle Upon Tyne. New Castle Upon Tyne, 1997. 227p.

MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A. Uso de funções de transferência hidropedológica em uma área irrigada do estado de Pernambuco visando aplicação em modelagem espacial estocástica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória. **Anais...** , Porto Alegre: ABRH, 1997. CD.

MONTENEGRO, S.M.G.L., MONTENEGRO, A.A.A., ALMEIDA, T.A., CORRÊA, M.M. Qualidade da água em aqüífero aluvial sob uso agrícola no agreste do estado de Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 5, 2000, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2000. 10p. CD.

MONTENEGRO, S.M.G.L., MONTENEGRO, A.A.A., RIBEIRO, M. R., CORRÊA, M.M., ALMEIDA, T.A., MAIA, F.M.V.L. Análise da variabilidade espacial da salinidade em área irrigada e do nível d'água em aluvião sob uso agrícola na região semi-árida do Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14 / SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 5, 2001, Aracaju. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2001. 13p. CD.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ALMEIDA, T. A. ; COSTA NETTO, M.L. Uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos em vales aluviais no semi-árido. In: BAN 2004: água e desafios das co-existências no semi-árido, 2004, Xingo. **Resumos...** , Recife: UFPE, 2004. Xingó. 21p.

MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A. Aproveitamento sustentável de aqüíferos aluviais no semi-árido. In: CABRAL et al. (Org.) **Água Subterrânea**: Aqüíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. Tópicos Especiais em recursos Hídricos Vol. 4. Recife: UFPE, 2004, p.61-123.

MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, R.; SANTOS, F.X.; ANDRADE, T.; SILVA, J.R.L. **Relatório Final Projeto KaR:** Manejo de Irrigação. UFRPE / UFPE / DFID. Recife. 2005a. 32 p.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L; ALMEIDA, T.A.; COSTA NETTO, M.L. **Relatório Final Projeto KaR:** Monitoramento participativo e disseminação tecnológica. UFRPE / UFPE / DFID. Recife. 2005b. 20 p.

MORSE, S. Putting the pieces back together again: an illustration of the problem of interpreting development indicators using an African case study. **Applied Geography**, v. 24, n. 1, 2004. p.1-22.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsatured porous media. **Water Resources Res**., v. 12, n. 3, 1976. p. 513-522.

PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. Determinação da condutividade hidráulica a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, n. 1, Viçosa, 1988. p. 189-195.

PERNAMBUCO. **Lei Estadual Nº 11.426:** Da Política e do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, publicado em 17 de janeiro de 1997. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Recursos Hídricos.

PERNAMBUCO. **Lei Estadual Nº 11.427:** Da Conservação e Proteção das Águas Subterrâneas no Estado, publicado em 17 de janeiro de 1997. Governo do Estado de Pernambuco. Secretaria de Recursos Hídricos.

PERNAMBUCO. **Lei Estadual Nº 12.984**: Política e Sistema de gerenciamento de Recursos hídricos de Pernambuco. Publicado em 30 de dezembro de 2005.Governo do Estado de Pernambuco. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente.

PIPER, A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. **Trans. American Geophysical Union**, v. 25, 1944. p. 914-928.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba. 1996. 446p.

PROTECS – PROJETOS TÉCNICOS LTDA. **Estudo de Pré-variabilidade do Projeto de Irrigação e drenagem de Campo Alegre**. Pesqueira, 1991. 150p.

RAGAB, R ; COOPER, J.D. Obtaining soil hydraulic properties from field, laboratory and predictive methods. **Institute of Hydrology**, Wallingford, 1990.

RAUSCHMAYER, F.; RISSE, N. A framework for the selection of participatory approaches for SEA. **Environmental Impact Assessment Review**, v.25, 2005. p. 650–666.

RAWS, W.J.; BRAKENSIEK, D.L. Estimation of soil water retention and hydraulic properties. In: _____. **Unsatured Flow in Hydrologic Modeling Theory and Practice**. 1989. p.275-300.

RAWS, W.J.; GISH, T.J.; BRAKENSIEK, D.L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics**. Advances in Soil Science 16**. New york: Springer-Verlag New York Inc., 1991. p. 213-233.

REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil**.** In: _____. **Águas Doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 1-38.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência do Sistema Solo-Planta-Atmosfera.** 4ª ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 446p.

RICHARDS, L.A. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. Reprinted from **Soil Science,** v. 51, n. 5. 1941. 10p.

RIGHETTO, A .M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 819p.

SALCHOW, E.; LAL, R.; FAUSEY, N.R.; WARD, A. Pedotransfer functions for variable alluvial soils in southern Ohio**. Geoderma**, v 73, 1996. p.165-181.

SANTIAGO, F. S. **Efeito do manejo da irrigacao na salinidade e umidade de um neossolo fluvico, com a cultivar de repolho midori (Brassica oleracea var. capitata) no município de Pesqueira/PE.** Dissertação (Mestrado em Agronomia e Ciência do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2002. 110p.

SANTOS, A.C.M.; FIALHO, N.H.; TARQUI, J.L.Z. Participação, educação ambiental e gestão dos recursos hídricos. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 7, 2005, Évora. **Anais…** , Lisboa: APRH, 2005. CD.

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. J.; ROMBERGER, J. S.; PAPENDICK, R. I. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, Madison, 1986. p. 1031-1036.

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO – SECTMA/PE. **Agenda 21 do Estado de Pernambuco.** Recife: Centru / FADE / FADURPE / UNIECO / SECTMA. 2002. 261 p.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **O Aqüífero**: Ciclo Hidrológico. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/ aquifero/def_aquifero.htm . Acesso em: 10 de agosto de 2005.

SETTI, A.A.; LIMA, J.E.F.W.; CHAVES, A.G.M; PEREIRA, I.C. **Introdução ao gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2ª edição. Brasília: ANA/ANEEL, 2001, 58 p.

SCHAAP, M.G.; LEIJ, F.J. Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. **Soil & Tillage Research**, v. 47, 1998. p. 37-42.

SCHAAP, M.G.; LEIJ, F.J.; VAN GENUCHTEN, M. TH. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. **Journal of Hydrology**, v. 251, 2001. p. 163-176.

SHOLL, S. **Modelling the hydrological cycle of a semi-arid, alluvial valley in Northeast Brazil.** Dissertação (Mestrado em Earth Sciences). University of Birmingham, Birmingham, 2005. CD.

SILVA, S.M.P. A distribuição espacial das reservas subterrâneas do nordeste e a Transposição do rio São Francisco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 5, 2000, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2000, 11 p. CD.

SILVA, K.C.M. **Avaliação do manejo da irrigação por microaspersão da cultura do repolho em região semi-árida.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. 83p.

ŠIMŮNEK, J.; ŠEJNA, M.; VAN GENUCHTEN, M.TH. **The HYDRUS 1D for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably-satured media -** Version 2.0 – US Salinity Laboratory Agricultural Research Service. US Department of Agriculture. Riverside, 1998. 204p.

STACEY, D. Water users organizations. **Agricultural Water Management**, v. 40, 1999. p.83-87.

TANAKA, Y.; SATO, Y. Farmers managed irrigation districts in Japan: Assessing how fairness may contribute to sustainability. **Agricultural Water Management**, v. 77, 2005. p.196-209.

TANJI, K.K.; KIELEN, N.C. **Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semiarid Areas:** FAO – Irrigation and Drainage Paper 61. Roma: FAO. 2002. 297p.

TELLES, D.D. Água na agricultura e pecuária. In: _____. **Águas Doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 305-338.

THOMSON, A.J. Indicator-based knowledge management for participatory decision-making. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v. 49, 2005. p.206-218.

TUCCI, C. E. M., BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. (Org.) **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2ª edição. Porto Alegre: ABRH, 2000. p.253-287.

TUTEJAA, N.K.; BEALEB, G.; DAWESC, W.; VAZEA, J.; MURPHYD, B.; BARNETTA, P.; RANCICB, A.; EVANSE, R.; GEEVESD, G.; RASSAMF, D.W.; MILLER, M. Predicting the effects of land use change on water and salt balance – a case study of a catchment affected by dryland salinity in NSW, Australia. **Journal of Hydrology**, v. 283, 2003. p. 67–90.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils** (Agriculture handbook nº 60). Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil Survey Manual.** Natural Resources Conservation Service, edição revisada, 1993. Disponível em: http://soils.usda.gov/technical/manual/contents/index.html . Acesso em: 13 de junho de 2005.

VANCLOSTER, M.; VIAENE, P.; DIELS, J.; CHRISTIAENS, K. **WAVE**: a mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment – Reference and user's manual 2.0. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven, 1994. 138 p.

VAN DAM, J.C.; ROOIJ, G.H.; HEINEN, M.; STAGNITTI, F. Concepts and dimensionality in modeling unsatured water flow and solute transport. In: FEDDES et

al. (Org.) **Unsatured-Zone Modeling:** Progress, Challenges and Applications. Wageningen. 2004. p.1-36.

VANDERVAERE, J.; VAUCLIN, M.; ELRICK, D.E. Transient flow from tension infiltomters: Four Methods to Determine Sorptivity and Conductivity. **Soil Science Society of American Journal**, v. 64, n. 8, 2002. p.1272-1284.

VAN DIJK, H.F.G.; GUICHERIT, R. Atmospheric dispersion of current-use pesticides: a review of the evidence from monitoring studies. **Water, air and soil pollution**, v. 115, 1999. p.21-70.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 44, 1980. p. 892–898.

VAN GENUCHTEN, M. TH; ŠIMŮNEK, J. Integrated modeling of vadose-zone flow and transport processes. In: FEDDES et al. (Org.) **Unsatured-Zone Modeling**: Progress, Challenges and Applications. Wageningen. 2004. p.37-69.

VOGEL, T.; CÍSLEROVÁ, M. On the reliability of unsatured hydraulic conductivity calculated from the moisture retention curve. **Transport in Porous Media**, v. 3, 1988. p. 1-15.

WALKER, W.R. **Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems**: FAO –Irrigation and Drainage Paper 45. Roma: FAO, 1989.

WORALL, F.; KOLPIN, D.W. Aquifer vulnerability to pesticide pollution –combining soil, land-use and aquifer properties with molecular descriptors. **Journal of Hydrology**, v. 293, 2004. p.191–204.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT – WCED. **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

ZALIDIS, G.; STAMATIADIS, S.; TAKAVAKOGLOU, V.; ESKRIDGE, K.; MISOPOLINOS, N. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, 2002. p. 137–146.

ZINATO, M.C. A construção da cidadania propulsionada pela água. In:_____ (Eds.). **Gestão de Recursos Hídricos**: aspectos legais, econômicos e sociais. 20ª ed., Brasília: ABRH, 2000. p.619-659.

ANEXO A - Dados agroclimatológicos

Planilha geral - Análise dos lotes com cultura do REPOLHO

Cafundó 2

Dia modelagem	Data	Chuva (mm)	Eto (mm)	Eto (cm)	ETR (cm)	Prec - ETR (cm) em módulo	Tempo Irrigação Repolho 1 (horas)	Tempo Irrigação Repolho 2 (horas)	Tempo Irrigação Repolho 3 (horas)
1	8/4/2005	0	6.9	0.69	0.5175	0.5175	0.5	0.666667	0
2	9/4/2005	0	5.7	0.57	0.4275	0.4275	0	0	2.166667
3	10/4/2005	0	4.9	0.49	0.3675	0.3675	0.666667	0	0
4	11/4/2005	0	3.3	0.33	0.2475	0.2475	0	0	0
5	12/4/2005	0	6.6	0.66	0.495	0.495	0	2	2
6	13/4/2005	0	4.6	0.46	0.345	0.345	1.166667	0	0
7	14/4/2005	0	4.5	0.45	0.3375	0.3375	0	0	0
8	15/4/2005	0	5.5	0.55	0.4125	0.4125	0.5	0	0
9	16/4/2005	0	6.2	0.62	0.465	0.465	0	2	0
10	17/4/2005	0	4.3	0.43	0.3225	0.3225	0	0	0
11	18/4/2005	0	7.2	0.72	0.54	0.54	0	0	0
12	19/4/2005	0	6.3	0.63	0.4725	0.4725	1.333333	0.666667	0
13	20/4/2005	0	6.2	0.62	0.465	0.465	0.333333	0	2
14	21/4/2005	0	4.4	0.44	0.33	0.33	0	0	0
15	22/4/2005	0	6.6	0.66	0.495	0.495	0.916667	0	2
16	23/4/2005	0	4.8	0.48	0.36	0.36	0	2	0
17	24/4/2005	0	6.7	0.67	0.5025	0.5025	1	0	0
18	25/4/2005	0	6.5	0.65	0.4875	0.4875	0	0	0
19	26/4/2005	0	3.2	0.32	0.24	0.24	0	0	0
20	27/4/2005	2	6.6	0.66	0.495	0.295	0	2	0
21	28/4/2005	33.8	2.2	0.22	0.165	-3.215	0	0	0
22	29/4/2005	0	5.9	0.59	0.4425	0.4425	0	0	0
23	30/4/2005	6.4	4	0.4	0.3	-0.34	0	0	0
24	1/5/2005	0	5.3	0.53	0.3975	0.3975	0	0	0
25	2/5/2005	0	5.4	0.54	0.405	0.405	0	0	0
26	3/5/2005	5.6	2.7	0.27	0.2025	-0.3575	0	0	0
27	4/5/2005	3	7.5	0.75	0.5625	0.2625	0	0	0
28	5/5/2005	0.2	-0.3	0	0	-0.02	0	0	0
29	6/5/2005	0	5.1	0.51	0.3825	0.3825	0	0	0
30	7/5/2005	4.2	2.1	0.21	0.1575	-0.2625	0	0	0
31	8/5/2005	5.4	3.3	0.33	0.2475	-0.2925	0	0	0
32	9/5/2005	0	3.6	0.36	0.27	0.27	0	0	0
33	10/5/2005	0	2.5	0.25	0.1875	0.1875	0	1.5	1.5
34	11/5/2005	0	4.3	0.43	0.3225	0.3225	0	0	0
35	12/5/2005	0.8	2	0.2	0.15	0.07	0	0	0
36	13/5/2005	2.4	1.9	0.19	0.1425	-0.0975	0	0	0
37	14/5/2005	2.6	-11	0	0	-0.26	0	0	0
38	15/5/2005	1.6	0.5	0.05	0.0375	-0.1225	0	0	0
39	16/5/2005	0	4.3	0.43	0.3225	0.3225	0	0	0
40	17/5/2005	3.4	0.1	0.01	0.0075	-0.3325	0	0	0
41	18/5/2005	0	3.4	0.34	0.255	0.255	0	0	0
42	19/5/2005	0	5.8	0.58	0.435	0.435	0	2.25	2.25
43	20/5/2005	4.4	3.9	0.39	0.2925	-0.1475	0	0	0
44	21/5/2005	5.6	1	0.1	0.075	-0.485	0	0	0
45	22/5/2005	1	3.5	0.35	0.2625	0.1625	0	0	0
46	23/5/2005	1.1	2.8	0.28	0.21	0.1	0	2	2
47	24/5/2005	0	5.8	0.58	0.435	0.435	0	0	0
48	25/5/2005	0	4.6	0.46	0.345	0.345	0	0	0
49	26/5/2005	0	5	0.5	0.375	0.375	0.25	3	3
50	27/5/2005	4.8	3.7	0.37	0.2775	-0.2025	0	0	0
51	28/5/2005	1.4	2.9	0.29	0.2175	0.0775	0	0	0
52	29/5/2005	0	5.8	0.58	0.435	0.435	0	2	2
53	30/5/2005	4.4	5.7	0.57	0.4275	-0.0125	0	0	0
54	31/5/2005	2.2	0.6	0.06	0.045	-0.175	0	0	0
55	1/6/2005	3	0.2	0.02	0.015	-0.285	0	0	0
56	2/6/2005	3.8	1.9	0.19	0.1425	-0.2375	0	0	0
57	3/6/2005	6.8	-0.3	0	0	-0.68	0	0	0

Planilha geral - Análise dos lotes com cultura do REPOLHO

Cafundó 2

Dia modelagem	Data	Chuva (mm)	Eto (mm)	Eto (cm)	ETR (cm)	Prec - ETR (cm) em módulo	Tempo Irrigação Repolho 1 (horas)	Tempo Irrigação Repolho 2 (horas)	Tempo Irrigação Repolho 3 (horas)
58	**4/6/2005**	0	4.2	0.42	0.315	0.315	0	0	0
59	**5/6/2005**	0	3.5	0.35	0.2625	0.2625	0	0	0
60	**6/6/2005**	0	2.4	0.24	0.18	0.18	0	3	2
61	**7/6/2005**	0	3.4	0.34	0.255	0.255	0	0	0
62	**8/6/2005**	3.6	6.9	0.69	0.5175	0.1575	0	0	2.25
63	**9/6/2005**	0	5	0.5	0.375	0.375	0	0	0
64	**10/6/2005**	0	3.7	0.37	0.2775	0.2775	0.75	0	0
65	**11/6/2005**	0	0.9	0.09	0.0675	0.0675	0	0	0
66	**12/6/2005**	0	6.8	0.68	0.51	0.51	0.5	3.25	0
67	**13/6/2005**	0	-7.4	0	0	0	0	0	0
68	**14/6/2005**	0	-9.2	0	0	0	0	0	0
69	**15/6/2005**	2.8	16.9	1.69	1.2675	0.9875	0	0	0
70	**16/6/2005**	14.2	2.3	0.23	0.1725	-1.2475	0	0	0
71	**17/6/2005**	0	-2.2	0	0	0	0	0	0
72	**18/6/2005**	0	-2.3	0	0	0	0	0	0
73	**19/6/2005**	4.8	13.5	1.35	1.0125	0.5325	0	0	0
74	**20/6/2005**	9.4	3.5	0.35	0.2625	-0.6775	0	0	0
75	**21/6/2005**	0	-1.1	0	0	0	0	0	0
76	**22/6/2005**	0	10.5	1.05	0.7875	0.7875	0	0	0
77	**23/6/2005**	6	3.1	0.31	0.2325	-0.3675	0	0	0
78	**24/6/2005**	0	3.6	0.36	0.27	0.27	0	0	0
79	**25/6/2005**	0	-9.1	0	0	0	0	0	0
80	**26/6/2005**	0	12.3	1.23	0.9225	0.9225	0	0	0
81	**27/6/2005**	10.4	-12.3	0	0	-1.04	0	0	0
82	**28/6/2005**	1.2	12.1	1.21	0.9075	0.7875	0	0	0
83	**29/6/2005**	10.2	9.3	0.93	0.6975	-0.3225	0	0	0
84	**30/6/2005**	3.2	2.4	0.24	0.18	-0.14	0	0	0

		Coef. do teste de lâmina (mm/h)								
		10.1	3.63	4.14						
Dia modelagem	**Data**	**Irrigação Repolho 1 (mm)**	**Irrigação Repolho 2 (mm)**	**Irrigação Repolho 3 (mm)**	**Ppt + Irri Repolho 1 (mm)**	**Ppt + Irri Repolho 2 (mm)**	**Ppt + Irri Repolho 3 (mm)**	**Ppt + Irri Repolho 1 (cm)**	**Ppt + Irri Repolho 2 (cm)**	**Ppt + Irri Repolho 3 (cm)**
1	**8/4/2005**	5.05	2.42	0	5.05	2.42	0	0.505	0.242	0
2	**9/4/2005**	0	0	8.97	0	0	8.97	0	0	0.897
3	**10/4/2005**	6.7333333	0	0	6.733	0	0	0.67333	0	0
4	**11/4/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	**12/4/2005**	0	7.26	8.28	0	7.26	8.28	0	0.726	0.828
6	**13/4/2005**	11.783333	0	0	11.78	0	0	1.17833	0	0
7	**14/4/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	**15/4/2005**	5.05	0	0	5.05	0	0	0.505	0	0
9	**16/4/2005**	0	7.26	0	0	7.26	0	0	0.726	0
10	**17/4/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	**18/4/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	**19/4/2005**	13.466667	2.42	0	13.47	2.42	0	1.34667	0.242	0
13	**20/4/2005**	3.3666667	0	8.28	3.367	0	8.28	0.33667	0	0.828
14	**21/4/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	**22/4/2005**	9.2583333	0	8.28	9.258	0	8.28	0.92583	0	0.828
16	**23/4/2005**	0	7.26	0	0	7.26	0	0	0.726	0
17	**24/4/2005**	10.1	0	0	10.1	0	0	1.01	0	0
18	**25/4/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	**26/4/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	**27/4/2005**	0	7.26	0	2	9.26	2	0.2	0.926	0.2
21	**28/4/2005**	0	0	0	33.8	33.8	33.8	3.38	3.38	3.38
22	**29/4/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	**30/4/2005**	0	0	0	6.4	6.4	6.4	0.64	0.64	0.64
24	**1/5/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	**2/5/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	**3/5/2005**	0	0	0	5.6	5.6	5.6	0.56	0.56	0.56
27	**4/5/2005**	0	0	0	3	3	3	0.3	0.3	0.3
28	**5/5/2005**	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.02	0.02	0.02
29	**6/5/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	**7/5/2005**	0	0	0	4.2	4.2	4.2	0.42	0.42	0.42
31	**8/5/2005**	0	0	0	5.4	5.4	5.4	0.54	0.54	0.54
32	**9/5/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	**10/5/2005**	0	5.445	6.21	0	5.445	6.21	0	0.5445	0.621
34	**11/5/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	**12/5/2005**	0	0	0	0.8	0.8	0.8	0.08	0.08	0.08
36	**13/5/2005**	0	0	0	2.4	2.4	2.4	0.24	0.24	0.24
37	**14/5/2005**	0	0	0	2.6	2.6	2.6	0.26	0.26	0.26
38	**15/5/2005**	0	0	0	1.6	1.6	1.6	0.16	0.16	0.16
39	**16/5/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	**17/5/2005**	0	0	0	3.4	3.4	3.4	0.34	0.34	0.34
41	**18/5/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	**19/5/2005**	0	8.1675	9.315	0	8.1675	9.315	0	0.81675	0.9315
43	**20/5/2005**	0	0	0	4.4	4.4	4.4	0.44	0.44	0.44
44	**21/5/2005**	0	0	0	5.6	5.6	5.6	0.56	0.56	0.56
45	**22/5/2005**	0	0	0	1	1	1	0.1	0.1	0.1
46	**23/5/2005**	0	7.26	8.28	1.1	8.36	9.38	0.11	0.836	0.938
47	**24/5/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	**25/5/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	**26/5/2005**	2.525	10.89	12.42	2.525	10.89	12.42	0.2525	1.089	1.242
50	**27/5/2005**	0	0	0	4.8	4.8	4.8	0.48	0.48	0.48
51	**28/5/2005**	0	0	0	1.4	1.4	1.4	0.14	0.14	0.14
52	**29/5/2005**	0	7.26	8.28	0	7.26	8.28	0	0.726	0.828
53	**30/5/2005**	0	0	0	4.4	4.4	4.4	0.44	0.44	0.44
54	**31/5/2005**	0	0	0	2.2	2.2	2.2	0.22	0.22	0.22
55	**1/6/2005**	0	0	0	3	3	3	0.3	0.3	0.3
56	**2/6/2005**	0	0	0	3.8	3.8	3.8	0.38	0.38	0.38
57	**3/6/2005**	0	0	0	6.8	6.8	6.8	0.68	0.68	0.68

		Coef. do teste de lâmina (mm/h)								
		10.1	3.63	4.14						
Dia modelagem	**Data**	**Irrigação Repolho 1 (mm)**	**Irrigação Repolho 2 (mm)**	**Irrigação Repolho 3 (mm)**	**Ppt + Irri Repolho 1 (mm)**	**Ppt + Irri Repolho 2 (mm)**	**Ppt + Irri Repolho 3 (mm)**	**Ppt + Irri Repolho 1 (cm)**	**Ppt + Irri Repolho 2 (cm)**	**Ppt + Irri Repolho 3 (cm)**
58	**4/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	**5/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	**6/6/2005**	0	10.89	8.28	0	10.89	8.28	0	1.089	0.828
61	**7/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	**8/6/2005**	0	0	9.315	3.6	3.6	12.92	0.36	0.36	1.2915
63	**9/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	**10/6/2005**	7.575	0	0	7.575	0	0	0.7575	0	0
65	**11/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	**12/6/2005**	5.05	11.7975	0	5.05	11.798	0	0.505	1.17975	0
67	**13/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	**14/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	**15/6/2005**	0	0	0	2.8	2.8	2.8	0.28	0.28	0.28
70	**16/6/2005**	0	0	0	14.2	14.2	14.2	1.42	1.42	1.42
71	**17/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	**18/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	**19/6/2005**	0	0	0	4.8	4.8	4.8	0.48	0.48	0.48
74	**20/6/2005**	0	0	0	9.4	9.4	9.4	0.94	0.94	0.94
75	**21/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	**22/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	**23/6/2005**	0	0	0	6	6	6	0.6	0.6	0.6
78	**24/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	**25/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	**26/6/2005**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	**27/6/2005**	0	0	0	10.4	10.4	10.4	1.04	1.04	1.04
82	**28/6/2005**	0	0	0	1.2	1.2	1.2	0.12	0.12	0.12
83	**29/6/2005**	0	0	0	10.2	10.2	10.2	1.02	1.02	1.02
84	**30/6/2005**	0	0	0	3.2	3.2	3.2	0.32	0.32	0.32

alt KC

Dia modelagem	Data	Kc (Doorenbos&Pruitt,1977)	ETP (cm)	Idade da cultura (dias)	LAI	Ep (cm)	Tp (cm)	Ep acumulado (cm)	Tp acumulado (cm)
1	8/4/2005	0.6	0.31	21	0.11	0.291	0.02	0.291	0.019
2	9/4/2005	0.61	0.26	22	0.12	0.243	0.02	0.535	0.037
3	10/4/2005	0.62	0.23	23	0.12	0.211	0.02	0.746	0.053
4	11/4/2005	0.63	0.16	24	0.13	0.144	0.01	0.890	0.065
5	12/4/2005	0.64	0.32	25	0.14	0.291	0.03	1.181	0.091
6	13/4/2005	0.65	0.22	26	0.15	0.205	0.02	1.385	0.111
7	14/4/2005	0.66	0.22	27	0.16	0.202	0.02	1.587	0.132
8	15/4/2005	0.67	0.28	28	0.17	0.249	0.03	1.837	0.159
9	16/4/2005	0.68	0.32	29	0.18	0.284	0.03	2.120	0.191
10	17/4/2005	0.69	0.22	30	0.19	0.199	0.02	2.319	0.215
11	18/4/2005	0.7	0.38	31	0.20	0.335	0.04	2.654	0.258
12	19/4/2005	0.71	0.34	32	0.21	0.296	0.04	2.950	0.297
13	20/4/2005	0.72	0.33	33	0.22	0.294	0.04	3.244	0.338
14	21/4/2005	0.73	0.24	34	0.23	0.210	0.03	3.454	0.369
15	22/4/2005	0.74	0.37	35	0.24	0.318	0.05	3.772	0.418
16	23/4/2005	0.75	0.27	36	0.25	0.233	0.04	4.005	0.455
17	24/4/2005	0.76	0.38	37	0.26	0.328	0.05	4.332	0.509
18	25/4/2005	0.77	0.38	38	0.26	0.320	0.06	4.653	0.564
19	26/4/2005	0.78	0.19	39	0.27	0.159	0.03	4.811	0.592
20	27/4/2005	0.79	0.39	40	0.28	0.330	0.06	5.141	0.654
21	28/4/2005	0.8	0.13	41	0.29	0.111	0.02	5.252	0.675
22	29/4/2005	0.8	0.35	42	0.30	0.295	0.06	5.547	0.734
23	30/4/2005	0.8	0.24	43	0.31	0.199	0.04	5.746	0.775
24	1/5/2005	0.8	0.32	44	0.32	0.262	0.06	6.009	0.830
25	2/5/2005	0.8	0.32	45	0.33	0.266	0.06	6.275	0.888
26	3/5/2005	0.8	0.16	46	0.34	0.132	0.03	6.407	0.918
27	4/5/2005	0.8	0.45	47	0.35	0.365	0.08	6.772	1.003
28	5/5/2005	0.8	0.00	48	0.36	0.000	0.00	6.772	1.003
29	6/5/2005	0.8	0.31	49	0.37	0.245	0.06	7.017	1.064
30	7/5/2005	0.8	0.13	50	0.38	0.100	0.03	7.118	1.089
31	8/5/2005	0.8	0.20	51	0.39	0.157	0.04	7.275	1.130
32	9/5/2005	0.8	0.22	52	0.40	0.170	0.05	7.445	1.176
33	10/5/2005	0.8	0.15	53	0.40	0.118	0.03	7.563	1.208
34	11/5/2005	0.8	0.26	54	0.41	0.201	0.06	7.764	1.265
35	12/5/2005	0.8	0.12	55	0.42	0.093	0.03	7.857	1.292
36	13/5/2005	0.8	0.11	56	0.43	0.088	0.03	7.945	1.318
37	14/5/2005	0.8	0.00	57	0.44	0.000	0.00	7.945	1.318
38	15/5/2005	0.8	0.03	58	0.45	0.023	0.01	7.968	1.325
39	16/5/2005	0.8	0.26	59	0.46	0.196	0.06	8.163	1.388
40	17/5/2005	0.8	0.01	60	0.47	0.005	0.00	8.168	1.389
41	18/5/2005	0.8	0.20	61	0.48	0.153	0.05	8.321	1.440
42	19/5/2005	0.8	0.35	62	0.49	0.260	0.09	8.580	1.528
43	20/5/2005	0.8	0.23	63	0.50	0.174	0.06	8.754	1.589
44	21/5/2005	0.8	0.06	64	0.51	0.044	0.02	8.798	1.605
45	22/5/2005	0.8	0.21	65	0.52	0.154	0.06	8.952	1.661
46	23/5/2005	0.8	0.17	66	0.53	0.123	0.05	9.075	1.706
47	24/5/2005	0.8	0.35	67	0.54	0.252	0.10	9.327	1.802
48	25/5/2005	0.8	0.28	68	0.54	0.199	0.08	9.526	1.879
49	26/5/2005	0.8	0.30	69	0.55	0.215	0.08	9.741	1.964
50	27/5/2005	0.8	0.22	70	0.56	0.158	0.06	9.900	2.027
51	28/5/2005	0.8	0.17	71	0.57	0.123	0.05	10.023	2.078
52	29/5/2005	0.8	0.35	72	0.58	0.245	0.10	10.268	2.181
53	30/5/2005	0.8	0.34	73	0.59	0.240	0.10	10.508	2.283
54	31/5/2005	0.8	0.04	74	0.60	0.025	0.01	10.533	2.294
55	1/6/2005	0.8	0.01	75	0.61	0.008	0.00	10.542	2.297
56	2/6/2005	0.80	0.11	76	0.62	0.078	0.04	10.620	2.333
57	3/6/2005	0.79	0.00	77	0.63	0.000	0.00	10.620	2.333

alt KC

Dia modelagem	Data	Kc (Doorenbos&Pruitt,1977)	ETP (cm)	Idade da cultura (dias)	LAI	Ep (cm)	Tp (cm)	Ep acumulado (cm)	Tp acumulado (cm)
58	**4/6/2005**	0.79	0.25	78	0.64	0.170	0.08	10.789	2.412
59	**5/6/2005**	0.79	0.21	79	0.65	0.140	0.07	10.929	2.478
60	**6/6/2005**	0.78	0.14	80	0.66	0.095	0.05	11.024	2.524
61	**7/6/2005**	0.78	0.20	81	0.67	0.133	0.07	11.158	2.590
62	**8/6/2005**	0.78	0.40	82	0.68	0.268	0.13	11.425	2.723
63	**9/6/2005**	0.77	0.29	83	0.68	0.192	0.10	11.617	2.821
64	**10/6/2005**	0.77	0.21	84	0.69	0.141	0.07	11.758	2.894
65	**11/6/2005**	0.77	0.05	85	0.70	0.034	0.02	11.792	2.912
66	**12/6/2005**	0.76	0.39	86	0.71	0.253	0.14	12.045	3.047
67	**13/6/2005**	0.76	0.00	87	0.72	0.000	0.00	12.045	3.047
68	**14/6/2005**	0.76	0.00	88	0.73	0.000	0.00	12.045	3.047
69	**15/6/2005**	0.75	0.95	89	0.74	0.611	0.34	12.656	3.389
70	**16/6/2005**	0.75	0.13	90	0.75	0.082	0.05	12.738	3.436
71	**17/6/2005**	0.74	0.00	91	0.76	0.000	0.00	12.738	3.436
72	**18/6/2005**	0.74	0.00	92	0.77	0.000	0.00	12.738	3.436
73	**19/6/2005**	0.74	0.75	93	0.78	0.468	0.28	13.207	3.714
74	**20/6/2005**	0.73	0.19	94	0.79	0.120	0.07	13.327	3.787
75	**21/6/2005**	0.73	0.00	95	0.80	0.000	0.00	13.327	3.787
76	**22/6/2005**	0.73	0.57	96	0.81	0.353	0.22	13.680	4.007
77	**23/6/2005**	0.72	0.17	97	0.82	0.103	0.07	13.783	4.072
78	**24/6/2005**	0.72	0.19	98	0.83	0.119	0.08	13.902	4.148
79	**25/6/2005**	0.72	0.00	99	0.83	0.000	0.00	13.902	4.148
80	**26/6/2005**	0.71	0.66	100	0.84	0.397	0.26	14.299	4.409
81	**27/6/2005**	0.71	0.00	101	0.85	0.000	0.00	14.299	4.409
82	**28/6/2005**	0.71	0.64	102	0.86	0.382	0.26	14.681	4.669
83	**29/6/2005**	0.70	0.49	103	0.87	0.291	0.20	14.972	4.868
84	**30/6/2005**	0.70	0.13	104	0.88	0.074	0.05	15.046	4.920

ANEXO B - Tensiometria

Registros de tensiometria

REPOLHO 1 (área de cima, próximo à cebola)

Leitura **cubeta=** 40 cm

			Dia	10	20	30	40	60	80	100	120
1	8/4/2005	**Mês: Abril_05**	**8**	5.4	7.2	8.2	6.6	9.8	11	13	15.4
2	9/4/2005		**9**	7.8	7.2	8	6.4	10	11.4	13	15.2
3	10/4/2005		**10**	10	7.4	8.4	7.2	10.4	11.4	13.2	15.2
4	11/4/2005		**11**	13.6	7.6	8.4	7.2	10.6	11.4	13.2	15
5	12/4/2005		**12**	8.6	6.6	8.4	6.6	10.6	11.6	13.2	15
6	13/4/2005		**13**	8	7.4	9.2	6.2	11.2	11.6	13.4	15.2
7	14/4/2005		**14**	7.6	7.4	8.8	6.2	10.6	11.6	13.4	15.2
8	15/4/2005		**15**	10	7.4	9	6.2	10.8	11.6	13.4	14.8
9	16/4/2005		**16**	5.4	7.2	8.4	6	10.4	11.6	13.2	14.6
10	17/4/2005		**17**	8.4	7.6	9	6.2	10.6	12	13.4	15.2
11	18/4/2005		**18**	5.2	5.2	7	6	9.8	12	13.4	14.8
12	19/4/2005		**19**	7.8	6.6	7.2	6	9.6	11.6	13.4	15
13	20/4/2005		**20**	8.2	7	7.4	8.6	9.6	10.8	9.8	14.6
14	21/4/2005		**21**	10.4	7.8	7.8	6.6	10	11	10.4	14.8
15	22/4/2005		**22**	9.6	8.2	8	5.6	10	10.8	10.6	14.6
16	23/4/2005		**23**	10.2	8.2	8.2	6.2	10.4	11.2	9.6	14.6
17	24/4/2005		**24**	12.4	8.4	8	6.6	10.4	11.2	12.6	6.4
18	25/4/2005		**25**	14.2	9.2	8.2	7.2	10.4	11.2	12.8	6.6
19	26/4/2005		**26**	7	9.8	8.6	7.6	10.8	11.6	13.2	5.8
20	27/4/2005		**27**	7.8	9	9.6	8	10.6	11.6	13.2	10.2
21	28/4/2005		**28**	6	6.2	6.8	7.4	9.2	10.2	12.4	14.8
22	29/4/2005		**29**	6.6	6.6	7.2	6.6	9.2	10	12.4	14.4
23	30/4/2005		**30**	6.6	6.4	7.2	6.4	9.6	10.4	12.2	13.8
24	1/5/2005		**1**	9	7.4	7.6	6.6	9.8	10.4	12.2	14
25	2/5/2005	**Mês: Maio_05**	**2**	12.4	8.2	8	6.6	10.2	10.6	12.6	14
26	3/5/2005		**3**	10.8	8.4	8	6.6	10.2	11.2	12.4	14
27	4/5/2005		**4**	13.6	8.8	8	6.6	10.4	11.2	12.6	14
28	5/5/2005		**5**	13.4	9.6	8.4	6.8	10.6	11.4	11.6	14.2
29	6/5/2005		**6**	17.6	10	8.2	6.4	10.6	11.4	12.6	14.4
30	7/5/2005		**7**	21.4	11.2	8.2	6.2	10.6	12	12.8	14.6
31	8/5/2005		**8**	13.6	11.4	8.4	7.4	10.6	11.8	13	14.6
32	9/5/2005		**9**	13.8	11.4	8.8	6.2	10.6	11.8	12.8	14.4
33	10/5/2005		**10**	9.6	12.2	9.4	7.6	11.4	12.2	13.2	15
34	11/5/2005		**11**	23.8	13	9.2	8.6	11.4	12	13	2.6
35	12/5/2005		**12**	30.6	15.2	9.8	9.4	11.6	12.4	13.2	4.2
36	13/5/2005		**13**	7	10	9.6	9.4	11.4	12.4	13.2	6
37	14/5/2005		**14**	8.6	9.6	9.4	9	12.2	12.6	13.6	8.4
38	15/5/2005		**15**	7.2	9.2	8.8	11.6	11.6	12.8	13.6	10.2
39	16/5/2005		**16**	9.6	9.2	9.2	9.4	12	12.4	13.4	10.2
40	17/5/2005		**17**	8.6	9.4	9.4	10.2	12.4	13	14	11.6
41	18/5/2005		**18**	8.4	9.4	9	9.8	12.2	13	13.6	11.6
42	19/5/2005		**19**	12.6	10.6	9.2	9	12.4	13	13.6	12
43	20/5/2005		**20**	9.8	10	9.8	9	12.8	13.4	13.6	12
44	21/5/2005		**21**	6.4	7.8	9.6	11	12.4	13.2	14	12
45	22/5/2005		**22**	8.4	7.4	9	11.4	13.4	13.6	13.6	12
46	23/5/2005		**23**	9.8	8	9	13	14.2	13.4	14.2	12
47	24/5/2005		**24**	12.8	9.2	9	10.6	13.4	13.6	14.2	12
48	25/5/2005		**25**	11.2	9	8.6	9.4	12.4	13.4	11	12
49	26/5/2005		**26**	10.6	8.4	8.4	10.2	14.8	13.6	14.2	15.4
50	27/5/2005		**27**	5.8	9.4	9.4	10.6	15.4	14.4	14.6	15.6
51	28/5/2005		**28**	6.8	8.2	9	12.6	18	14.6	14.8	15.6
52	29/5/2005		**29**	8.2	8	8.8	10.2	16	14.4	14.6	15.6
53	30/5/2005		**30**	10.2	9	9.2	10.8	7.6	7.6	14.6	5.2
54	31/5/2005		**31**	7.4	8.2	9.4	10.2	17.2	14.6	14	15.4
55	1/6/2005		**1**	4	7.6	9.6	12.2	19.4	15.4	15.2	15.6
56	2/6/2005	**Mês: Junho_05**	**2**	5.4	7.4	9	10.8	9.6	15.2	15	15.8
57	3/6/2005		**3**	4.4	5.4	7.6	8.2	17.2	15.2	14.8	15.6
58	4/6/2005		**4**	6.6	6.4	7.4	8	16.4	15.4	15.2	15.6
59	5/6/2005		**5**	8.8	7.4	7.8	8	17.6	15.6	14.8	15.2
60	6/6/2005		**6**	10	8.2	8	8	16.2	16	14.8	15.6
61	7/6/2005		**7**	14	9	8.4	8.6	17.6	16	15.2	15.6
62	8/6/2005		**8**	19.2	10	9	10.4	19.4	16.4	16.2	15.8
63	9/6/2005		**9**	4.6	8.6	9.2	9.4	17	16.2	16.2	14
64	10/6/2005		**10**	8.2	8.2	9.4	9.6	19.6	16.8	16.8	12.6
65	11/6/2005		**11**	9	8.2	9	9.6	18.6	16.4	16.4	12.2
66	12/6/2005		**12**	9.4	8	8.6	9.4	18.2	16.2	16.2	12.2
67	13/6/2005		**13**	9.2	6.6	8	8.4	18.4	16	16	13
68	14/6/2005		**14**	9.4	6.4	7.8	8	16.6	15.6	15.6	12.6
69	15/6/2005		**15**	9	4.8	6.8	7.4	17.8	14.8	14.8	12.2
70	16/6/2005		**16**	8.6	6.2	7.2	7.4	11	14.4	14.4	11.8
71	17/6/2005		**17**	14.4	7.2	7.4	8.2	10.6	14	14	11.2
72	18/6/2005		**18**	17.6	7.4	8	8.4	10.4	13.6	13.6	10.6
73	19/6/2005		**19**	20.6	5.4	7.2	7.6	10.8	13.4	13.4	10.4
74	20/6/2005		**20**	22.2	6.6	7.2	7.6	10.4	13.4	13.4	10.2
75	21/6/2005		**21**	24	8.2	8.2	8.8	10.6	13.4	13.4	10
76	22/6/2005		**22**	29.2	7.6	8.2	8.4	10.2	13.2	13.2	10
77	23/6/2005		**23**	31	8.4	8.4	8.6	10.6	13.4	13.4	10
78	24/6/2005		**24**	35.2	9.4	8.6	9.2	10.4	14.6	14.6	9.8
79	25/6/2005		**25**	39.2	10.6	9.2	9.8	11.4	13.6	13.6	9.8
80	26/6/2005		**26**	17.6	8.6	8.8	9.2	10.6	13.2	13.2	14.6
81	27/6/2005		**27**	12	8.4	8.6	9.2	11	13.6	13.6	14.6
82	28/6/2005		**28**	9.4	5.4	7	7.6	11.4	13.8	13.8	14.8
83	29/6/2005		**29**	7.8	6.4	7.4	8.2	10.2	14	14	15
84	30/6/2005		**30**	7.2	7.6	7.6	8.6	10.4	12.2	13.8	15.2
85	1/7/2005	**Mês: Julho_05**	**1**	10.6	7.2	7.4	8.2	10.2	12	13.6	15
86	2/7/2005		**2**	9.8	7.2	7.4	8.2	10.2	11.8	13.4	14.8
87	3/7/2005		**3**	12	8.2	8.2	9	10.4	11.4	13.4	14.8
88	4/7/2005		**4**	12.2	8.4	9	8.4	10.4	11.4	13.4	14.6
89	5/7/2005		**5**	10.6	9.2	8.4	8.2	10.6	11.6	13	14.8

Registros de tensiometria

REPOLHO 2 (leito do rio)
Leitura **cubeta=** 30 cm

			Dia	10	20	30	40	60	80	100	120
		Mês: Abril_05									
1	19/4/2005		**19**	9.8	9.6	9.2	11.2	12.2	11.4	15.8	14.8
2	20/4/2005		**20**	9.4	9.4	9.6	11.2	12.2	11.6	18.4	11.4
3	21/4/2005		**21**	11.2	10.4	10.2	11	11.6	12	18.6	10.6
4	22/4/2005		**22**	12	10.8	10.6	11.2	11.4	12.2	18.6	10.2
5	23/4/2005		**23**	12.6	11.4	11.2	11.6	11.6	12.6	14.6	9.6
6	24/4/2005		**24**	9.4	2.4	3.8	5	10.2	9.4	16.6	13.6
7	25/4/2005		**25**	8.6	2.2	2.4	3.4	7.2	9.4	10.4	16.4
8	26/4/2005		**26**	11	1.4	3	7.2	10.6	9.4	8.2	15.2
9	27/4/2005		**27**	1	1	4.7	9	11	11.5	10.8	10.2
10	28/4/2005		**28**	8	8	6.1	1.9	11	12.4	2	6.4
11	29/4/2005		**29**	7.2	3.6	5.8	8	8.2	11.2	9.4	11.4
12	30/4/2005		**30**	7.4	2.4	8.6	8.2	8.4	10.4	9	10.6
13	1/5/2005		**1**	8.4	1.4	8.2	8.6	8.6	10.6	8.2	10
14	2/5/2005	**Mês: Maio_05**	**2**	9.2	1.6	8.8	9	9	10.6	7.2	9.6
15	3/5/2005		**3**	8.2	1.2	9	9.2	9.2	10.8	6.8	9.8
16	4/5/2005		**4**	9.6	1	9.2	9.6	9.4	10.8	6.4	9.2
17	5/5/2005		**5**	9.4	1.4	9.4	9.6	9.4	10.6	6	8.8
18	6/5/2005		**6**	10.4	1	9.6	9.8	9.6	10.6	5.6	8.4
19	7/5/2005		**7**	9.8	1.4	9.6	10	9.8	10.6	4.8	8.2
20	8/5/2005		**8**	8.2	2	9.6	10	10	10.8	4.6	7.6
21	9/5/2005		**9**	10	1	9.8	10	9.8	10.6	4	7
22	10/5/2005		**10**	11.2	1	10.2	10.2	10	11	3.8	7
23	11/5/2005		**11**	11.4	3.3	10.2	10.2	10.6	10.8	13.2	14.6
24	12/5/2005		**12**	11.6	2.6	10.6	10.2	10.2	10.8	12	14.8
25	13/5/2005		**13**	12.4	2	10.8	10.6	10.4	10.8	9.4	15.2
26	14/5/2005		**14**	13	1.8	11.2	10.8	10.6	10.8	9.4	15.2
27	15/5/2005		**15**	12.4	1.2	11.2	11.2	10.8	11.2	9.2	15.2
28	16/5/2005		**16**	13.2	1.2	11.4	11.2	11	11.4	9	15.2
29	17/5/2005		**17**	12.4	1	11.4	11.2	11	11.2	8.8	15.2
30	18/5/2005		**18**	12.8	1	11.6	11.4	11.2	11.4	8.6	15
31	19/5/2005		**19**	19	1	12.8	11.8	11.4	11.6	8.4	15.2
32	20/5/2005		**20**	15.8	2.6	12.6	11.8	11.4	11.4	11.6	15
33	21/5/2005		**21**	11.4	2.8	12.2	12	11.6	11.8	7.6	14.8
34	22/5/2005		**22**	12.6	2.2	12	11.8	11.6	11.6	7	15
35	23/5/2005		**23**	13.8	2.2	12.4	11.8	11.6	11.6	6.8	15
36	24/5/2005		**24**	15.8	2.8	3.4	12.2	12	12	7	15
37	25/5/2005		**25**	17.4	3	7.4	12.4	12.2	11	12.8	14.4
38	26/5/2005		**26**	17.6	15.6	13.8	12.4	12.2	11	12.8	14.4
39	27/5/2005		**27**	4.8	14.2	14.4	12.6	12.2	11.6	12.8	14.6
40	28/5/2005		**28**	14.8	13.4	14	12.8	12.4	13.2	12.8	14.8
41	29/5/2005		**29**	13.8	13.2	13	12.6	12.4	12.6	12.8	14.8
42	30/5/2005		**30**	6.2	9.8	7.6	12.6	12.2	12.2	12.8	15
43	31/5/2005		**31**	7.2	9.2	10.4	12.2	12.2	12.6	13.2	15
44	1/6/2005		**1**	8.8	9.2	5	12	12	13	13.2	15.4
45	2/6/2005	**Mês: Junho_05**	**2**	6	8.2	10.2	11.8	11.8	12.6	13	15.2
46	3/6/2005		**3**	6.2	7	9.2	11	11.8	12.4	13.2	15.2
47	4/6/2005		**4**	8.6	8.8	9.4	10.6	10.6	12.4	13.4	15.6
48	5/6/2005		**5**	10.6	10	9.4	10.8	10.6	12	13.2	12.6
49	6/6/2005		**6**	11.2	10.6	10	10.8	10.6	12.2	13.2	13
50	7/6/2005		**7**	12.2	11.2	4.4	11.2	10.8	12	13.4	11
51	8/6/2005		**8**	13.2	11.8	11.6	11.2	11	12.2	13.2	10.4
52	9/6/2005		**9**	10	11.8	11.4	11.6	11.2	12	13.2	10
53	10/6/2005		**10**	11.8	11.6	11.2	11.6	11.2	12.2	13.4	10
54	11/6/2005		**11**	13.6	12.6	3.8	11.8	11.4	12	13.4	9.6
55	12/6/2005		**12**	4.2	4.8	3.8	8.2	7.4	12.2	13.2	9.2
56	13/6/2005		**13**	7.2	7.4	3.6	8.2	8.4	10.2	12.2	8.8
57	14/6/2005		**14**	7.2	7.6	3	8.4	8.4	10	11.6	8.2
58	15/6/2005		**15**	5.6	6.2	2.6	7.6	8	10	12	7.8
59	16/6/2005		**16**	7.6	7.8	2.6	8.2	8.6	10	11.6	7.8
60	17/6/2005		**17**	7.6	7.6	2.4	8.4	8.4	10	11.4	7.6
61	18/6/2005		**18**	7.6	8.6	2	8.8	9.2	10.4	11.8	7.2
62	19/6/2005		**19**	6.6	7.2	2.2	8.4	8.8	10.4	12.2	7.4
63	20/6/2005		**20**	8.4	8.4	2	9	9.2	10.4	12.2	7.4
64	21/6/2005		**21**	7.4	9.2	1.4	9.2	9.4	10.6	12	6.4
65	22/6/2005		**22**	8	9	1.8	9.2	9.4	10.6	12	6.4
66	23/6/2005		**23**	9.4	9.4	1.4	9.4	9.6	10.6	12.2	6
67	24/6/2005		**24**	10.4	10	1.4	9.6	9.6	10.8	12	5.4
68	25/6/2005		**25**	6.2	9.6	1.8	9.8	10	11.2	12.4	5.2
69	26/6/2005		**26**	8.4	9.4	1.6	9.6	9.8	11.2	12.4	5.2
70	27/6/2005		**27**	9	9.2	1.4	9.4	9.6	11.2	12.4	5.2
71	28/6/2005		**28**	6.2	6.6	2.2	8.4	9.2	10.8	12.6	5
72	29/6/2005		**29**	7.2	7.8	2	8.4	9	10.6	12.4	4.2

Registros de tensiometria

REPOLHO 3 (margem do rio - abaixo da antiga beterraba)
Leitura **cubeta=** 30 cm

		Dia	10	20	30	40	60	80	100	120
1	**Mês: Abril_05**	**8**	1.8	5	8.5	9.2	11	11.6	12.1	13.8
2		**9**	1.5	3.3	8.6	9.6	11.6	11.5	9.7	13.9
3		**10**	1.3	3.2	8.6	9.5	11.1	11.3	9.5	14.1
4		**11**	1.5	2.4	8.5	9.6	11.2	11.5	8.5	13.8
5		**12**	1.5	2	8	9.8	11.2	11.4	8.5	13.8
6		**13**	1.3	1.5	6.7	9.8	11.4	11.6	7.3	14
7		**14**	1.2	1.6	7.4	9.9	11.3	11.6	6.7	14.2
8		**15**	1	1.8	5.1	9.8	11.4	11.7	5.8	14.3
9		**16**	1	1.9	4.4	9.9	11.3	11.7	5.3	14.4
10		**17**	1	1.9	5	10.1	11.3	11.7	4.8	14.5
11		**18**	1	1.7	2.8	9.8	11.3	11.7	3.7	14.3
12		**19**	2	3.1	2.3	9.7	11.2	11.5	12.5	14.2
13		**20**	1.6	2.6	6.7	9.6	10.7	11.4	13.2	14.2
14		**21**	1.4	2.6	4.6	9.6	10.5	11.4	13.4	14.3
15		**22**	1	2.4	5.6	9.7	10.6	11.3	12.8	14.4
16		**23**	1	1.8	6.2	9.9	10.7	11.4	12.6	14.3
17		**24**	1.8	3.1	3.8	9.7	10.7	11.5	11.5	11.1
18		**25**	1.5	1	2.8	9.6	10.8	11.4	11.6	10.8
19		**26**	1.5	1	2.8	9.6	10.8	11.4	11.6	10.8
20		**27**	7.6	9.3	7.4	8.2	10.7	11.2	12.8	12.4
21		**28**	2.5	6.3	1.7	7.1	10.1	10.8	2.4	12.1
22		**29**	1.8	6.7	5.8	7.2	9.7	10.5	6.8	12.1
23		**30**	1.3	7	5.3	7.2	9.6	10.4	6.4	12.1
24		**1**	1	7.4	3.8	7.8	9.8	10.4	4.7	11.8
25	**Mês: Maio_05**	**2**	1	8.8	3.2	8.3	10	10.7	4.4	11.8
26		**3**	1.1	9.7	2.2	8.4	9.9	10.5	3.5	11.8
27		**4**	1.6	7.5	1.9	9.2	10.4	10.8	3.4	12.7
28		**5**	1.4	9.4	1.8	9.2	10.6	11	3.1	13
29		**6**	1.3	3.6	1.3	9.3	10.7	11.1	2.7	13.1
30		**7**	1.3	3.6	1	9.5	10.7	11.4	2.4	13.8
31		**8**	1	2.3	1	9.7	11	11.2	1.7	13.8
32		**9**	1	2	1	9.8	10.9	11.2	1.4	14.1
33		**10**	1	2	1.2	10.1	11.1	11.3	1.2	14.4
34		**11**	2	2.9	3.2	10.1	11	11.2	8.5	13.3
35		**12**	1.8	2.8	2.9	10.5	11.3	11.3	8.9	13.5
36		**13**	1.5	2.7	3.4	11.6	11.5	11.5	8.5	13.7
37		**14**	1.7	2.6	4.6	11.6	11.5	11.6	8.4	13.8
38		**15**	1	2.2	3.2	12	11.5	11.7	8.3	14
39		**16**	1	2.1	2.7	12.1	11.6	11.7	8.3	14.2
40		**17**	1.4	1.8	2.4	12.3	11.6	11.7	8.2	14.2
41		**18**	1.4	1.6	2.4	13.8	11.9	11.7	8.1	14.2
42		**19**	1.4	1.5	1.5	17.7	12.1	11.8	7.8	14.2
43		**20**	2.7	2.4	1.3	13.3	11.8	11.8	7.3	14.4
44		**21**	2.5	2.7	1.6	13.3	11.8	11.8	6.8	14.4
45		**22**	1.1	1.5	1.1	13.8	11.8	11.8	6.6	14.5
46		**23**	1	1.5	1.2	14.3	11.9	11.9	5.3	14.7
47		**24**	1	1.5	1.3	15.3	12	11.8	4.6	14.7
48		**25**	1	1.5	1.4	16.3	12.2	12.1	4	14.7
49		**26**	10.4	3.1	1.4	17.9	12.2	12	9.2	14.2
50		**27**	4.5	2.7	3.3	17.2	12.1	12	9.5	14.2
51		**28**	4.5	2.8	3.6	18.8	12.4	12.3	9	14.4
52		**29**	4.3	2.5	3.2	16.2	12.3	12.2	8.6	14.4
53		**30**	4.6	2.1	2.8	15.8	12.4	12.2	7.8	14.7
54		**31**	5.8	2	2.6	14.9	12.5	12.2	7.5	14.7
55		**1**	5.8	2	2.4	14.4	12.7	12.5	7.3	14.7
56	**Mês: Junho_05**	**2**	4.5	1.4	1.3	13.4	12.7	12.4	6.7	14.8
57		**3**	5.5	1.4	1.4	9.6	12.7	12.5	6.6	14.8
58		**4**	5	1.5	1.4	8.4	12.5	12.3	6.5	14.8
59		**5**	4.5	1.4	1	8.5	12.3	12.3	5.7	15
60		**6**	4.5	1.5	1	8.7	12	12.2	5.3	14.8
61		**7**	4.3	1.5	1.2	9.3	12	12.2	5.2	14.8
62		**8**	3.8	1.6	1.3	10.2	10.9	12.2	4.4	14.8
63		**9**	3.4	1.6	1.3	9.2	11.7	12	4	15
64		**10**	3.2	1.5	1.4	8.9	10.4	12	3.6	15
65		**11**	3.1	1.4	1.5	9.2	5.7	12	3.1	15
66		**12**	3	1.3	1.5	9.4	5.7	12	2.7	15
67		**13**	3	1	1.6	7	5.4	10.9	2	15
68		**14**	1.5	1	1.5	7.3	5.4	10.8	1.4	13.5
69		**15**	1.4	7	1.5	6.7	4.9	10.7	1	13.2
70		**16**	1.6	1	1.5	7.4	4.9	10.7	1.2	13.2
71		**17**	1.6	1	1.3	7.6	4.6	10.4	1.2	13.2
72		**18**	1.8	1	1.3	8.3	4.2	10.5	1	13
73		**19**	1.7	1	1	7.6	4	10.7	1	13
74		**20**	1	1	1	7.6	3.4	10.6	1	13
75		**21**	9	9.2	3.1	8.4	6.3	11.2	11	13.1
76		**22**	9	9	3.5	8.4	6	11.2	10.4	quebrou
77		**23**	8.4	9	3	8.5	6.1	11.8	9.1	
78		**24**	8	8.7	3.5	8.9	5.6	11.7	8.6	
79		**25**	7.6	8.6	3.1	9.4	5.6	11.4	8.1	
80		**26**	7.4	8.2	3.1	8.9	5.2	10.2	7.6	
81		**27**	6.7	8	2	9	4.2	8.4	7.4	
82		**28**	8.7	8.2	2.3	7.1	3.8	10.8	7.2	
83		**29**	7.3	7.9	1.8	7	3.5	7.5	6.5	
84		**30**	7.5	7.9	2	7.3	3.3	6.8	6.4	

Registros de tensiometria

Potencial matricial

			Dia	10	20	30	40	60	80	100	120
1	8/4/2005	**Mês: Abril_05**	**8**	-18.04	-30.72	-33.32	-3.16	-23.48	-18.6	-23.8	-34.04
2	9/4/2005		**9**	-48.28	-30.72	-30.8	-0.64	-26	-23.64	-23.8	-31.52
3	10/4/2005		**10**	-76	-33.24	-35.84	-10.72	-31.04	-23.64	-26.32	-31.52
4	11/4/2005		**11**	-121.36	-35.76	-35.84	-10.72	-33.56	-23.64	-26.32	-29
5	12/4/2005		**12**	-58.36	-23.16	-35.84	-3.16	-33.56	-26.16	-26.32	-29
6	13/4/2005		**13**	-50.8	-33.24	-45.92	1.88	-41.12	-26.16	-28.84	-31.52
7	14/4/2005		**14**	-45.76	-33.24	-40.88	1.88	-33.56	-26.16	-28.84	-31.52
8	15/4/2005		**15**	-76	-33.24	-43.4	1.88	-36.08	-26.16	-28.84	-26.48
9	16/4/2005		**16**	-18.04	-30.72	-35.84	4.4	-31.04	-26.16	-26.32	-23.96
10	17/4/2005		**17**	-55.84	-35.76	-43.4	1.88	-33.56	-31.2	-28.84	-31.52
11	18/4/2005		**18**	-15.52	-5.52	-18.2	4.4	-23.48	-31.2	-28.84	-26.48
12	19/4/2005		**19**	-48.28	-23.16	-20.72	4.4	-20.96	-26.16	-28.84	-29
13	20/4/2005		**20**	-53.32	-28.2	-23.24	-28.36	-20.96	-16.08	16.52	-23.96
14	21/4/2005		**21**	-81.04	-38.28	-28.28	-3.16	-26	-18.6	8.96	-26.48
15	22/4/2005		**22**	-70.96	-43.32	-30.8	9.44	-26	-16.08	6.44	-23.96
16	23/4/2005		**23**	-78.52	-43.32	-33.32	1.88	-31.04	-21.12	19.04	-23.96
17	24/4/2005		**24**	-106.24	-45.84	-30.8	-3.16	-31.04	-21.12	-18.76	79.36
18	25/4/2005		**25**	-128.92	-55.92	-33.32	-10.72	-31.04	-21.12	-21.28	76.84
19	26/4/2005		**26**	-38.2	-63.48	-38.36	-15.76	-36.08	-26.16	-26.32	86.92
20	27/4/2005		**27**	-48.28	-53.4	-50.96	-20.8	-33.56	-26.16	-26.32	31.48
21	28/4/2005		**28**	-25.6	-18.12	-15.68	-13.24	-15.92	-8.52	-16.24	-26.48
22	29/4/2005		**29**	-33.16	-23.16	-20.72	-3.16	-15.92	-6	-16.24	-21.44
23	30/4/2005		**30**	-33.16	-20.64	-20.72	-0.64	-20.96	-11.04	-13.72	-13.88
24	1/5/2005		**1**	-63.4	-33.24	-25.76	-3.16	-23.48	-11.04	-13.72	-16.4
25	2/5/2005	**Mês: Maio_05**	**2**	-106.24	-43.32	-30.8	-3.16	-28.52	-13.56	-18.76	-16.4
26	3/5/2005		**3**	-86.08	-45.84	-30.8	-3.16	-28.52	-21.12	-16.24	-16.4
27	4/5/2005		**4**	-121.36	-50.88	-30.8	-3.16	-31.04	-21.12	-18.76	-16.4
28	5/5/2005		**5**	-118.84	-60.96	-35.84	-5.68	-33.56	-23.64	-6.16	-18.92
29	6/5/2005		**6**	-171.76	-66	-33.32	-0.64	-33.56	-23.64	-18.76	-21.44
30	7/5/2005		**7**	-219.64	-81.12	-33.32	1.88	-33.56	-31.2	-21.28	-23.96
31	8/5/2005		**8**	-121.36	-83.64	-35.84	-13.24	-33.56	-28.68	-23.8	-23.96
32	9/5/2005		**9**	-123.88	-83.64	-40.88	1.88	-33.56	-28.68	-21.28	-21.44
33	10/5/2005		**10**	-70.96	-93.72	-48.44	-15.76	-43.64	-33.72	-26.32	-29
34	11/5/2005		**11**	-249.88	-103.8	-45.92	-28.36	-43.64	-31.2	-23.8	127.24
35	12/5/2005		**12**	-335.56	-131.52	-53.48	-38.44	-46.16	-36.24	-26.32	107.08
36	13/5/2005		**13**	-38.2	-66	-50.96	-38.44	-43.64	-36.24	-26.32	84.4
37	14/5/2005		**14**	-58.36	-60.96	-48.44	-33.4	-53.72	-38.76	-31.36	54.16
38	15/5/2005		**15**	-40.72	-55.92	-40.88	-66.16	-46.16	-41.28	-31.36	31.48
39	16/5/2005		**16**	-70.96	-55.92	-45.92	-38.44	-51.2	-36.24	-28.84	31.48
40	17/5/2005		**17**	-58.36	-58.44	-48.44	-48.52	-56.24	-43.8	-36.4	13.84
41	18/5/2005		**18**	-55.84	-58.44	-43.4	-43.48	-53.72	-43.8	-31.36	13.84
42	19/5/2005		**19**	-108.76	-73.56	-45.92	-33.4	-56.24	-43.8	-31.36	8.8
43	20/5/2005		**20**	-73.48	-66	-53.48	-33.4	-61.28	-48.84	-31.36	8.8
44	21/5/2005		**21**	-30.64	-38.28	-50.96	-58.6	-56.24	-46.32	-36.4	8.8
45	22/5/2005		**22**	-55.84	-33.24	-43.4	-63.64	-68.84	-51.36	-31.36	8.8
46	23/5/2005		**23**	-73.48	-40.8	-43.4	-83.8	-78.92	-48.84	-38.92	8.8
47	24/5/2005		**24**	-111.28	-55.92	-43.4	-53.56	-68.84	-51.36	-38.92	8.8
48	25/5/2005		**25**	-91.12	-53.4	-38.36	-38.44	-56.24	-48.84	1.4	8.8
49	26/5/2005		**26**	-83.56	-45.84	-35.84	-48.52	-86.48	-51.36	-38.92	-34.04
50	27/5/2005		**27**	-23.08	-58.44	-48.44	-53.56	-94.04	-61.44	-43.96	-36.56
51	28/5/2005		**28**	-35.68	-43.32	-43.4	-78.76	-126.8	-63.96	-46.48	-36.56
52	29/5/2005		**29**	-53.32	-40.8	-40.88	-48.52	-101.6	-61.44	-43.96	-36.56
53	30/5/2005		**30**	-78.52	-53.4	-45.92	-56.08	4.24	24.24	-43.96	94.48
54	31/5/2005		**31**	-43.24	-43.32	-48.44	-48.52	-116.72	-63.96	-36.4	-34.04
55	1/6/2005		**1**	-0.4	-35.76	-50.96	-73.72	-144.44	-74.04	-51.52	-36.56
56	2/6/2005	**Mês: Junho_05**	**2**	-18.04	-33.24	-43.4	-56.08	-20.96	-71.52	-49	-39.08
57	3/6/2005		**3**	-5.44	-8.04	-25.76	-23.32	-116.72	-71.52	-46.48	-36.56
58	4/6/2005		**4**	-33.16	-20.64	-23.24	-20.8	-106.64	-74.04	-51.52	-36.56
59	5/6/2005		**5**	-60.88	-33.24	-28.28	-20.8	-121.76	-76.56	-46.48	-31.52
60	6/6/2005		**6**	-76	-43.32	-30.8	-20.8	-104.12	-81.6	-46.48	-36.56
61	7/6/2005		**7**	-126.4	-53.4	-35.84	-28.36	-121.76	-81.6	-51.52	-36.56
62	8/6/2005		**8**	-191.92	-66	-43.4	-51.04	-144.44	-86.64	-64.12	-39.08
63	9/6/2005		**9**	-7.96	-48.36	-45.92	-38.44	-114.2	-84.12	-64.12	-16.4
64	10/6/2005		**10**	-53.32	-43.32	-48.44	-40.96	-146.96	-91.68	-71.68	1.24
65	11/6/2005		**11**	-63.4	-43.32	-43.4	-40.96	-134.36	-86.64	-66.64	6.28
66	12/6/2005		**12**	-68.44	-40.8	-38.36	-38.44	-129.32	-84.12	-64.12	6.28
67	13/6/2005		**13**	-65.92	-23.16	-30.8	-25.84	-131.84	-81.6	-61.6	-3.8
68	14/6/2005		**14**	-68.44	-20.64	-28.28	-20.8	-109.16	-76.56	-56.56	1.24
69	15/6/2005		**15**	-63.4	-0.48	-15.68	-13.24	-124.28	-66.48	-46.48	6.28
70	16/6/2005		**16**	-58.36	-18.12	-20.72	-13.24	-38.6	-61.44	-41.44	11.32
71	17/6/2005		**17**	-131.44	-30.72	-23.24	-23.32	-33.56	-56.4	-36.4	18.88
72	18/6/2005		**18**	-171.76	-33.24	-30.8	-25.84	-31.04	-51.36	-31.36	26.44
73	19/6/2005		**19**	-209.56	-8.04	-20.72	-15.76	-36.08	-48.84	-28.84	28.96
74	20/6/2005		**20**	-229.72	-23.16	-20.72	-15.76	-31.04	-48.84	-28.84	31.48
75	21/6/2005		**21**	-252.4	-43.32	-33.32	-30.88	-33.56	-48.84	-28.84	34
76	22/6/2005		**22**	-317.92	-35.76	-33.32	-25.84	-28.52	-46.32	-26.32	34
77	23/6/2005		**23**	-340.6	-45.84	-35.84	-28.36	-33.56	-48.84	-28.84	34
78	24/6/2005		**24**	-393.52	-58.44	-38.36	-35.92	-31.04	-63.96	-43.96	36.52
79	25/6/2005		**25**	-443.92	-73.56	-45.92	-43.48	-43.64	-51.36	-31.36	36.52
80	26/6/2005		**26**	-171.76	-48.36	-40.88	-35.92	-33.56	-46.32	-26.32	-23.96
81	27/6/2005		**27**	-101.2	-45.84	-38.36	-35.92	-38.6	-51.36	-31.36	-23.96
82	28/6/2005		**28**	-68.44	-8.04	-18.2	-15.76	-43.64	-53.88	-33.88	-26.48
83	29/6/2005		**29**	-48.28	-20.64	-23.24	-23.32	-28.52	-56.4	-36.4	-29
84	30/6/2005		**30**	-40.72	-35.76	-25.76	-28.36	-31.04	-33.72	-33.88	-31.52
85	1/7/2005	**Mês: Julho_05**	**1**	-83.56	-30.72	-23.24	-23.32	-28.52	-31.2	-31.36	-29
86	2/7/2005		**2**	-73.48	-30.72	-23.24	-23.32	-28.52	-28.68	-28.84	-26.48
87	3/7/2005		**3**	-101.2	-43.32	-33.32	-33.4	-31.04	-23.64	-28.84	-26.48
88	4/7/2005		**4**	-103.72	-45.84	-43.4	-25.84	-31.04	-23.64	-28.84	-23.96
89	5/7/2005		**5**	-83.56	-55.92	-35.84	-23.32	-33.56	-26.16	-23.8	-26.48

Registros de tensiometria

REPOLHO 2 (leito do rio)
Potencial matricial

			Dia	10	20	30	40	60	80	100	120
		Mês: Abril_05	**19**	-83.48	-70.96	-55.92	-71.12	-63.72	-33.64	-69.08	-36.48
1	19/4/2005		**20**	-78.44	-68.44	-60.96	-71.12	-63.72	-36.16	-101.84	6.36
2	20/4/2005		**21**	-101.12	-81.04	-68.52	-68.6	-56.16	-41.2	-104.36	16.44
3	21/4/2005		**22**	-111.2	-86.08	-73.56	-71.12	-53.64	-43.72	-104.36	21.48
4	22/4/2005		**23**	-118.76	-93.64	-81.12	-76.16	-56.16	-48.76	-53.96	29.04
5	23/4/2005		**24**	-78.44	19.76	12.12	7	-38.52	-8.44	-79.16	-21.36
6	24/4/2005		**25**	-68.36	22.28	29.76	27.16	-0.72	-8.44	-1.04	-56.64
7	25/4/2005		**26**	-98.6	32.36	22.2	-20.72	-43.56	-8.44	26.68	-41.52
8	26/4/2005		**27**	27.4	37.4	0.78	-43.4	-48.6	-34.9	-6.08	21.48
9	27/4/2005		**28**	-60.8	-50.8	-16.86	46.06	-48.6	-46.24	104.8	69.36
10	28/4/2005		**29**	-50.72	4.64	-13.08	-30.8	-13.32	-31.12	11.56	6.36
11	29/4/2005		**30**	-53.24	19.76	-48.36	-33.32	-15.84	-21.04	16.6	16.44
12	30/4/2005		**1**	-65.84	32.36	-43.32	-38.36	-18.36	-23.56	26.68	24
13	1/5/2005		**2**	-75.92	29.84	-50.88	-43.4	-23.4	-23.56	39.28	29.04
14	2/5/2005	**Mês: Maio_05**	**3**	-63.32	34.88	-53.4	-45.92	-25.92	-26.08	44.32	26.52
15	3/5/2005		**4**	-80.96	37.4	-55.92	-50.96	-28.44	-26.08	49.36	34.08
16	4/5/2005		**5**	-78.44	32.36	-58.44	-50.96	-28.44	-23.56	54.4	39.12
17	5/5/2005		**6**	-91.04	37.4	-60.96	-53.48	-30.96	-23.56	59.44	44.16
18	6/5/2005		**7**	-83.48	32.36	-60.96	-56	-33.48	-23.56	69.52	46.68
19	7/5/2005		**8**	-63.32	24.8	-60.96	-56	-36	-26.08	72.04	54.24
20	8/5/2005		**9**	-86	37.4	-63.48	-56	-33.48	-23.56	79.6	61.8
21	9/5/2005		**10**	-101.12	37.4	-68.52	-58.52	-36	-28.6	82.12	61.8
22	10/5/2005		**11**	-103.64	8.42	-73.56	-58.52	-43.56	-26.08	-36.32	-33.96
23	11/5/2005		**12**	-106.16	17.24	-76.08	-58.52	-38.52	-26.08	-21.2	-36.48
24	12/5/2005		**13**	-116.24	24.8	-81.12	-63.56	-41.04	-26.08	11.56	-41.52
25	13/5/2005		**14**	-123.8	27.32	-81.12	-66.08	-43.56	-26.08	11.56	-41.52
26	14/5/2005		**15**	-116.24	34.88	-83.64	-71.12	-46.08	-31.12	14.08	-41.52
27	15/5/2005		**16**	-126.32	34.88	-83.64	-71.12	-48.6	-33.64	16.6	-41.52
28	16/5/2005		**17**	-116.24	37.4	-86.16	-71.12	-48.6	-31.12	19.12	-41.52
29	17/5/2005		**18**	-121.28	37.4	-101.28	-73.64	-51.12	-33.64	21.64	-39
30	18/5/2005		**19**	-199.4	37.4	-98.76	-78.68	-53.64	-36.16	24.16	-41.52
31	19/5/2005		**20**	-159.08	17.24	-93.72	-78.68	-53.64	-33.64	-16.16	-39
32	20/5/2005		**21**	-103.64	14.72	-91.2	-81.2	-56.16	-38.68	34.24	-36.48
33	21/5/2005		**22**	-118.76	22.28	-96.24	-78.68	-56.16	-36.16	41.8	-39
34	22/5/2005		**23**	-133.88	22.28	17.16	-78.68	-56.16	-36.16	44.32	-39
35	23/5/2005		**24**	-159.08	14.72	-33.24	-83.72	-61.2	-41.2	41.8	-39
36	24/5/2005		**25**	-179.24	12.2	-113.88	-86.24	-63.72	-28.6	-31.28	-31.44
37	25/5/2005		**26**	-181.76	-146.56	-121.44	-86.24	-63.72	-28.6	-31.28	-31.44
38	26/5/2005		**27**	-20.48	-128.92	-116.4	-88.76	-63.72	-36.16	-31.28	-33.96
39	27/5/2005		**28**	-146.48	-118.84	-103.8	-91.28	-66.24	-56.32	-31.28	-36.48
40	28/5/2005		**29**	-133.88	-116.32	-35.76	-88.76	-66.24	-48.76	-31.28	-36.48
41	29/5/2005		**30**	-38.12	-73.48	-71.04	-88.76	-63.72	-43.72	-31.28	-39
42	30/5/2005		**31**	-50.72	-65.92	-3	-83.72	-63.72	-48.76	-36.32	-39
43	31/5/2005		**1**	-70.88	-65.92	-68.52	-81.2	-61.2	-53.8	-36.32	-44.04
44	1/6/2005		**2**	-35.6	-53.32	-55.92	-78.68	-58.68	-48.76	-33.8	-41.52
45	2/6/2005	**Mês: Junho_05**	**3**	-38.12	-38.2	-58.44	-68.6	-58.68	-46.24	-36.32	-41.52
46	3/6/2005		**4**	-68.36	-60.88	-58.44	-63.56	-43.56	-46.24	-38.84	-46.56
47	4/6/2005		**5**	-93.56	-76	-66	-66.08	-43.56	-41.2	-36.32	-8.76
48	5/6/2005		**6**	-101.12	-83.56	4.56	-66.08	-43.56	-43.72	-36.32	-13.8
49	6/6/2005		**7**	-113.72	-91.12	-86.16	-71.12	-46.08	-41.2	-38.84	11.4
50	7/6/2005		**8**	-126.32	-98.68	-83.64	-71.12	-48.6	-43.72	-36.32	18.96
51	8/6/2005		**9**	-86	-98.68	-81.12	-76.16	-51.12	-41.2	-36.32	24
52	9/6/2005		**10**	-108.68	-96.16	12.12	-76.16	-51.12	-43.72	-38.84	24
53	10/6/2005		**11**	-131.36	-108.76	12.12	-78.68	-53.64	-41.2	-38.84	29.04
54	11/6/2005		**12**	-12.92	-10.48	14.64	-33.32	-3.24	-43.72	-36.32	34.08
55	12/6/2005		**13**	-50.72	-43.24	22.2	-33.32	-15.84	-18.52	-23.72	39.12
56	13/6/2005		**14**	-50.72	-45.76	27.24	-35.84	-15.84	-16	-16.16	46.68
57	14/6/2005		**15**	-30.56	-28.12	27.24	-25.76	-10.8	-16	-21.2	51.72
58	15/6/2005		**16**	-55.76	-48.28	29.76	-33.32	-18.36	-16	-16.16	51.72
59	16/6/2005		**17**	-55.76	-45.76	34.8	-35.84	-15.84	-16	-13.64	54.24
60	17/6/2005		**18**	-55.76	-58.36	32.28	-40.88	-25.92	-21.04	-18.68	59.28
61	18/6/2005		**19**	-43.16	-40.72	34.8	-35.84	-20.88	-21.04	-23.72	56.76
62	19/6/2005		**20**	-65.84	-55.84	42.36	-43.4	-25.92	-21.04	-23.72	56.76
63	20/6/2005		**21**	-53.24	-65.92	37.32	-45.92	-28.44	-23.56	-21.2	69.36
64	21/6/2005		**22**	-60.8	-63.4	42.36	-45.92	-28.44	-23.56	-21.2	69.36
65	22/6/2005		**23**	-78.44	-68.44	42.36	-48.44	-30.96	-23.56	-23.72	74.4
66	23/6/2005		**24**	-91.04	-76	37.32	-50.96	-30.96	-26.08	-21.2	81.96
67	24/6/2005		**25**	-38.12	-70.96	39.84	-53.48	-36	-31.12	-26.24	84.48
68	25/6/2005		**26**	-65.84	-68.44	34.8	-50.96	-33.48	-31.12	-26.24	84.48
69	26/6/2005		**27**	-73.4	-65.92	60	-48.44	-30.96	-31.12	-26.24	84.48
70	27/6/2005		**28**	-38.12	-33.16	60	-35.84	-25.92	-26.08	-28.76	87
71	28/6/2005		**29**	-50.72	-48.28	60	-35.84	-23.4	-23.56	-26.24	97.08
72	29/6/2005										

Registros de tensiometria

REPOLHO 3 (margem do rio - abaixo da antiga beterraba)
Potencial matricial

		Dia	10	20	30	40	60	80	100	120
1	**Mês: Abril_05**	**8**	17.32	-13	-47.1	-45.92	-48.6	-36.16	-22.46	-23.88
2		**9**	21.1	8.42	-48.36	-50.96	-56.16	-34.9	7.78	-25.14
3		**10**	23.62	9.68	-48.36	-49.7	-49.86	-32.38	10.3	-27.66
4		**11**	21.1	19.76	-47.1	-50.96	-51.12	-34.9	22.9	-23.88
5		**12**	21.1	24.8	-40.8	-53.48	-51.12	-33.64	22.9	-23.88
6		**13**	23.62	31.1	-24.42	-53.48	-53.64	-36.16	38.02	-26.4
7		**14**	24.88	29.84	-33.24	-54.74	-52.38	-36.16	45.58	-28.92
8		**15**	27.4	27.32	-4.26	-53.48	-53.64	-37.42	56.92	-30.18
9		**16**	27.4	26.06	4.56	-54.74	-52.38	-37.42	63.22	-31.44
10		**17**	27.4	26.06	-3	-57.26	-52.38	-37.42	69.52	-32.7
11		**18**	27.4	28.58	24.72	-53.48	-52.38	-37.42	83.38	-30.18
12		**19**	14.8	10.94	31.02	-52.22	-51.12	-34.9	-27.5	-28.92
13		**20**	19.84	17.24	-24.42	-50.96	-44.82	-33.64	-36.32	-28.92
14		**21**	22.36	17.24	2.04	-50.96	-42.3	-33.64	-38.84	-30.18
15		**22**	27.4	19.76	-10.56	-52.22	-43.56	-32.38	-31.28	-31.44
16		**23**	27.4	27.32	-18.12	-54.74	-44.82	-33.64	-28.76	-30.18
17		**24**	17.32	10.94	12.12	-52.22	-44.82	-34.9	-14.9	10.14
18		**25**	21.1	37.4	24.72	-50.96	-46.08	-33.64	-16.16	13.92
19		**26**	21.1	37.4	24.72	-50.96	-46.08	-33.64	-16.16	13.92
20		**27**	-55.76	-67.18	-33.24	-33.32	-44.82	-31.12	-31.28	-6.24
21		**28**	8.5	-29.38	38.58	-19.46	-37.26	-26.08	99.76	-2.46
22		**29**	17.32	-34.42	-13.08	-20.72	-32.22	-22.3	44.32	-2.46
23		**30**	23.62	-38.2	-6.78	-20.72	-30.96	-21.04	49.36	-2.46
24		**1**	27.4	-43.24	12.12	-28.28	-33.48	-21.04	70.78	1.32
25	**Mês: Maio_05**	**2**	27.4	-60.88	19.68	-34.58	-36	-24.82	74.56	1.32
26		**3**	26.14	-72.22	32.28	-35.84	-34.74	-22.3	85.9	1.32
27		**4**	19.84	-44.5	36.06	-45.92	-41.04	-26.08	87.16	-10.02
28		**5**	22.36	-68.44	37.32	-45.92	-43.56	-28.6	90.94	-13.8
29		**6**	23.62	4.64	43.62	-47.18	-44.82	-29.86	95.98	-15.06
30		**7**	23.62	4.64	47.4	-49.7	-44.82	-33.64	99.76	-23.88
31		**8**	27.4	21.02	47.4	-52.22	-48.6	-31.12	108.58	-23.88
32		**9**	27.4	24.8	47.4	-53.48	-47.34	-31.12	112.36	-27.66
33		**10**	27.4	24.8	44.88	-57.26	-49.86	-32.38	114.88	-31.44
34		**11**	14.8	13.46	19.68	-57.26	-48.6	-31.12	22.9	-17.58
35		**12**	17.32	14.72	23.46	-62.3	-52.38	-32.38	17.86	-20.1
36		**13**	21.1	15.98	17.16	-76.16	-54.9	-34.9	22.9	-22.62
37		**14**	18.58	17.24	2.04	-76.16	-54.9	-36.16	24.16	-23.88
38		**15**	27.4	22.28	19.68	-81.2	-54.9	-37.42	25.42	-26.4
39		**16**	27.4	23.54	25.98	-82.46	-56.16	-37.42	25.42	-28.92
40		**17**	22.36	27.32	29.76	-84.98	-56.16	-37.42	26.68	-28.92
41		**18**	22.36	29.84	29.76	-103.88	-59.94	-37.42	27.94	-28.92
42		**19**	22.36	31.1	41.1	-153.02	-62.46	-38.68	31.72	-28.92
43		**20**	5.98	19.76	43.62	-97.58	-58.68	-38.68	38.02	-31.44
44		**21**	8.5	15.98	39.84	-97.58	-58.68	-38.68	44.32	-31.44
45		**22**	26.14	31.1	46.14	-103.88	-58.68	-38.68	46.84	-32.7
46		**23**	27.4	31.1	44.88	-110.18	-59.94	-39.94	63.22	-35.22
47		**24**	27.4	31.1	43.62	-122.78	-61.2	-38.68	72.04	-35.22
48		**25**	27.4	31.1	42.36	-135.38	-63.72	-42.46	79.6	-35.22
49		**26**	-91.04	10.94	42.36	-155.54	-63.72	-41.2	14.08	-28.92
50		**27**	-16.7	15.98	18.42	-146.72	-62.46	-41.2	10.3	-31.44
51		**28**	-16.7	14.72	14.64	-166.88	-66.24	-44.98	16.6	-31.44
52		**29**	-14.18	18.5	19.68	-134.12	-64.98	-43.72	21.64	-35.22
53		**30**	-17.96	23.54	24.72	-129.08	-66.24	-43.72	31.72	-35.22
54		**31**	-33.08	24.8	27.24	-117.74	-67.5	-43.72	35.5	-35.22
55		**1**	-33.08	24.8	29.76	-111.44	-70.02	-47.5	38.02	-36.48
56	**Mês: Junho_05**	**2**	-16.7	32.36	43.62	-98.84	-70.02	-46.24	45.58	-36.48
57		**3**	-29.3	32.36	42.36	-50.96	-70.02	-47.5	46.84	-36.48
58		**4**	-23	31.1	42.36	-35.84	-67.5	-44.98	48.1	-39
59		**5**	-16.7	32.36	47.4	-37.1	-64.98	-44.98	58.18	-36.48
60		**6**	-16.7	31.1	47.4	-39.62	-61.2	-43.72	63.22	-36.48
61		**7**	-14.18	31.1	44.88	-47.18	-61.2	-43.72	64.48	-36.48
62		**8**	-7.88	29.84	43.62	-58.52	-47.34	-43.72	74.56	-39
63		**9**	-2.84	29.84	43.62	-45.92	-57.42	-41.2	79.6	-39
64		**10**	-0.32	31.1	42.36	-42.14	-41.04	-41.2	84.64	-39
65		**11**	0.94	32.36	41.1	-45.92	18.18	-41.2	90.94	-39
66		**12**	2.2	33.62	41.1	-48.44	18.18	-41.2	95.98	-39
67		**13**	2.2	37.4	39.84	-18.2	21.96	-27.34	104.8	-20.1
68		**14**	21.1	37.4	41.1	-21.98	21.96	-26.08	112.36	-16.32
69		**15**	22.36	-38.2	41.1	-14.42	28.26	-24.82	117.4	-16.32
70		**16**	19.84	37.4	41.1	-23.24	28.26	-24.82	114.88	-16.32
71		**17**	19.84	37.4	43.62	-25.76	32.04	-21.04	114.88	-13.8
72		**18**	17.32	37.4	43.62	-34.58	37.08	-22.3	117.4	-13.8
73		**19**	18.58	37.4	47.4	-25.76	39.6	-24.82	117.4	-13.8
74		**20**	27.4	37.4	47.4	-25.76	47.16	-23.56	117.4	-15.06
75		**21**	-73.4	-65.92	20.94	-35.84	10.62	-31.12	-8.6	-
76		**22**	-73.4	-63.4	15.9	-35.84	14.4	-31.12	-1.04	-
77		**23**	-65.84	-63.4	22.2	-37.1	13.14	-38.68	15.34	-
78		**24**	-60.8	-59.62	15.9	-42.14	19.44	-37.42	21.64	-
79		**25**	-55.76	-58.36	20.94	-48.44	19.44	-33.64	27.94	-
80		**26**	-53.24	-53.32	20.94	-42.14	24.48	-18.52	34.24	-
81		**27**	-44.42	-50.8	34.8	-43.4	37.08	4.16	36.76	-
82		**28**	-69.62	-53.32	31.02	-19.46	42.12	-26.08	39.28	-
83		**29**	-51.98	-49.54	37.32	-18.2	45.9	15.5	48.1	-
84		**30**	-54.5	-49.54	34.8	-21.98	48.42	24.32	49.36	-

Registros de tensiometria

Potencial total

			Dia	10	20	30	40	60	80	100	120
1	8/4/2005	**Mês: Abril_05**	**8**	-28.04	-50.72	-63.32	-43.16	-83.48	-98.6	-123.8	-154.04
2	9/4/2005		**9**	-58.28	-50.72	-60.8	-40.64	-86	-103.64	-123.8	-151.52
3	10/4/2005		**10**	-86	-53.24	-65.84	-50.72	-91.04	-103.64	-126.32	-151.52
4	11/4/2005		**11**	-131.36	-55.76	-65.84	-50.72	-93.56	-103.64	-126.32	-149
5	12/4/2005		**12**	-68.36	-43.16	-65.84	-43.16	-93.56	-106.16	-126.32	-149
6	13/4/2005		**13**	-60.8	-53.24	-75.92	-38.12	-101.12	-106.16	-128.84	-151.52
7	14/4/2005		**14**	-55.76	-53.24	-70.88	-38.12	-93.56	-106.16	-128.84	-151.52
8	15/4/2005		**15**	-86	-53.24	-73.4	-38.12	-96.08	-106.16	-128.84	-146.48
9	16/4/2005		**16**	-28.04	-50.72	-65.84	-35.6	-91.04	-106.16	-126.32	-143.96
10	17/4/2005		**17**	-65.84	-55.76	-73.4	-38.12	-93.56	-111.2	-128.84	-151.52
11	18/4/2005		**18**	-25.52	-25.52	-48.2	-35.6	-83.48	-111.2	-128.84	-146.48
12	19/4/2005		**19**	-58.28	-43.16	-50.72	-35.6	-80.96	-106.16	-128.84	-149
13	20/4/2005		**20**	-63.32	-48.2	-53.24	-68.36	-80.96	-96.08	-83.48	-143.96
14	21/4/2005		**21**	-91.04	-58.28	-58.28	-43.16	-86	-98.6	-91.04	-146.48
15	22/4/2005		**22**	-80.96	-63.32	-60.8	-30.56	-86	-96.08	-93.56	-143.96
16	23/4/2005		**23**	-88.52	-63.32	-63.32	-38.12	-91.04	-101.12	-80.96	-143.96
17	24/4/2005		**24**	-116.24	-65.84	-60.8	-43.16	-91.04	-101.12	-118.76	-40.64
18	25/4/2005		**25**	-138.92	-75.92	-63.32	-50.72	-91.04	-101.12	-121.28	-43.16
19	26/4/2005		**26**	-48.2	-83.48	-68.36	-55.76	-96.08	-106.16	-126.32	-33.08
20	27/4/2005		**27**	-58.28	-73.4	-80.96	-60.8	-93.56	-106.16	-126.32	-88.52
21	28/4/2005		**28**	-35.6	-38.12	-45.68	-53.24	-75.92	-88.52	-116.24	-146.48
22	29/4/2005		**29**	-43.16	-43.16	-50.72	-43.16	-75.92	-86	-116.24	-141.44
23	30/4/2005		**30**	-43.16	-40.64	-50.72	-40.64	-80.96	-91.04	-113.72	-133.88
24	1/5/2005		**1**	-73.4	-53.24	-55.76	-43.16	-83.48	-91.04	-113.72	-136.4
25	2/5/2005	**Mês: Maio_05**	**2**	-116.24	-63.32	-60.8	-43.16	-88.52	-93.56	-118.76	-136.4
26	3/5/2005		**3**	-96.08	-65.84	-60.8	-43.16	-88.52	-101.12	-116.24	-136.4
27	4/5/2005		**4**	-131.36	-70.88	-60.8	-43.16	-91.04	-101.12	-118.76	-136.4
28	5/5/2005		**5**	-128.84	-80.96	-65.84	-45.68	-93.56	-103.64	-106.16	-138.92
29	6/5/2005		**6**	-181.76	-86	-63.32	-40.64	-93.56	-103.64	-118.76	-141.44
30	7/5/2005		**7**	-229.64	-101.12	-63.32	-38.12	-93.56	-111.2	-121.28	-143.96
31	8/5/2005		**8**	-131.36	-103.64	-65.84	-53.24	-93.56	-108.68	-123.8	-143.96
32	9/5/2005		**9**	-133.88	-103.64	-70.88	-38.12	-93.56	-108.68	-121.28	-141.44
33	10/5/2005		**10**	-80.96	-113.72	-78.44	-55.76	-103.64	-113.72	-126.32	-149
34	11/5/2005		**11**	-259.88	-123.8	-75.92	-68.36	-103.64	-111.2	-123.8	7.24
35	12/5/2005		**12**	-345.56	-151.52	-83.48	-78.44	-106.16	-116.24	-126.32	-12.92
36	13/5/2005		**13**	-48.2	-86	-80.96	-78.44	-103.64	-116.24	-126.32	-35.6
37	14/5/2005		**14**	-68.36	-80.96	-78.44	-73.4	-113.72	-118.76	-131.36	-65.84
38	15/5/2005		**15**	-50.72	-75.92	-70.88	-106.16	-106.16	-121.28	-131.36	-88.52
39	16/5/2005		**16**	-80.96	-75.92	-75.92	-78.44	-111.2	-116.24	-128.84	-88.52
40	17/5/2005		**17**	-68.36	-78.44	-78.44	-88.52	-116.24	-123.8	-136.4	-106.16
41	18/5/2005		**18**	-65.84	-78.44	-73.4	-83.48	-113.72	-123.8	-131.36	-106.16
42	19/5/2005		**19**	-118.76	-93.56	-75.92	-73.4	-116.24	-123.8	-131.36	-111.2
43	20/5/2005		**20**	-83.48	-86	-83.48	-73.4	-121.28	-128.84	-131.36	-111.2
44	21/5/2005		**21**	-40.64	-58.28	-80.96	-98.6	-116.24	-126.32	-136.4	-111.2
45	22/5/2005		**22**	-65.84	-53.24	-73.4	-103.64	-128.84	-131.36	-131.36	-111.2
46	23/5/2005		**23**	-83.48	-60.8	-73.4	-123.8	-138.92	-128.84	-138.92	-111.2
47	24/5/2005		**24**	-121.28	-75.92	-73.4	-93.56	-128.84	-131.36	-138.92	-111.2
48	25/5/2005		**25**	-101.12	-73.4	-68.36	-78.44	-116.24	-128.84	-98.6	-111.2
49	26/5/2005		**26**	-93.56	-65.84	-65.84	-88.52	-146.48	-131.36	-138.92	-154.04
50	27/5/2005		**27**	-33.08	-78.44	-78.44	-93.56	-154.04	-141.44	-143.96	-156.56
51	28/5/2005		**28**	-45.68	-63.32	-73.4	-118.76	-186.8	-143.96	-146.48	-156.56
52	29/5/2005		**29**	-63.32	-60.8	-70.88	-88.52	-161.6	-141.44	-143.96	-156.56
53	30/5/2005		**30**	-88.52	-73.4	-75.92	-96.08	-55.76	-55.76	-143.96	-25.52
54	31/5/2005		**31**	-53.24	-63.32	-78.44	-88.52	-176.72	-143.96	-136.4	-154.04
55	1/6/2005		**1**	-10.4	-55.76	-80.96	-113.72	-204.44	-154.04	-151.52	-156.56
56	2/6/2005	**Mês: Junho_05**	**2**	-28.04	-53.24	-73.4	-96.08	-80.96	-151.52	-149	-159.08
57	3/6/2005		**3**	-15.44	-28.04	-55.76	-63.32	-176.72	-151.52	-146.48	-156.56
58	4/6/2005		**4**	-43.16	-40.64	-53.24	-60.8	-166.64	-154.04	-151.52	-156.56
59	5/6/2005		**5**	-70.88	-53.24	-58.28	-60.8	-181.76	-156.56	-146.48	-151.52
60	6/6/2005		**6**	-86	-63.32	-60.8	-60.8	-164.12	-161.6	-146.48	-156.56
61	7/6/2005		**7**	-136.4	-73.4	-65.84	-68.36	-181.76	-161.6	-151.52	-156.56
62	8/6/2005		**8**	-201.92	-86	-73.4	-91.04	-204.44	-166.64	-164.12	-159.08
63	9/6/2005		**9**	-17.96	-68.36	-75.92	-78.44	-174.2	-164.12	-164.12	-136.4
64	10/6/2005		**10**	-63.32	-63.32	-78.44	-80.96	-206.96	-171.68	-171.68	-118.76
65	11/6/2005		**11**	-73.4	-63.32	-73.4	-80.96	-194.36	-166.64	-166.64	-113.72
66	12/6/2005		**12**	-78.44	-60.8	-68.36	-78.44	-189.32	-164.12	-164.12	-113.72
67	13/6/2005		**13**	-75.92	-43.16	-60.8	-65.84	-191.84	-161.6	-161.6	-123.8
68	14/6/2005		**14**	-78.44	-40.64	-58.28	-60.8	-169.16	-156.56	-156.56	-118.76
69	15/6/2005		**15**	-73.4	-20.48	-45.68	-53.24	-184.28	-146.48	-146.48	-113.72
70	16/6/2005		**16**	-68.36	-38.12	-50.72	-53.24	-98.6	-141.44	-141.44	-108.68
71	17/6/2005		**17**	-141.44	-50.72	-53.24	-63.32	-93.56	-136.4	-136.4	-101.12
72	18/6/2005		**18**	-181.76	-53.24	-60.8	-65.84	-91.04	-131.36	-131.36	-93.56
73	19/6/2005		**19**	-219.56	-28.04	-50.72	-55.76	-96.08	-128.84	-128.84	-91.04
74	20/6/2005		**20**	-239.72	-43.16	-50.72	-55.76	-91.04	-128.84	-128.84	-88.52
75	21/6/2005		**21**	-262.4	-63.32	-63.32	-70.88	-93.56	-128.84	-128.84	-86
76	22/6/2005		**22**	-327.92	-55.76	-63.32	-65.84	-88.52	-126.32	-126.32	-86
77	23/6/2005		**23**	-350.6	-65.84	-65.84	-68.36	-93.56	-128.84	-128.84	-86
78	24/6/2005		**24**	-403.52	-78.44	-68.36	-75.92	-91.04	-143.96	-143.96	-83.48
79	25/6/2005		**25**	-453.92	-93.56	-75.92	-83.48	-103.64	-131.36	-131.36	-83.48
80	26/6/2005		**26**	-181.76	-68.36	-70.88	-75.92	-93.56	-126.32	-126.32	-143.96
81	27/6/2005		**27**	-111.2	-65.84	-68.36	-75.92	-98.6	-131.36	-131.36	-143.96
82	28/6/2005		**28**	-78.44	-28.04	-48.2	-55.76	-103.64	-133.88	-133.88	-146.48
83	29/6/2005		**29**	-58.28	-40.64	-53.24	-63.32	-88.52	-136.4	-136.4	-149
84	30/6/2005		**30**	-50.72	-55.76	-55.76	-68.36	-91.04	-113.72	-133.88	-151.52
85	1/7/2005	**Mês: Julho_05**	**1**	-93.56	-50.72	-53.24	-63.32	-88.52	-111.2	-131.36	-149
86	2/7/2005		**2**	-83.48	-50.72	-53.24	-63.32	-88.52	-108.68	-128.84	-146.48
87	3/7/2005		**3**	-111.2	-63.32	-63.32	-73.4	-91.04	-103.64	-128.84	-146.48
88	4/7/2005		**4**	-113.72	-65.84	-73.4	-65.84	-91.04	-103.64	-128.84	-143.96
89	5/7/2005		**5**	-93.56	-75.92	-65.84	-63.32	-93.56	-106.16	-123.8	-146.48

Registros de tensiometria

REPOLHO 2 (leito do rio)
Potencial total

			Dia	10	20	30	40	60	80	100	120
		Mês: Abril_05									
1	19/4/2005		**19**	-93.48	-90.96	-85.92	-111.12	-123.72	-113.64	-169.08	-156.48
2	20/4/2005		**20**	-88.44	-88.44	-90.96	-111.12	-123.72	-116.16	-201.84	-113.64
3	21/4/2005		**21**	-111.12	-101.04	-98.52	-108.6	-116.16	-121.2	-204.36	-103.56
4	22/4/2005		**22**	-121.2	-106.08	-103.56	-111.12	-113.64	-123.72	-204.36	-98.52
5	23/4/2005		**23**	-128.76	-113.64	-111.12	-116.16	-116.16	-128.76	-153.96	-90.96
6	24/4/2005		**24**	-88.44	-0.24	-17.88	-33	-98.52	-88.44	-179.16	-141.36
7	25/4/2005		**25**	-78.36	2.28	-0.24	-12.84	-60.72	-88.44	-101.04	-176.64
8	26/4/2005		**26**	-108.6	12.36	-7.8	-60.72	-103.56	-88.44	-73.32	-161.52
9	27/4/2005		**27**	17.4	17.4	-29.22	-83.4	-108.6	-114.9	-106.08	-98.52
10	28/4/2005		**28**	-70.8	-70.8	-46.86	6.06	-108.6	-126.24	4.8	-50.64
11	29/4/2005		**29**	-60.72	-15.36	-43.08	-70.8	-73.32	-111.12	-88.44	-113.64
12	30/4/2005		**30**	-63.24	-0.24	-78.36	-73.32	-75.84	-101.04	-83.4	-103.56
13	1/5/2005		**1**	-75.84	12.36	-73.32	-78.36	-78.36	-103.56	-73.32	-96
14	2/5/2005	**Mês: Maio_05**	**2**	-85.92	9.84	-80.88	-83.4	-83.4	-103.56	-60.72	-90.96
15	3/5/2005		**3**	-73.32	14.88	-83.4	-85.92	-85.92	-106.08	-55.68	-93.48
16	4/5/2005		**4**	-90.96	17.4	-85.92	-90.96	-88.44	-106.08	-50.64	-85.92
17	5/5/2005		**5**	-88.44	12.36	-88.44	-90.96	-88.44	-103.56	-45.6	-80.88
18	6/5/2005		**6**	-101.04	17.4	-90.96	-93.48	-90.96	-103.56	-40.56	-75.84
19	7/5/2005		**7**	-93.48	12.36	-90.96	-96	-93.48	-103.56	-30.48	-73.32
20	8/5/2005		**8**	-73.32	4.8	-90.96	-96	-96	-106.08	-27.96	-65.76
21	9/5/2005		**9**	-96	17.4	-93.48	-96	-93.48	-103.56	-20.4	-58.2
22	10/5/2005		**10**	-111.12	17.4	-98.52	-98.52	-96	-108.6	-17.88	-58.2
23	11/5/2005		**11**	-113.64	-11.58	-103.56	-98.52	-103.56	-106.08	-136.32	-153.96
24	12/5/2005		**12**	-116.16	-2.76	-106.08	-98.52	-98.52	-106.08	-121.2	-156.48
25	13/5/2005		**13**	-126.24	4.8	-111.12	-103.56	-101.04	-106.08	-88.44	-161.52
26	14/5/2005		**14**	-133.8	7.32	-111.12	-106.08	-103.56	-106.08	-88.44	-161.52
27	15/5/2005		**15**	-126.24	14.88	-113.64	-111.12	-106.08	-111.12	-85.92	-161.52
28	16/5/2005		**16**	-136.32	14.88	-113.64	-111.12	-108.6	-113.64	-83.4	-161.52
29	17/5/2005		**17**	-126.24	17.4	-116.16	-111.12	-108.6	-111.12	-80.88	-161.52
30	18/5/2005		**18**	-131.28	17.4	-131.28	-113.64	-111.12	-113.64	-78.36	-159
31	19/5/2005		**19**	-209.4	17.4	-128.76	-118.68	-113.64	-116.16	-75.84	-161.52
32	20/5/2005		**20**	-169.08	-2.76	-123.72	-118.68	-113.64	-113.64	-116.16	-159
33	21/5/2005		**21**	-113.64	-5.28	-121.2	-121.2	-116.16	-118.68	-65.76	-156.48
34	22/5/2005		**22**	-128.76	2.28	-126.24	-118.68	-116.16	-116.16	-58.2	-159
35	23/5/2005		**23**	-143.88	2.28	-12.84	-118.68	-116.16	-116.16	-55.68	-159
36	24/5/2005		**24**	-169.08	-5.28	-63.24	-123.72	-121.2	-121.2	-58.2	-159
37	25/5/2005		**25**	-189.24	-7.8	-143.88	-126.24	-123.72	-108.6	-131.28	-151.44
38	26/5/2005		**26**	-191.76	-166.56	-151.44	-126.24	-123.72	-108.6	-131.28	-151.44
39	27/5/2005		**27**	-30.48	-148.92	-146.4	-128.76	-123.72	-116.16	-131.28	-153.96
40	28/5/2005		**28**	-156.48	-138.84	-133.8	-131.28	-126.24	-136.32	-131.28	-156.48
41	29/5/2005		**29**	-143.88	-136.32	-65.76	-128.76	-126.24	-128.76	-131.28	-156.48
42	30/5/2005		**30**	-48.12	-93.48	-101.04	-128.76	-123.72	-123.72	-131.28	-159
43	31/5/2005		**31**	-60.72	-85.92	-33	-123.72	-123.72	-128.76	-136.32	-159
44	1/6/2005		**1**	-80.88	-85.92	-98.52	-121.2	-121.2	-133.8	-136.32	-164.04
45	2/6/2005	**Mês: Junho_05**	**2**	-45.6	-73.32	-85.92	-118.68	-118.68	-128.76	-133.8	-161.52
46	3/6/2005		**3**	-48.12	-58.2	-88.44	-108.6	-118.68	-126.24	-136.32	-161.52
47	4/6/2005		**4**	-78.36	-80.88	-88.44	-103.56	-103.56	-126.24	-138.84	-166.56
48	5/6/2005		**5**	-103.56	-96	-96	-106.08	-103.56	-121.2	-136.32	-128.76
49	6/6/2005		**6**	-111.12	-103.56	-25.44	-106.08	-103.56	-123.72	-136.32	-133.8
50	7/6/2005		**7**	-123.72	-111.12	-116.16	-111.12	-106.08	-121.2	-138.84	-108.6
51	8/6/2005		**8**	-136.32	-118.68	-113.64	-111.12	-108.6	-123.72	-136.32	-101.04
52	9/6/2005		**9**	-96	-118.68	-111.12	-116.16	-111.12	-121.2	-136.32	-96
53	10/6/2005		**10**	-118.68	-116.16	-17.88	-116.16	-111.12	-123.72	-138.84	-96
54	11/6/2005		**11**	-141.36	-128.76	-17.88	-118.68	-113.64	-121.2	-138.84	-90.96
55	12/6/2005		**12**	-22.92	-30.48	-15.36	-73.32	-63.24	-123.72	-136.32	-85.92
56	13/6/2005		**13**	-60.72	-63.24	-7.8	-73.32	-75.84	-98.52	-123.72	-80.88
57	14/6/2005		**14**	-60.72	-65.76	-2.76	-75.84	-75.84	-96	-116.16	-73.32
58	15/6/2005		**15**	-40.56	-48.12	-2.76	-65.76	-70.8	-96	-121.2	-68.28
59	16/6/2005		**16**	-65.76	-68.28	-0.24	-73.32	-78.36	-96	-116.16	-68.28
60	17/6/2005		**17**	-65.76	-65.76	4.8	-75.84	-75.84	-96	-113.64	-65.76
61	18/6/2005		**18**	-65.76	-78.36	2.28	-80.88	-85.92	-101.04	-118.68	-60.72
62	19/6/2005		**19**	-53.16	-60.72	4.8	-75.84	-80.88	-101.04	-123.72	-63.24
63	20/6/2005		**20**	-75.84	-75.84	12.36	-83.4	-85.92	-101.04	-123.72	-63.24
64	21/6/2005		**21**	-63.24	-85.92	7.32	-85.92	-88.44	-103.56	-121.2	-50.64
65	22/6/2005		**22**	-70.8	-83.4	12.36	-85.92	-88.44	-103.56	-121.2	-50.64
66	23/6/2005		**23**	-88.44	-88.44	12.36	-88.44	-90.96	-103.56	-123.72	-45.6
67	24/6/2005		**24**	-101.04	-96	7.32	-90.96	-90.96	-106.08	-121.2	-38.04
68	25/6/2005		**25**	-48.12	-90.96	9.84	-93.48	-96	-111.12	-126.24	-35.52
69	26/6/2005		**26**	-75.84	-88.44	4.8	-90.96	-93.48	-111.12	-126.24	-35.52
70	27/6/2005		**27**	-83.4	-85.92	30	-88.44	-90.96	-111.12	-126.24	-35.52
71	28/6/2005		**28**	-48.12	-53.16	30	-75.84	-85.92	-106.08	-128.76	-33
72	29/6/2005		**29**	-60.72	-68.28	30	-75.84	-83.4	-103.56	-126.24	-22.92

Registros de tensiometria

REPOLHO 3 (margem do rio - abaixo da antiga beterraba)
Potencial total

		Dia	10	20	30	40	60	80	100	120
1	**Mês: Abril_05**	**8**	7.32	-33	-77.1	-85.92	-108.6	-116.16	-122.46	-143.88
2		**9**	11.1	-11.58	-78.36	-90.96	-116.16	-114.9	-92.22	-145.14
3		**10**	13.62	-10.32	-78.36	-89.7	-109.86	-112.38	-89.7	-147.66
4		**11**	11.1	-0.24	-77.1	-90.96	-111.12	-114.9	-77.1	-143.88
5		**12**	11.1	4.8	-70.8	-93.48	-111.12	-113.64	-77.1	-143.88
6		**13**	13.62	11.1	-54.42	-93.48	-113.64	-116.16	-61.98	-146.4
7		**14**	14.88	9.84	-63.24	-94.74	-112.38	-116.16	-54.42	-148.92
8		**15**	17.4	7.32	-34.26	-93.48	-113.64	-117.42	-43.08	-150.18
9		**16**	17.4	6.06	-25.44	-94.74	-112.38	-117.42	-36.78	-151.44
10		**17**	17.4	6.06	-33	-97.26	-112.38	-117.42	-30.48	-152.7
11		**18**	17.4	8.58	-5.28	-93.48	-112.38	-117.42	-16.62	-150.18
12		**19**	4.8	-9.06	1.02	-92.22	-111.12	-114.9	-127.5	-148.92
13		**20**	9.84	-2.76	-54.42	-90.96	-104.82	-113.64	-136.32	-148.92
14		**21**	12.36	-2.76	-27.96	-90.96	-102.3	-113.64	-138.84	-150.18
15		**22**	17.4	-0.24	-40.56	-92.22	-103.56	-112.38	-131.28	-151.44
16		**23**	17.4	7.32	-48.12	-94.74	-104.82	-113.64	-128.76	-150.18
17		**24**	7.32	-9.06	-17.88	-92.22	-104.82	-114.9	-114.9	-109.86
18		**25**	11.1	17.4	-5.28	-90.96	-106.08	-113.64	-116.16	-106.08
19		**26**	11.1	17.4	-5.28	-90.96	-106.08	-113.64	-116.16	-106.08
20		**27**	-65.76	-87.18	-63.24	-73.32	-104.82	-111.12	-131.28	-126.24
21		**28**	-1.5	-49.38	8.58	-59.46	-97.26	-106.08	-0.24	-122.46
22		**29**	7.32	-54.42	-43.08	-60.72	-92.22	-102.3	-55.68	-122.46
23		**30**	13.62	-58.2	-36.78	-60.72	-90.96	-101.04	-50.64	-122.46
24		**1**	17.4	-63.24	-17.88	-68.28	-93.48	-101.04	-29.22	-118.68
25	**Mês: Maio_05**	**2**	17.4	-80.88	-10.32	-74.58	-96	-104.82	-25.44	-118.68
26		**3**	16.14	-92.22	2.28	-75.84	-94.74	-102.3	-14.1	-118.68
27		**4**	9.84	-64.5	6.06	-85.92	-101.04	-106.08	-12.84	-130.02
28		**5**	12.36	-88.44	7.32	-85.92	-103.56	-108.6	-9.06	-133.8
29		**6**	13.62	-15.36	13.62	-87.18	-104.82	-109.86	-4.02	-135.06
30		**7**	13.62	-15.36	17.4	-89.7	-104.82	-113.64	-0.24	-143.88
31		**8**	17.4	1.02	17.4	-92.22	-108.6	-111.12	8.58	-143.88
32		**9**	17.4	4.8	17.4	-93.48	-107.34	-111.12	12.36	-147.66
33		**10**	17.4	4.8	14.88	-97.26	-109.86	-112.38	14.88	-151.44
34		**11**	4.8	-6.54	-10.32	-97.26	-108.6	-111.12	-77.1	-137.58
35		**12**	7.32	-5.28	-6.54	-102.3	-112.38	-112.38	-82.14	-140.1
36		**13**	11.1	-4.02	-12.84	-116.16	-114.9	-114.9	-77.1	-142.62
37		**14**	8.58	-2.76	-27.96	-116.16	-114.9	-116.16	-75.84	-143.88
38		**15**	17.4	2.28	-10.32	-121.2	-114.9	-117.42	-74.58	-146.4
39		**16**	17.4	3.54	-4.02	-122.46	-116.16	-117.42	-74.58	-148.92
40		**17**	12.36	7.32	-0.24	-124.98	-116.16	-117.42	-73.32	-148.92
41		**18**	12.36	9.84	-0.24	-143.88	-119.94	-117.42	-72.06	-148.92
42		**19**	12.36	11.1	11.1	-193.02	-122.46	-118.68	-68.28	-148.92
43		**20**	-4.02	-0.24	13.62	-137.58	-118.68	-118.68	-61.98	-151.44
44		**21**	-1.5	-4.02	9.84	-137.58	-118.68	-118.68	-55.68	-151.44
45		**22**	16.14	11.1	16.14	-143.88	-118.68	-118.68	-53.16	-152.7
46		**23**	17.4	11.1	14.88	-150.18	-119.94	-119.94	-36.78	-155.22
47		**24**	17.4	11.1	13.62	-162.78	-121.2	-118.68	-27.96	-155.22
48		**25**	17.4	11.1	12.36	-175.38	-123.72	-122.46	-20.4	-155.22
49		**26**	-101.04	-9.06	12.36	-195.54	-123.72	-121.2	-85.92	-148.92
50		**27**	-26.7	-4.02	-11.58	-186.72	-122.46	-121.2	-89.7	-151.44
51		**28**	-26.7	-5.28	-15.36	-206.88	-126.24	-124.98	-83.4	-151.44
52		**29**	-24.18	-1.5	-10.32	-174.12	-124.98	-123.72	-78.36	-155.22
53		**30**	-27.96	3.54	-5.28	-169.08	-126.24	-123.72	-68.28	-155.22
54		**31**	-43.08	4.8	-2.76	-157.74	-127.5	-123.72	-64.5	-155.22
55		**1**	-43.08	4.8	-0.24	-151.44	-130.02	-127.5	-61.98	-156.48
56	**Mês: Junho_05**	**2**	-26.7	12.36	13.62	-138.84	-130.02	-126.24	-54.42	-156.48
57		**3**	-39.3	12.36	12.36	-90.96	-127.5	-127.5	-53.16	-156.48
58		**4**	-33	11.1	12.36	-75.84	-124.98	-124.98	-51.9	-159
59		**5**	-26.7	12.36	17.4	-77.1	-124.98	-124.98	-41.82	-156.48
60		**6**	-26.7	11.1	17.4	-79.62	-123.72	-123.72	-36.78	-156.48
61		**7**	-24.18	11.1	14.88	-87.18	-123.72	-123.72	-35.52	-156.48
62		**8**	-17.88	9.84	13.62	-98.52	-123.72	-123.72	-25.44	-159
63		**9**	-12.84	9.84	13.62	-85.92	-121.2	-121.2	-20.4	-159
64		**10**	-10.32	11.1	12.36	-82.14	-121.2	-121.2	-15.36	-159
65		**11**	-9.06	12.36	11.1	-85.92	-121.2	-121.2	-9.06	-159
66		**12**	-7.8	13.62	11.1	-88.44	-121.2	-121.2	-4.02	-159
67		**13**	-7.8	17.4	9.84	-58.2	-107.34	-107.34	4.8	-140.1
68		**14**	11.1	17.4	11.1	-61.98	-106.08	-106.08	12.36	-136.32
69		**15**	12.36	-58.2	11.1	-54.42	-104.82	-104.82	17.4	-136.32
70		**16**	9.84	17.4	11.1	-63.24	-104.82	-104.82	14.88	-136.32
71		**17**	9.84	17.4	13.62	-65.76	-101.04	-101.04	14.88	-133.8
72		**18**	7.32	17.4	13.62	-74.58	-102.3	-102.3	17.4	-133.8
73		**19**	8.58	17.4	17.4	-65.76	-104.82	-104.82	17.4	-133.8
74		**20**	17.4	17.4	17.4	-65.76	-103.56	-103.56	17.4	-135.06
75		**21**	-83.4	-85.92	-9.06	-75.84	-111.12	-111.12	-108.6	-
76		**22**	-83.4	-83.4	-14.1	-75.84	-111.12	-111.12	-101.04	-
77		**23**	-75.84	-83.4	-7.8	-77.1	-118.68	-118.68	-84.66	-
78		**24**	-70.8	-79.62	-14.1	-82.14	-117.42	-117.42	-78.36	-
79		**25**	-65.76	-78.36	-9.06	-88.44	-113.64	-113.64	-72.06	-
80		**26**	-63.24	-73.32	-9.06	-82.14	-98.52	-98.52	-65.76	-
81		**27**	-54.42	-70.8	4.8	-83.4	-75.84	-75.84	-63.24	-
82		**28**	-79.62	-73.32	1.02	-59.46	-106.08	-106.08	-60.72	-
83		**29**	-61.98	-69.54	7.32	-58.2	-64.5	-64.5	-51.9	-
84		**30**	-64.5	-69.54	4.8	-61.98	-55.68	-55.68	-50.64	-

ANEXO C - Aplicação da lâmina de irrigação

Tempo de irrigação (minutos)

			Repolho 1 aspersão	Repolho 2 microaspersão	Repolho 3 nicroaspersão
1	1/4/2005	sexta-feira			
2	2/4/2005	sábado			
3	3/4/2005	domingo			
4	4/4/2005	segunda-feira			
5	5/4/2005	terça-feira			
6	6/4/2005	quarta-feira			
7	7/4/2005	quinta-feira			
8	8/4/2005	sexta-feira	0.5	0.666666667	
9	9/4/2005	sábado			2.16666667
10	10/4/2005	domingo	0.6666667		
11	11/4/2005	segunda-feira			
12	12/4/2005	terça-feira		2	2
13	13/4/2005	quarta-feira	1.1666667		
14	14/4/2005	quinta-feira			
15	15/4/2005	sexta-feira	0.5		
16	16/4/2005	sábado		2	
17	17/4/2005	domingo			
18	18/4/2005	segunda-feira			
19	19/4/2005	terça-feira	1.3333333	0.666666667	
20	20/4/2005	quarta-feira	0.3333333		2
21	21/4/2005	quinta-feira			
22	22/4/2005	sexta-feira	0.9166667		2
23	23/4/2005	sábado		2	
24	24/4/2005	domingo	1		
25	25/4/2005	segunda-feira			
26	26/4/2005	terça-feira			
27	27/4/2005	quarta-feira		2	
28	28/4/2005	quinta-feira			
29	29/4/2005	sexta-feira			
30	30/4/2005	sábado			
31	1/5/2005	domingo			
32	2/5/2005	segunda-feira			
33	3/5/2005	terça-feira			
34	4/5/2005	quarta-feira			
35	5/5/2005	quinta-feira			
36	6/5/2005	sexta-feira			
37	7/5/2005	sábado			
38	8/5/2005	domingo			
39	9/5/2005	segunda-feira			
40	10/5/2005	terça-feira		1.5	1.5
41	11/5/2005	quarta-feira			
42	12/5/2005	quinta-feira			
43	13/5/2005	sexta-feira			
44	14/5/2005	sábado			
45	15/5/2005	domingo			
46	16/5/2005	segunda-feira			
47	17/5/2005	terça-feira			
48	18/5/2005	quarta-feira			
49	19/5/2005	quinta-feira		2.25	2.25
50	20/5/2005	sexta-feira			
51	21/5/2005	sábado			
52	22/5/2005	domingo			
53	23/5/2005	segunda-feira		2	2
54	24/5/2005	terça-feira			
55	25/5/2005	quarta-feira			
56	26/5/2005	quinta-feira	0.25	3	3
57	27/5/2005	sexta-feira			
58	28/5/2005	sábado			
59	29/5/2005	domingo		2	2
60	30/5/2005	segunda-feira			

Tempo de irrigação (minutos)

			Repolho 1 aspersão	Repolho 2 microaspersão	Repolho 3 nicroaspersão
61	31/5/2005	terça-feira			
62	1/6/2005	quarta-feira			
63	2/6/2005	quinta-feira			
64	3/6/2005	sexta-feira			
65	4/6/2005	sábado			
66	5/6/2005	domingo			
67	6/6/2005	segunda-feira		3	2
68	7/6/2005	terça-feira			
69	8/6/2005	quarta-feira			2.25
70	9/6/2005	quinta-feira			
71	10/6/2005	sexta-feira	0.75		
72	11/6/2005	sábado			
73	12/6/2005	domingo	0.5	3.25	
74	13/6/2005	segunda-feira			
75	14/6/2005	terça-feira			
76	15/6/2005	quarta-feira			
77	16/6/2005	quinta-feira			
78	17/6/2005	sexta-feira			
79	18/6/2005	sábado			
80	19/6/2005	domingo			
81	20/6/2005	segunda-feira			
82	21/6/2005	terça-feira			
83	22/6/2005	quarta-feira			
84	23/6/2005	quinta-feira			
85	24/6/2005	sexta-feira			
86	25/6/2005	sábado			
87	26/6/2005	domingo			
88	27/6/2005	segunda-feira			
89	28/6/2005	terça-feira			
90	29/6/2005	quarta-feira			
91	30/6/2005	quinta-feira			
92	1/7/2005	sexta-feira			

ANEXO D - Aplicação de pesticidas

Registro de coleta de solo e aplicação de pesticidas e fertilizantes

Dia da Modelagem	Idade da cultura (dias)		*Repolho 1*	*Repolho 2*	*Repolho 3*	
	14	1/4/2005 sexta-feira				
	15	2/4/2005 sábado				
	16	3/4/2005 domingo				
	17	4/4/2005 segunda-feira				
	18	5/4/2005 terça-feira				
	19	6/4/2005 quarta-feira				
	20	7/4/2005 quinta-feira				
1	21	8/4/2005 sexta-feira				
2	22	9/4/2005 sábado				
3	23	10/4/2005 domingo				
4	24	11/4/2005 segunda-feira				
5	25	12/4/2005 terça-feira				
6	26	13/4/2005 quarta-feira				
7	27	14/4/2005 quinta-feira				
8	28	15/4/2005 sexta-feira				
9	29	16/4/2005 sábado				
10	30	17/4/2005 domingo				
11	31	18/4/2005 segunda-feira		x		
12	32	19/4/2005 terça-feira			x	
13	33	20/4/2005 quarta-feira				
14	34	21/4/2005 quinta-feira		x		
15	35	22/4/2005 sexta-feira			x	
16	36	23/4/2005 sábado				
17	37	24/4/2005 domingo				
18	38	25/4/2005 segunda-feira		x	x	
19	39	26/4/2005 terça-feira				
20	40	27/4/2005 quarta-feira				
21	41	28/4/2005 quinta-feira		x	x	
22	42	29/4/2005 sexta-feira				
23	43	30/4/2005 sábado				
24	44	1/5/2005 domingo				
25	45	2/5/2005 segunda-feira		x	x	
26	46	3/5/2005 terça-feira				
27	47	4/5/2005 quarta-feira				
28	48	5/5/2005 quinta-feira				
29	49	6/5/2005 sexta-feira		Pirate	Pirate	
30	50	7/5/2005 sábado	Pirate			
31	51	8/5/2005 domingo				
32	52	9/5/2005 segunda-feira		Karate	Karate	
33	53	10/5/2005 terça-feira	x			COLETA SOLO 1
34	54	11/5/2005 quarta-feira		x	x	
35	55	12/5/2005 quinta-feira				
36	56	13/5/2005 sexta-feira	x	x	x	
37	57	14/5/2005 sábado				
38	58	15/5/2005 domingo				
39	59	16/5/2005 segunda-feira		x	x	
40	60	17/5/2005 terça-feira	x			
41	61	18/5/2005 quarta-feira		x	x	
42	62	19/5/2005 quinta-feira				COLETA SOLO 2
43	63	20/5/2005 sexta-feira	Thiobel	Rumo + Meothrin	Rumo + Meothrin	
44	64	21/5/2005 sábado				
45	65	22/5/2005 domingo				
46	66	23/5/2005 segunda-feira	Thiobel	Thiobel	Thiobel	
47	67	24/5/2005 terça-feira				
48	68	25/5/2005 quarta-feira				
49	69	26/5/2005 quinta-feira				
50	70	27/5/2005 sexta-feira		Thiobel	Thiobel	
51	71	28/5/2005 sábado				
52	72	29/5/2005 domingo				
53	73	30/5/2005 segunda-feira				
54	74	31/5/2005 terça-feira				
55	75	1/6/2005 quarta-feira				
56	76	2/6/2005 quinta-feira				COLETA SOLO 3
57	77	3/6/2005 sexta-feira	Akito	Akito	Akito	
58	78	4/6/2005 sábado				
59	79	5/6/2005 domingo				
60	80	6/6/2005 segunda-feira	Xentari	Xentari	Xentari	
61	81	7/6/2005 terça-feira				
62	82	8/6/2005 quarta-feira				
63	83	9/6/2005 quinta-feira	Akito	Akito	Akito	
64	84	10/6/2005 sexta-feira				
65	85	11/6/2005 sábado				
66	86	12/6/2005 domingo				
67	87	13/6/2005 segunda-feira				

Registro de coleta de solo e aplicação de pesticidas e fertilizantes

Dia da Modelagem	Idade da cultura (dias)							
68	88	14/6/2005	terça-feira	Polytrin	Polytrin	Polytrin		
69	89	15/6/2005	quarta-feira					
70	90	16/6/2005	quinta-feira					
71	91	17/6/2005	sexta-feira	Akito	Akito	Akito		
72	92	18/6/2005	sábado					
73	93	19/6/2005	domingo					
74	94	20/6/2005	segunda-feira					
75	95	21/6/2005	terça-feira					
76	96	22/6/2005	quarta-feira					
77	97	23/6/2005	quinta-feira					COLHEU REP 2 e 3
78	98	24/6/2005	sexta-feira					
79	99	25/6/2005	sábado					
80	100	26/6/2005	domingo					
81	101	27/6/2005	segunda-feira					
82	102	28/6/2005	terça-feira					
83	103	29/6/2005	quarta-feira					
84	104	30/6/2005	quinta-feira					COLHEU REP 1
85	105	1/7/2005	sexta-feira					
86	106	2/7/2005	sábado					
87	107	3/7/2005	domingo					
88	108	4/7/2005	segunda-feira					
89	109	5/7/2005	terça-feira					
90	110	6/7/2005	quarta-feira					
91	111	7/7/2005	quinta-feira					
92	112	8/7/2005	sexta-feira				COLETA SOLO	4
93	113	9/7/2005	sábado					
94	114	10/7/2005	domingo					
95	115	11/7/2005	segunda-feira					
96	116	12/7/2005	terça-feira					
97	117	13/7/2005	quarta-feira					
98	118	14/7/2005	quinta-feira					
99	119	15/7/2005	sexta-feira					
100	120	16/7/2005	sábado					
101	121	17/7/2005	domingo					
102	122	18/7/2005	segunda-feira					

Atenção: desde 17.06.2005, o agricultor não aplicou agrotóxico algum. As despesas com veneno estavam altas e o repolho já estava com baixa qualidade pela destruição das folhas pela TRAÇA (tipo de praga).
A cultura apresentou redução dos efeitos da praga após o fim da aplicação.
Isso ocorreu também em Campo Alegre e Rosário.

ANEXO E - Testes de lâmina de irrigação

Repolho 1

Irrigação com aspersor convencional

	l1-l2	l2-l3	l3-l4	l4-l5
pote 1	12	20	10	10
pote 2	14	8	12	12
pote 3	12	12	14	28
pote 4	11	15	13	21
pote 5	10	23	10	10
pote 6	12	10	11	10
pote 7	14	24	9	11
pote 8	18	12	8	14
pote 9	10	10	8	21
pote 10	8	9	11	12
pote 11		11		14

média= 12.95238095

Área do potinho:

1mm = 1l / m2

A = 38.4844775 cm2

0.003848448 m2

irrigação = 3.365612 mm em 20 minutos = **10.09683524 mm/h**

Repolho 2

(valores em ml)

	l1-l2	l2-l3	l3-l4	l4-l5	l5-l6	l6-l7
pote 1	9	11	8	9	5	10
pote 2	8	5	9	10	12	8
pote 3	8	5	8	10	10	10
pote 4	5	10	8	7	8	
pote 5	8	8	5	5	8	
pote 6	8	7	10	8	5	
pote 7	5	10	30	5	5	
pote 8	7	5	0	5	5	
pote 9	8		5	3	4	
pote 10	5			10	10	
pote 11	9			9	7	

media 7.77 0.007773585

Desv pad 3.91

Área do potinho:

A = 38.4844775 cm2

0.003848448 m2

1mm = 1l / m2

irrigacao = 0,007/ Apotinho = 1.818915172 mm em 30 minutos = **3.637830343 mm/hora**

Repolho 3

l1-l2	l2-l3	l3-l4	l4-l5
7	9	5	8
8	8	9	5
9	10	7	7
8	10	8	7
8	9	8	8
9	8	10	9
7	5	9	11
8	6	11	18
10	7	12	9

media	8.527777778	0.008527778
Desv pad	2.30	

Área do potinho:

A = 38.4844775 cm2
0.003848448 m2

1mm = 1l / m2

irrigacao = 0,008/ Apotinho = 2.078760196 mm em 30 minutos = **4.157520392 mm/hora**

mm	minutos
2.07	30
4.14	60
12.42	90
41.4	100
165.6	120

Tempo de aplicação do sistema em minutos

Lâmina a repor (mm)	**Repolho 1**	**Repolho 2**	**Repolho 3**
1	**6**	**16**	**14**
2	**12**	**33**	**29**
3	**18**	**49**	**43**
4	**24**	**66**	**58**
5	**30**	**82**	**72**
6	**36**	**99**	**87**
7	**42**	**115**	**101**
8	**48**	**132**	**115**
9	**53**	**148**	**130**
10	**59**	**165**	**144**
11	**65**	**181**	**159**
12	**71**	**198**	**173**

ANEXO F - Medição da profundidade das raízes

Medição da profundiade das raízes

		Rep 1	**Rep 2**	**Rep 3**	
Idade (dias)	Dia de observação	prof média (cm)	prof média (cm)	prof média (cm)	Média
21	1	10	12	10	10.7
62	42	26	27	27	26.7
104	84	40	42	38	40.0

Usar 50% na metade do ciclo

ANEXO G - Ajustes para curva característica

Curva característica - Área A1

Área A1	θr	θs	α	n	Fator de correlação do ajuste (R)
Profundidade 0-40cm	0.038976	0.44096	0.051341	1.908411	0.9989
Profundidade 40 – 100 cm	0.027121	0.364082	0.078321	1.758086	0.9995

Amostras de laboratório				
hm	*Curva teórica 0-40 cm*	*Curva teórica 40-100cm*	*Curva 0-40 cm*	*Curva 40-100cm*
1	0.44030	0.36244	0.45230	0.36370
3	0.43568	0.35330	0.43340	0.35050
5	0.42742	0.33946	0.41830	0.34110
10	0.39637	0.29859	0.39570	0.29960
15	0.35967	0.26121	0.35240	0.25820
20	0.32449	0.23115	0.32600	0.23370
30	0.26734	0.18881	0.28080	0.18840
50	0.19769	0.14244	0.19410	0.13940
75	0.15303	0.11352	0.14700	0.11500
100	0.12808	0.09710	0.12810	0.10360
200	0.08716	0.06883	0.08190	0.06250
300	0.07242	0.05785	0.07700	0.05400
500	0.06004	0.04800	0.06270	0.05300

Curva característica - Área A2

Área A1	θr	θs	α	n	Fator de correlação do ajuste (R)
Profundidade 0- 20cm	-0.02115	0.471438	0.010631	2.775804	0.97407
Profundidade 20- 60cm	0.06047	0.430385	0.094595	1.661578	0.99934
Profundidade 60 – 100 cm	-0.068426	0.3703	0.0607	1.380498	0.9978

Amostras de laboratório						
hm	*Curva teórica 0-20 cm*	*Curva teórica 20-60cm*	*Curva teórica 60-100 cm*	*Curva 0-20 cm*	*Curva 20-60cm*	*Curva 60-100 cm*
1	0.47144	0.42750	0.36781	0.54080	0.4315	0.3769
3	0.47142	0.41365	0.35944	0.51260	0.407	0.3543
5	0.47135	0.39490	0.34949	0.49370	0.3976	0.343
10	0.47081	0.34626	0.32377	0.46730	0.3449	0.3222
15	0.46952	0.30638	0.30031	0.44850	0.3072	0.2996
20	0.46720	0.27597	0.28002	0.42400	0.277	0.2827
30	0.45867	0.23436	0.24761	0.40520	0.2356	0.2544
50	0.42362	0.18901	0.20405	0.38250	0.1903	0.2073
75	0.35359	0.16015	0.17025	0.35620	0.1564	0.1639
100	0.27760	0.14334	0.14767	0.33350	0.1376	0.1376
200	0.09865	0.11320	0.09980	0.04220	0.1237	0.1162
300	0.04010	0.10085	0.07628	0.04050	0.0987	0.0655
500	0.00405	0.08930	0.05102	0.03100	0.0874	0.0539