

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS



TESE DE DOUTORADO

EFEITOS DA FETIRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE
LAGOA DE POLIMENTO NOS ATRIBUTOS
DO SOLO E NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO
CAUPI (*Vigna unguiculata*(L.) Walp)

Vicente de Paula Silva

PPGEC-UFPE

Efeitos da fertirrigação com efluente da lagoa de polimento nos atributos do solo
e na produção de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

PAULA SILVA

D13
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Área de Concentração Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

TESE DE DOUTORADO

VICENTE DE PAULA SILVA

EFEITOS DA FERTIRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE LAGOA DE POLIMENTO NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO CAUPI (*Vigna unguiculata (L.) Walp*)

**Recife -Pe
2007**

VICENTE DE PAULA SILVA

EFEITOS DA FERTIRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE LAGOA DE POLIMENTO NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO CAUPI (*Vigna unguiculata (L.) Walp*)

Tese apresentada à Universidade Federal de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-Área de Concentração Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**Recife - Pe
2007**

S586e Silva, Vicente de Paula.

Efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de polimento nos atributos do solo e na produção de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). – Recife: O Autor, 2007.

xvi, 128 folhas. : il. ; fig., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia civil, 2007.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil. 2. Feijão caupi - Fertirrigação. 3. Esgoto tratado – Reúso. 4. Lagoa de polimento - Efluente. I. Título.

624 CDD (22.ed.)

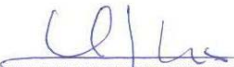
UFPE
BCTG/2007-073

**EFEITOS DA FERTIRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE LAGOA DE POLIMENTO
NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NA PRODUÇÃO DE FEIJÃO CAUPI (*Vigna
unguiculata* (L.) Walp)**

por

Vicente de Paula Silva

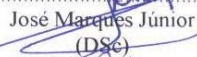
Tese defendida e aprovada em 09 de fevereiro de 2007 pela banca examinadora
constituída pelos professores doutores abaixo assinados:



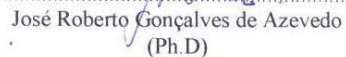
Maria de Lourdes Florêncio dos Santos (Ph.D)
Orientadora



Mario Takayuki Kato (Ph.D.)
Co-orientador



Examinador



Examinador



Clístenes Williams Araújo do Nascimento
(DSc)
Examinador

Recife, 09 de fevereiro de 2007

“Pesquisa para constatar, constatando, intervenho. Intervindo educo e me educo. Pesquisa para saber o que ainda não conheço e comunicar ou anunciar a novidade. ...Afiml, minha presença no mundo não é a de a ele se adapta mais, a de quem a ele se insere. É a posição de quem luta para não ser apenas objeto, mais sujeito também da história”.

Prof. Paulo Freire, 1966

**À minha esposa Evania e aos meus
filhos Leandro (Léo), Renata (Tati) e
Manuella (Manuca),**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS por atingir este objetivo.

Aos meus tutores e pais de criação Prof Manuel Sylvio Carneiro Campello Netto e Maria Ivonete Carneiro Campello, pelos esforços que desprenderam para a minha formação moral e acadêmica.

À minha esposa Evania e meus filhos, Leandro, Renata e Manuella, pelo amor, apoio e compreensão nos momentos de dificuldades encontrados.

Ao Professor Mario Takayuki, por suas sugestões, pelo seu olhar crítico de pesquisador e dedicação ao trabalho de professor.

À Professora Lourdinha Florêncio, pelas colocações e observações feitas durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores da Universidade Federal de Pernambuco, que fazem a Pós-graduação em Engenharia Civil, em especial aos professores: Maria do Carmo Sobral, Mariano de Sá Aragão, Suzana Montenegro, e Sylvio Campello pela contribuição acadêmica.

Aos colegas Ronaldo Faustino da Silva e Giovanni de Melo Perazzo, pela amizade sincera, companheirismo, cooperação, lealdade e por terem compartilhado dúvidas, problemas, soluções e alegrias.

Aos professores da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Abelardo Montenegro, Ênio Farias de França, Elvira Pedrosa, Marcos Metri, Clístenes Araújo e José Antonio Aleixo, pelas sugestões e contribuições profissional e acadêmica na construção deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Civil: Ronaldo de Melo Fonseca, Técnico do Laboratório de Saneamento Ambiental, e Andréa Negromonte, Secretária do curso de pós-graduação em Engenharia Civil da UFPE, pelo profissionalismo.

A todos os colegas da Pós-graduação da UFPE e do Grupo de Saneamento Ambiental, em especial a Ana Maria R. Bastos, Ana Paula de Araújo, Ana Cláudia, André Felipe Santos, Flávio José D'Castro Filho, Kenia Kelly, Maria Clara Mendonça, Marília Lyra, Maurício Pimenta, Silvana Araújo, Tauil Sangaletti Junior e Valmir Marques, pelo companheirismo e alegria durante toda nossa convivência.

Aos amigos do Laboratório de Saneamento Ambiental da UFPE, em especial a Juliana Cardoso de Moraes, Elizabeth A. Pastich, Luíza Feitosa, Poliana Maria Januário Silva, Rodrigo Mendonça, Solange Melo, pela colaboração e amizade.

Ao técnico do laboratório de Física do solo (Anacleto José da Fonseca Júnior) e aos Fertilidade do solo, do Departamento de Agronomia da UFRPE pelas análises realizadas. A funcionária da Biblioteca Central da UFRPE, Ana Katarina de Araújo, pelo empenho na aquisição de material para consulta.

Ao engenheiro agrônomo Guilherme Cordeiro e aos estudantes de engenharia agrícola e ambiental da UFRPE, José Roberto Lopes da Silva e Táfnes da Silva Andrade pela colaboração na organização dos dados.

Aos colegas da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), Drs. Roberto Vicente Gomes e José Milton Tabosa pelas sugestões durante a pesquisa.

A comunidade da Mangueira e aos seus moradores Daniel, Marcone e Edmilson Marinho da Silva prestador de serviços na ETE Mangueira, pela atenção e assistência na realização das atividades de campo e coleta de dados, .

A Sr. Paulo (mestre de obras) pela contribuição dada na execução do projeto da unidade experimental.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo incentivo a capacitação do seu corpo docente.

A Universidade Federal de Pernambuco, especialmente a Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de concentração Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pelo acolhimento acadêmico.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia / CAPES – CNPQ, e ao Programa PROSAB / FINEP pelo apoio e oportunidade dada ao desenvolvimento da pesquisa.

Enfim, o meu MUITO OBRIGADO aos demais colegas, pessoas e familiares que, de alguma forma contribuíram e me incentivaram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
RESUMO	xi
ABSTRAT.....	xiii
CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. OBJETIVOS.....	4
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	4
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO 2	5
REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. A ÁGUA E SUA IMPORTÂNCIA NA NATUREZA.....	5
2.2. POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA	7
2.3. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA REÚSO NA IRRIGAÇÃO	8
2.4. QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA PARA UTILIZAÇÃO NA IRRIGAÇÃO.....	9
2.5. DISPOSIÇÃO DE EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO NO AGROSSISTEMA	14
2.5.1. MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE ESGOTO TRATADO VIA IRRIGAÇÃO.....	16
2.5.2. MANEJO SUSTENTÁVEL DA IRRIGAÇÃO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO	18
2.6. EFEITOS DO EFLUENTE DE ESGOTO SOBRE OS ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO SOLO.....	18
2.6.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	18
2.6.2. ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO	22
2.6.3. MICRONUTRIENTES E ELEMENTOS TÓXICOS	24
2.6.4. ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO.....	25
2.6.3.1. Textura, densidades do solo, das partículas, porosidade total e resistência do solo à penetração.....	26
2.6.3.2. Retenção de água no solo, macroporosidade e microporosidade.....	28
2.7. EFEITO DO EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO NA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS	29

2.7.1. CULTURA DO FEIJÃO CAUPI.....	31
2.7.1.1. Importância da cultura	31
2.7.1.2. Ecofisiologia	32
2.7.1.3. Fenologia	34
2.7.1.4. Nutrição e adubação nitrogenada.....	36
2.7.1.5. Fixação biológica e inoculação.....	37
CAPÍTULO 3	39
MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1. DESCRIÇÃO DA ETE - MANGUEIRA E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DE ESGOTAMENTO	39
3.2. CONSTRUÇÃO E PREPARO DOS LISÍMETROS DE DRENAGEM.....	40
3.3. MATERIAL DE SOLO.....	41
3.3.1. CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA.....	41
3.3.1.1. Determinação das características químicas do perfil natural	45
3.3.1.2. Determinação das características físico-hídricas do perfil natural.....	46
3.4. DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE E DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO	49
3.5. INSTALAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	50
3.6. DADOS CLIMÁTICOS DURANTE OS EXPERIMENTOS.....	55
3.7. CULTURA	55
3.7.1 PRODUÇÃO FINAL E SUAS COMPONENTES	56
3.8. MANEJO DA IRRIGAÇÃO	56
3.9. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	58
CAPÍTULO 4	61
RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1 QUALIDADE DO EFLUENTE SECUNDÁRIO E DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO.....	61
4.2 MANEJO, CONTROLE DA IRRIGAÇÃO E APORTE DE NUTRIENTES.....	64
4.3. AVALIAÇÃO DA ALTERAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO ...	73
4.3.1 CARACTERÍSTICAS INICIAIS DO SOLO	73
4.3.2. EFEITOS NOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS EM CADA FAIXA DE PROFUNDIDADE DO SOLO NOS LISÍMETROS	75
4.3.3. EFEITOS DO TIPO DE MANEJO NOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO	96
4.4. PRODUÇÃO E SUAS COMPONENTES.....	105
5. CONCLUSÕES	108
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1. Vista geral da ETE-Mangueira e de parte da bacia de esgotamento.....	40
Figura 3.2 Esquema geral da disposição da área experimental em relação ao sistema de tratamento da ETE – Mangueira.....	43
Figura 3.3 Perfil de Argissolo Amarelo Eutrofico típico.....	44
Figura 3.4. Infra-estrutura hidráulica para aplicação de efluente e água de abastecimento.....	51
Figura 3.5. Elementos hidráulicos do sistema de distribuição.....	52
Figura 3.6. Sistema de drenagem dos lisímetros e poço de coleta.....	52
Figura 4.1. . Precipitação (PREC) Irrigação total necessária (ITN), lâmina atual de água no solo (LAA), capacidade total (CTA) e real (CRA) de água no solo, variação da tensão da água no solo e balanço da água no solo para a cultura do feijão caupi irrigado, medidos em lisímetro correspondente ao tratamento com água 1 ^o plantio....	66
Figura 4.2. . Precipitação (PREC) Irrigação total necessária (ITN), lâmina atual de água no solo (LAA), capacidade total (CTA) e real (CRA) de água no solo, variação da tensão da água no solo e balanço da água no solo para a cultura do feijão caupi irrigado, medidos em lisímetro correspondente ao tratamento com água 1 ^o plantio....	67
Figura 4.3. Precipitação (PREC) Irrigação total necessária (ITN), lâmina atual de água no solo (LAA), capacidade total (CTA) e real (CRA) de água no solo, variação da tensão da água no solo e balanço da água no solo para a cultura do feijão caupi irrigado, medidos em lisímetro correspondente ao tratamento com água 2 ^o plantio...	68
Figura 4.4. Precipitação (PREC) Irrigação total necessária (ITN), lâmina atual de água no solo (LAA), capacidade total (CTA) e real (CRA) de água no solo, variação da tensão da água no solo e balanço da água no solo para a cultura do feijão caupi irrigado, medidos em lisímetro correspondente ao tratamento com água 2 ^o plantio....	69

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1. Diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação.....	11
Tabela 2.2. Concentrações máximas de oligoelementos recomendáveis para a irrigação.....	12
Tabela 2.3. Normas regulamentares existentes para se controlar o uso de água residuária na agricultura.....	13
Tabela 2.4. Características do efluente doméstico secundário.....	15
Tabela 2.5 Caracterização dos estádios fenológicos da cultura do feijão comum (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	35
Tabela 3.1 – Análise química do solo coletado nos horizontes pedogenéticos do perfil natural.....	45
Tabela 3.2. Características físico-hídricas do solo coletado nos horizontes pedogenéticos do perfil natural.....	47
Tabela 3.3 – Características físico-hídricas das condições iniciais do solo da área experimental.....	53
Tabela 3.4 – Características físico-química das condições iniciais do solo nos lisímetros.....	54
Tabela 3.5. Tipos de tratamentos utilizados no experimento.....	54
Tabela 3.6. Valores médios de temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade do vento (U_2), precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_0) registrados durante os períodos do experimento na estação meteorológica do Curado em Recife	55
Tabela 3.7. Valores do coeficiente de cultivo (K_c) para o feijão caupi em diferentes fases, estádios e períodos dos ciclos vegetativos utilizados na área experimental em Recife (PE).....	57
Tabela 4.1. Resultados de análises físico-químicas da água e do efluente de esgoto utilizados para irrigação do feijão caupi nos períodos de outubro a dezembro de 2005 e janeiro a abril de 2006.....	62
Tabela 4.2. Graus de restrição para o uso da água e do efluente secundário para irrigação conforme Ayers e Westcot (1999).....	63
Tabela 4.3. Aporte de nutrientes aplicados ao solo via água e efluente durante o período de monitoramento.....	72
Tabela 4.4 – Valores dos parâmetros do modelo de van Genuchten nos respectivos sítios tensiométricos e faixas de profundidade do solo usado nos lisímetros.....	75
Tabela 4.5. Alterações físico-químicas do solo em resposta ao tipo de manejo adotado, na época Tp_1 - 1 ^o plantio (4/10 a 18/12/05).....	76
Tabela 4.6. Alterações físico-químicas do solo em resposta ao tipo de manejo adotado, no tempo Tp_2 - 2 ^o plantio (24/01 a 10/04/06).....	77

Tabela 4.7 – Comparação entre médias de valores de pH dos tratamentos manejo com efluente (ME) e manejo com água (MA), pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	79
Tabela 4.8 (a) – Comparação entre médias de pH nas épocas, por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	78
Tabela 4.8 (b) – Comparação entre médias de pH nas profundidades, avaliadas por época, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	79
Tabela 4.9 – Comparação entre médias dos teores de MO nos tratamentos avaliadas por época pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	80
Tabela 4.10 – Comparação entre médias do teor de MO da época, por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	80
Tabela 4.11 – Comparação entre médias do teor de P disponível no solo para os tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	81
Tabela 4.12 – Comparação entre médias do teor de P nas profundidades avaliadas por tratamento, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	82
Tabela 4.13 – Comparação entre médias do teor de K^+ trocável dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	83
Tabela 4.14 – Comparação entre médias do teor de K^+ trocável nas profundidades avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	83
Tabela 4.15- Comparação entre médias do teor de Na^+ trocável dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	85
Tabela 4.16 - Comparação entre médias do teor de Na^+ trocável nas profundidades avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	85
Tabela 4.17 – Comparação entre médias do teor de Ca^{2+} dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	87
Tabela 4.18 - Comparação entre médias do teor de Ca^{2+} nas profundidades, avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	87
Tabela 4.19 - Comparação entre médias do teor de Mg^{2+} dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	89
Tabela 4.20 - Comparação entre médias do teor de Mg^{2+} nas profundidades avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	89
Tabela 4.21 – Comparação entre médias da concentração de PST dos tratamentos por profundidade pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	91
Tabela 4.22 - Comparação entre médias da concentração de PST nas profundidades avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	92
Tabela 4.23 – Comparação entre médias da razão de adsorção de sódio (RAS) dos tratamentos por profundidade pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade	93
Tabela 4.24 - Comparação entre médias da concentração de RAS nas profundidades avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	93
Tabela 4.25 - Comparação entre médias da concentração de micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn das épocas por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	95

Tabela 4.26 - Comparação entre médias da concentração de micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn nas profundidades, avaliadas por época pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	95
4.27 - Alterações físico-hídrica do solo em resposta ao tipo de manejo adotado nos tratamentos.....	98
Tabela 4.28 – Análise de variância das variáveis, tratamento, profundidade e tratamento <i>versus</i> profundidade.....	100
Tabela 4.29 – Valores médios de umidade volumétrica e resistência do solo à penetração.....	101
Tabela 4.30 – Comparação de médias de umidade e resistência do solo a penetração dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	103
Tabela 4.31 - Comparação de médias de umidade e resistência do solo a penetração por profundidade para cada tratamento, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	103
Tabela 4.32 - Valores médios das componentes (*) de produção de feijão caupi irrigado com efluente secundário (ME) e água de abastecimento com diferentes tratamentos.....	107

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Símbolo químico do alumínio
APHA	American Public Health Association
ASAE	American Society Agricultural Engineering
B	Símbolo químico do Boro
Ca	Símbolo químico do cálcio
CC	Capacidade de campo
CO	Carbono orgânico
CEa	Condutividade elétrica da água de irrigação
CEe	Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo
Cl⁻	Íon cloreto
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CTC_{total}	Capacidade de troca catiônica
CTC_{efetiva}	Capacidade de troca catiônica efetiva
CV	Coefficiente de variação
DAE	Dias após a emergência
DTPA	Ácido dietilenotriaminopentacético
EDTA	Ácido etilenodiaminotetracético
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
IPA	Empresa pernambucana de pesquisa agropecuária
Fe	Símbolo químico do ferro
K	Símbolo químico do potássio
Mg	Símbolo químico do magnésio
Mn	Símbolo químico do manganês

MO	Matéria orgânica
MPa	MegaPascal
N	Símbolo químico do nitrogênio
Na	Símbolo químico do sódio
NFB	Núcleo de fixação biológica
NH₃	Nitrogênio amoniacal
OMS	Organização Mundial de Saúde
P	Símbolo químico do fósforo
PE	Sigla do estado de Pernambuco
pH	Potencial hidrogeniônico
PMP	Ponto de murcha permanente
PRNT	Porcentagem
PST	Porcentagem de sódio trocável
RAS	Razão de absorção de sódio
RSP	Resistência do solo à penetração
SWRC	Curva de retenção de água no solo
SECTMA	Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
TFSA	Terra fina seca ao ar
UASB	Reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
V₀	Condição inicial do experimento
v	Saturação por bases
Zn	Símbolo químico do zinco

RESUMO

Este trabalho objetivou investigar, por meio de experimento em condições de campo, as alterações química e físico-hídrica de um Argissolo Amarelo Eutrófico típico e os componentes de produção da cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp*), em resposta ao manejo de fertirrigação com efluente (ME) secundário de origem doméstica, comparando os resultados com aqueles obtidos com água de abastecimento (MA), em lisímetros de drenagem. As características químicas e físico-hídricas do solo monitoradas foram: pH, MO, P, K, Na, Ca⁺², Mg⁺², Fe, Cu, Zn, Mn, PST, RAS, densidade do solo, densidade das partículas, umidade volumétrica e resistência do solo a penetração. Na cultura do feijão ao final do ciclo foram avaliadas as seguintes componentes de produção: vagens por planta, grãos por vagem, peso de 1000 sementes, matéria seca total e produtividade. Ao final do experimento, verificou-se que a qualidade do tipo da água (efluente e água de abastecimento) usada na irrigação, considerando o possível problema de salinização do solo, os resultados mostraram que a água não apresentou “nenhuma restrição” de uso durante os meses referentes ao primeiro e segundo plantio. No entanto, o efluente apresentou restrições de “ligeira a moderado” durante os mesmos períodos. No que se refere aos riscos de redução de infiltração de água no solo, tanto a água como o efluente apresentou grau de restrição “severo” no início do primeiro plantio (Outubro); no restante do plantio, as restrições foram de “ligeiro a moderado” e “severo”, respectivamente. No segundo plantio a água teve restrição de “ligeira a moderado”, enquanto o efluente teve “nenhuma restrição”. Os valores baixos de RAS, devido às concentrações de Ca⁺² e Mg⁺², indicam que, tanto a água como o efluente pode ser manejado sem comprometer o solo. Quanto à toxicidade específica, grau de restrição de “ligeira a moderado” e “nenhuma” foram atribuídos, na maior parte dos plantios, para água e efluente. Com referência ao Na⁺², verificou-se que a concentração deste elemento foi em média, superior na primeira fase do plantio. O valor médio de pH na água e no efluente foi considerado normal para uso na irrigação. As concentrações médias de oligoelementos estão em conformidade com as diretrizes para uso na irrigação, por longos períodos. A aplicação de efluente secundário foi eficaz no suprimento das necessidades hídricas do feijão e, devido à sua composição química, possibilitou melhoria na fertilidade do solo e na oferta de macronutrientes. A lâmina acumulada nos dois períodos supriu a demanda de N. Em relação aos micronutrientes (Fe, Cu, Zn, e Mn), as lâminas não supririam as necessidades no solo, devido às baixas disponibilidades do Fe, Cu e Mn disponíveis. O manejo com efluente ME foi mais efetivo no aumento do pH do solo que o MC na maioria das profundidades monitoradas. Observou-se que ME foi mais efetivo no aumento do teor de Matéria Orgânica (MO) que os tratamentos que receberam MA. No que se refere ao teor de Fósforo (P) trocável, de maneira geral pôde-se verificar que o ME foi mais efetivo no aumento do teor de P disponível no solo do que os tratamentos com MA. Houve aumento do teor de Potássio (K⁺) trocável no solo em resposta a adoção dos dois manejos, sendo o efeito mais

pronunciado no MA. A adoção do ME diminuiu o teor de Sódio (Na^+) trocável do solo nas faixas de profundidade de 0,0 – 0,40 m, fato decorrente da adição de Ca^{2+} e Mg^{2+} , por meio da aplicação de calcário e de superfosfato simples (que contém de 18 a 20% de Ca^{2+}). As chuvas ocorridas durante o ciclo vegetativo e ao final do plantio, também contribuíram para a diminuição do Na^+ nas faixas de profundidade. O aumento do teor de Cálcio (Ca^{2+}) trocável no solo foi mais efetivo com a adoção de ME que o MC; na maioria dos tratamentos com ME. O incremento de magnésio (Mg^{2+}) trocável no solo ocorreu de forma mais expressiva no ME, evidenciando que a aplicação de efluente, pode ser uma alternativa de aporte de Mg^{2+} ao solo. Os resultados referentes à Percentagem de Sódio Trocável (PST) mostram que, de maneira geral, os tratamentos que tiveram manejo com água (MA) apresentaram valores de PST superiores aos tratamentos manejados com efluente (ME). A adoção do MA foi mais efetiva no aumento da RAS do solo que no ME. O aumento da RAS do solo, verificado em ambos os manejos, foi atribuído ao aumento da concentração de Na^+ em relação à de Ca^{2+} e Mg^{2+} . No que se refere aos micronutrientes no solo, notou-se que as concentrações de Fe Cu, ora aumentou e ora diminuiu. A concentração de Zn aumentou e a de Mn diminuiu. A densidade do solo e das partículas não sofreu interferência dos manejos ME e MA, no entanto a profundidade influenciou de forma discreta a porosidade total do solo. A resistência do solo à penetração foi mais efetiva no ME que no MA, proporcionando menores valores de resistência. Nos componentes de produção o tratamento T2 (E+NPK) apresentou maior produtividade. O tratamento T1 (E) apresentou uma produtividade 15% inferior a do tratamento T6 (A+NPK), indicando que o uso do efluente pode ser uma opção econômica onde a indisponibilidade de alguns nutrientes do solo pode ser corrigida com a oferta de nutrientes disponíveis no efluente.

Palavras-chave: reúso, irrigação, efluente doméstico, lisímetro de drenagem, feijão caupi.

ABSTRACT

This work aimed to investigate, through an experiment under field conditions, the chemical and physico-hydrical alterations of a typical Argissolo Amarelo Eutrófico, and the production components of the cowpea bean (*Vigna unguiculata (L.) Walp*), in response to the fertigation management with secondary effluent (ME) originated from domestic source, comparing the results with those obtained with potable water (MA), in drainage lysimeters. The monitored physical and chemical characteristics of the soil were: pH, Organic Matter, P, K, Na, Ca⁺², Mg⁺², Fe, Cu, Zn, Mn, ESP, SAR, soil density, particle density, volumetric water content and soil penetration resistance. In the bean crop at the end of the cycle the following production components were evaluated: pods per plant, grains per pod, weight of 1000 seeds, total dry matter and yield. At the end of the experiment, it was verified that the type of water quality (effluent and potable water) used in the irrigation, considering the possible soil salinization problem, the results showed that the potable water did not present “any restriction” of use during the months corresponding to the first and second planting. However, the effluent showed restrictions from “slight to moderate” during the same periods. In regards to the risks of reduction in the infiltration rate into the soil, both the potable water and the effluent showed a “severe restriction” degree at the beginning of the first planting (October); in the remainder of the crop cycle, went from “light to moderate” and “severe” respectively. In the second planting the potable water showed restrictions were “light to moderate”, while the effluent showed “no restrictions”. The low SAR values due to the Ca⁺² and Mg⁺² concentrations, indicate that, both the potable water and the effluent can be managed without compromising the soil. As to the specific toxicity, the restriction degrees of “light to moderate” and “none” were attributed, in most of the plantings, both for the water and the effluent. In reference to the Na⁺, it was verified that this element’s concentration was, on the average, superior in the first phase of planting. The average pH in the water and in the effluent was considered normal for irrigated use. The average oligoelements concentrations are in conformity with the directives for irrigation use for long term periods. The application of secondary effluent was effective in the supply of water demand of bean and, due to its chemical composition, made it possible to increase soil fertility and macronutrients offer. The accumulated depth in the two periods supplied the N demand. In relation to the micronutrients (Fe, Cu, Zn, and Mn), the depths applied did not supply the soil requirements, due to the low availabilities of Fe, Cu, and Mn. The management with effluent ME was more effective in raising the soil pH than the MA in most of the depths monitored. It was observed that the ME was more effective in the increase of the Organic Matter content (OM) than the treatments that received MA. In reference to the exchangeable P content, generally it was possible to verify that the ME was more effective in increasing the available soil P content than the treatments with MA. There was an increase in the available Potassium (K⁺) in the soil in response to the adoption of the two managements with the effect been more pronounced in the MA. The adoption of the

ME decreased the exchangeable Na^+ in the soil at the depths of 0,0- 0,40 m, a fact derived from the addition of Ca^{2+} and Mg^{2+} , through the application of calcarium and simple super phosphate (which contains from 18 to 20% of Ca^{+2}). The rains occurring during the vegetative cycle and at the end of the cropping, also contributed to the decrease in Na^+ at the specified depths. The increase in the exchangeable calcium (Ca^{2+}) content in the soil was more effective with the adoption of the ME than the MC, in most of the experiments with ME. The increase in exchangeable magnesium (Mg^{2+}) in the soil occurred in a more expressive form in the ME, showing that the application of effluent can be an alternative to add Mg^{2+} to the soil. The results referring to the Exchangeable Sodium Percentage (ESP) showed that, generally, the treatments managed with water (MA) showed higher ESP values than those treated with the effluent. The adoption of the MA was more efficient in the increase of the SAR than that managed with ME. The increase in the soil RAS, verified in both managements, was attributed to the increase in concentration of Na^+ in relation to the increase in Ca^{2+} and Mg^{2+} . In respect to the soil micronutrients, it was seen that the Fe and Cu concentrations, sometimes increased and other times decreased. The Zn concentration increased while that of Mn decreased. The soil bulk and particle densities were not influenced by the ME and MA management, however, the depth discreetly influenced the total soil porosity. The soil penetration resistance was more effective in the ME than the MA, resulting in lower values of resistance. In the production components the T2 (E+ NPK) treatment showed higher yield. The T1 treatment (E) presented an yield 15% lower than the T6 (A+NPK) treatment, indicating that the use of effluent can be an economic option where the unavailability of some soil nutrients can be corrected with the offer of the nutrients available in the effluent.

Keywords: reuse, irrigation, secondary effluent, drainage lysimeters, cowpea bean

Capítulo 1

INTRODUÇÃO GERAL

A água constitui um fator importante das atividades econômicas, em todas as sociedades. Embora se admita que o volume total de água existente no planeta tenha se mantido constante desde o aparecimento da espécie humana, constata-se que os recursos hídricos disponíveis têm diminuído aceleradamente, em termos de quantidade e qualidade, fruto da explosão demográfica aliada ao crescimento econômico e industrial das sociedades modernas.

A crescente procura pelos recursos hídricos está gerando uma trajetória de redução da disponibilidade de água que se apresenta tanto na crise atual, da saúde, como se estima que ocorrerá na crise de médio prazo, de alimento, e se agravará na crise do amanhã, da vida (CHRISTOFIDIS, 2002). O desafio, para a sociedade do futuro, será justamente o gerenciamento dos conflitos e a capacidade de acomodar e proporcionar maior eficiência aos usos múltiplos da água. A competição para os diversos usos da água será sempre maior e estará cada vez mais presente no século XXI (TUNDISI, 2003).

A crescente demanda de água, associada ao crescimento contínuo da população e à poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, pressiona a sociedade a gerenciar os recursos disponíveis de forma mais eficiente e a buscar novas fontes de suprimento. Neste cenário, o desenvolvimento de alternativas não-convencionais de suprimento, como o reúso, torna-se essencial, principalmente nas regiões onde tal recurso torna-se cada vez mais escasso (ANDREOLI; PERGORINI; TAMANINI, 2005). De acordo com Abdellah e Ashbolt (2000), nas próximas décadas o reúso de água em várias regiões urbanas do mundo irá satisfazer as pressões ambientais, econômicas e sociais.

Desse modo, o reúso planejado constitui um elemento importante no planejamento e uso dos recursos hídricos, não apenas em países de reconhecida escassez hídrica, como também naqueles de disponibilidade natural abundante.

A crescente preocupação com a preservação dos recursos hídricos e a conservação do meio ambiente tem levado à criação de legislações mais rigorosas e eficientes, no intuito de proteger a quantidade e qualidade desses recursos. Procurando adequar-se a esta nova política, a sociedade vem buscando tecnologias de baixo custo que minimizem os efeitos negativos de suas atividades impactantes, fazendo uso daquelas que sejam ambientalmente sustentáveis.

O reúso planejado de esgoto doméstico tratado para fertirrigação pode ser visualizado como uma alternativa à prática mais comum atualmente, no país, que é o lançamento de efluentes em corpos hídricos. Do ponto de vista agrônomo, o reúso agrícola, além de suprir a demanda hídrica das culturas, possibilita a reciclagem dos nutrientes e matéria orgânica dos efluentes, numa atividade como a agricultura, que representa o setor com maior demanda de água, mas que, ao mesmo tempo, permite o uso de águas de qualidade inferior, quando comparado à indústria e uso doméstico (TRENTI, 2005).

Baier e Fryer (1973) ressaltam que a economia de fertilizantes e produtividade das culturas requer um manejo adequado, pois, do contrário, a fertirrigação com esgoto doméstico tratado pode ofertar nutrientes em excesso, superando as taxas de aplicação de nutrientes da maioria das culturas e as doses recomendadas de fertilização, especialmente em relação ao nitrogênio e fósforo.

Léon e Cavallini (1999) afirmam que o uso de efluentes pode aumentar a produtividade agrícola, devido ao alto conteúdo de nutrientes existente no esgoto doméstico aumentando, assim, a produtividade. Os autores ainda alertam que, apesar das vantagens ambientais e econômicas, sua utilização indiscriminada pode provocar a contaminação microbiológica dos produtos agrícolas, bioacumulação de elementos tóxicos, salinização, impermeabilização e o desequilíbrio de nutrientes no solo.

MARECOS DO MONTE (1995) obteve produtividade mais elevada de milho, girassol e sorgo, irrigados com efluentes de lagoas de estabilização, comparativamente à irrigação convencional. Entretanto, a maturação do girassol irrigado com efluente mostrou-se mais lenta.

Diante da complexidade da interação efluente-solo-planta-ambiente, há ainda necessidade de um melhor entendimento dos efeitos da aplicação do esgoto doméstico

tratado nas culturas, comparando-o com a irrigação convencional, de modo que se possa estabelecer critérios de manejos que visem à utilização controlada, a produtividade das culturas e a sustentabilidade ambiental da disposição de esgotos domésticos tratados no solo.

Neste sentido, no presente estudo objetivou-se avaliar, em lisímetros de drenagem, os efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de polimento nos atributos do solo e na produção do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar a qualidade do tipo de água (efluente e água de abastecimento) usada na irrigação seus efeitos nos atributos físicos e químicos de um Argissolo e componentes de produção de feijão caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp*) fertirrigado com efluente de lagoa de polimento em lisímetros de drenagem.

1.1.2. Objetivos específicos

- Avaliar as alterações dos atributos físicos e químicos do solo submetido a manejos com água de abastecimento e efluente de lagoa de polimento;
- Avaliar os efeitos da fertirrigação nas componentes de produção do feijão caupi submetido a manejos com diferentes tipos de água.

Capítulo 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A água e sua importância na natureza

A água é um recurso natural essencial à vida, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies, como elemento representativo de valores sociais e culturais, além de importante fator de produção no desenvolvimento de diversas atividades econômicas (FOLEGATTI et al., 2005).

Essencial à vida, a água é uma substância necessária às diversas atividades humanas, além de constituir componente fundamental da paisagem e do meio ambiente (MEDEIROS et al., 2003). Segundo Mancuso e Santos (2003), o crescimento populacional demandou uma maior captação de água para o contínuo desenvolvimento das atividades humanas, provocando uma queda na qualidade deste recurso em suas fontes naturais. A oferta de água no mundo tem relação estreita com a segurança alimentar, a qualidade de vida das pessoas, o crescimento industrial e agrícola e a sustentabilidade ambiental.

Os diversos usos da água natural modificam temporal ou espacialmente a disponibilidade da água, tanto em qualidade quanto em quantidade, gerando impactos ambientais. Entre os usos múltiplos da água pode-se destacar: a agricultura, pelo papel relevante que a água assume como fator de produção na atividade agrícola; a produção de energia, no que se refere aos aproveitamentos hidroelétricos; a pesca, pelas implicações do regime de utilização da água na atividade pesqueira; o turismo, pela importância das utilizações recreativas da água; e os transportes, pelos condicionamentos resultantes para a navegação interior (SETTI et al., 2002). Hoje, somente para o rio São Francisco, a demanda total para outorga de uso da água é da ordem de 770 m³/s, com cerca de 99% deste valor previsto para projetos de irrigação.

Embora a água seja um recurso natural renovável através do ciclo hidrológico, a consciência de sua escassez como fonte de manutenção da vida, seja nas atividades produtivas, agropastoris e até mesmo para o abastecimento público das populações, tem

levado os países a tratarem seus recursos hídricos como se não fossem renováveis (FINK; SANTOS, 2003).

No entanto, os recursos de água natural são finitos, ou seja, na medida em que aumenta a demanda pela água, a oferta diminui, gerando-se, portanto, um déficit na quantidade hídrica disponível. Trinidad, Gonzáles e Lujan (2001) comentam que os recursos de água natural estão irregularmente distribuídos e a qualidade da água está se deteriorando em muitas regiões do mundo. Medeiros et al., (2003) acrescentam que a quantidade de água de boa qualidade existente na natureza é finita e sua disponibilidade vem diminuindo gradativamente, em razão do crescimento populacional, da expansão das fronteiras agrícolas e da degradação do meio ambiente.

A água é o recurso natural atualmente mais intensamente utilizado pelo homem (ANDREOLI; PERGORINI; TAMANINI, 2005). Costa e Matos (1997) ressaltam que o uso inadequado da água é uma forma primária de impacto ambiental, uma vez que se trata de um recurso natural que demanda grande quantidade de energia e infra-estrutura apropriada para sua captação, tratamento e distribuição. Além disso, no caso de uso doméstico, proporciona o aumento do volume de esgotos gerados, que são afluentes de elevado potencial poluidor para o ambiente.

Na agricultura, a irrigação é fundamental para eliminar o risco de deficiência hídrica nos cultivos, aumentar a produtividade, garantir a produção de alimentos e intensificar o uso da terra. Por outro lado, a elevada demanda de água em projetos de irrigação no Brasil exige que os recursos hídricos sejam racionalizados, por meio de alternativas que proporcionem maior eficiência (ROSSINI, 2002).

Embora a agricultura irrigada demande grande quantidade de água, a atividade pode tolerar águas de qualidade inferior, quando comparada às necessidades em indústrias e no uso doméstico (TRENTIN, 2005). A substituição de água de melhor qualidade por águas de qualidade inferior possibilita uma economia de água natural, aumentando assim a disponibilidade de recursos hídricos para finalidades que requerem padrões de qualidade mais exigentes.

2.2. Potencial de reúso de água na agricultura

Segundo Arnt (1995), Brandimarte (1999) e Vignoli Filho (2000), a reutilização consiste no reaproveitamento de água que já passou pela rede de esgoto e por uma estação de tratamento. Vários países já estão utilizando este reaproveitamento; por exemplo, em Israel, 70% do esgoto é reciclado para irrigação, na Europa existem cidades que reusam a água 14 vezes.

Para Brega Filho e Mancuso (2003), o reúso consiste no aproveitamento de água previamente utilizada, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana. Ainda segundo os autores, o reúso indireto não planejado de águas ocorre quando a água já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante. O reúso planejado de água ocorre quando existe um sistema de tratamento de efluentes que atende aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água.

Tundisi (2003) comenta que existe um mercado potencial muito grande para a água reutilizada. O reúso é uma possibilidade muito importante de economia da água e de eliminação do desperdício..

A vantagem do reúso agrícola está na minimização da poluição hídrica nos mananciais, propiciando o uso sustentável dos recursos hídricos através da utilização racional de águas de boa qualidade. Segundo Beekman (1996), uma das reaplicações de água com retorno expressivo consiste na utilização das águas servidas do meio urbano para um segundo uso na agricultura. Os benefícios do reúso podem ser estimados com o aumento da produtividade da agricultura, redução de danos ambientais e controle de erosão

A disposição de efluente no solo é atualmente vista como uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica, tanto em regiões secas (Paganini, 2003) quanto úmidas (ANDREOLI; PERGORINI; TAMANINI, 2005), principalmente nos locais em que as culturas necessitam ser irrigadas e os recursos hídricos são escassos, com os efluentes funcionando como fonte suplementar de água para sustentabilidade agrícola. Os maiores benefícios desta tecnologia estão correlacionados a aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública (PAGANINI, 2003). Andrade Neto (1992) registra diversos exemplos de utilização indireta de esgotos domésticos, tratados ou não, no Nordeste do País. Outros estudos sobre a qualidade de

águas de irrigação reforçam os indícios da prática disseminada de irrigação indireta com esgoto (MIRANDA, 1995; PATERNIANI et al.1992).

2.3. Processos de tratamento de águas residuárias para reúso na irrigação

Os critérios de tratamento para reúso agrícola são distintos daqueles estabelecidos para a descarga em efluentes líquidos em corpos de água. Neste último caso, os objetivos do tratamento de esgotos são a remoção de sólidos suspensos, dos compostos orgânicos e dos organismos patogênicos. Para o reúso agrícola é importante que os efluentes tratados tenham concentrações significativas de matéria orgânica e o máximo possível dos nutrientes e micronutrientes contidos no esgoto bruto (TSUTIYA, 1978).

A seleção da tecnologia apropriada para o tratamento de esgotos municipais não depende unicamente de sua qualidade, mas também da análise dos efeitos que podem ser gerados em função de necessidades agrícolas e ambientais (FRIEDLER; JUANICO, 1996).

Nogueira (1999), estudando um sistema de lagoas de estabilização, composto de uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e uma de maturação, em escala real, avaliou a eficiência do sistema e o potencial de reúso, na agricultura, do efluente final. Segundo a pesquisadora, as restrições de uso do efluente final em irrigação, relativamente ao solo, decorreram, basicamente, das altas concentrações de sais, especialmente dos íons sódio e cloreto.

Sandri et al. (2000) afirmam que vários métodos de tratamento de água residuária podem ser utilizados, sendo um destes a associação de tanque séptico modificado com leito cultivado com macrófitas. Estudos mostram que, embora a remoção de matéria orgânica tenha se mostrado eficiente com este método, a presença de microrganismos é elevada, necessitando, assim, de uma melhor avaliação dos efeitos no sistema solo-água-planta, antes de sua adoção sob variadas condições climáticas, qualidade de efluente e método de irrigação.

Cavalcanti et al. (2001), avaliando a aplicabilidade de lagoas de polimento como unidade de pós-tratamento do efluente de unidade anaeróbia eficiente, como o reator Uasb, verificaram que o desempenho da lagoa é dependente da profundidade. De modo que, quando o efluente do sistema for usado para irrigação, opera-se a lagoa com uma profundidade de mais de 1,0 m, mantendo-se os nutrientes. Contudo, na época de chuvas as

lagoas deverão ser operadas a pequena profundidade (0,4 a 0,6 m), para remover os nutrientes e, assim, evitar a eutrofização de corpos d'água.

Kouraa et al. (2002) estudaram, após três anos de funcionamento, a performance de uma combinação de lagoas de estabilização para reúso de esgoto tratado para irrigação, sendo: 5 lagoas anaeróbias, 4 aeróbias, 4 facultativas e 4 reservatórios. A combinação das lagoas mostrou boas condições de funcionamento e excelente performance na retenção de carga orgânica (90%), redução de coliforme fecal (6 unidades logarítmicas) e ovos de helminto (100%), além de produzir um efluente com qualidade para irrigação sem restrição.

De acordo com Paganini (2003), as lagoas de estabilização constituem os sistemas de tratamento de esgotos sanitários mais eficientes, em termos de remoção de microrganismos patogênicos e de nutrientes eutrofizantes. Dependendo da disponibilidade de área, a disposição, no solo, dos efluentes dessas unidades, é uma opção adequada à realidade de grande parte do território brasileiro.

Normalmente, para água de irrigação, os padrões de qualidade são menos restritivos, quando comparados aos de outros usos que exigem maior potabilidade. Desse modo tratamentos menos dispendiosos e mais simples são necessários (VAZQUEZ-MONTIEL; HORAN; MARA, 1996).

2.4. Qualidade da água residuária para utilização na irrigação

O conceito de qualidade de água refere-se às suas características, as quais podem ser ou não aceitas pelo consumidor, dependendo de suas necessidades. A qualidade de uma água é definida por uma ou mais características físicas, químicas e biológicas (FOLEGATTI; DUARTE; GONÇALVES, 2005).

As características físicas e químicas das águas residuárias provenientes dos esgotos domésticos refletem os usos aos quais foi submetida, que variam com o clima, situação econômica e hábitos da população (VON SPERLING, 1996). Ainda segundo o autor, os critérios adotados na caracterização da água residuária de origem doméstica devem estar baseados em aspectos físicos, químicos e biológicos.

A qualidade da água é de extrema importância para a irrigação, pois a agricultura irrigada depende tanto deste fator, quanto da quantidade de água utilizada. Segundo Ayers e

Westcot (1999), no passado por serem as fontes de água abundantes e de boa qualidade, o fator qualidade não era considerado como prioridade.

O uso intensivo das águas de boa qualidade implicou na diminuição ou falta deste recurso natural, fazendo com que muitos usuários passassem a utilizar águas de qualidade inferior. Para avaliar a qualidade das águas de irrigação e seus efeitos na produção das culturas, foram fundamentadas em diretrizes elaboradas pela Universidade da Califórnia em 1974 e em pesquisas mais recentes (FOLEGATTI; DUARTE; GONÇALVES, 2005).

De acordo com Borella (1986), a classificação da água deve ser feita para cada condição de clima, solo e cultura, conforme o método e manejo da irrigação.

Considerando os efeitos potenciais de uma irrigação de longo prazo sobre o rendimento e a qualidade da produção agrícola, bem como as mudanças no meio ambiente e nas características físico-químicas do solo, Ayers e Westcot (1999) classificaram a água para irrigação em três grupos: sem restrição ao uso, com restrição leve a moderada e com restrição severa (Tabela 2.1). As principais características avaliadas são: salinidade da água de irrigação, tendo em vista que afeta a disponibilidade de água para a cultura; a Razão de Adsorção de Sódio – RAS, que, conjuntamente com a salinidade da água de irrigação, influencia a taxa de infiltração de água no solo, e a toxicidade de íons específicos, como Na^+ , Cl^- e B , os quais podem afetar o rendimento das culturas mais sensíveis, acarretando efeitos diversos e modificando o pH.

Tabela 2.1. Diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação¹

Problema Potencial	Unidades	Grau de restrição para uso		
		Nenhuma	Ligeira a moderada	Severa
Salinidade				
CEa ²	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
SDT ³	mg/L	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltração				
RAS ⁴ = 0 - 3 e CEa		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
=3 - 6		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
=6 - 12		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
=12 - 20		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
=20 - 40		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidade de íons específicos				
Sódio (Na ⁺)				
Irrigação por superfície	RAS	< 3	3 - 9	> 9
Irrigação por aspersão	meq/L	< 3	> 3	
Cloreto (Cl ⁻)				
Irrigação por superfície	meq/L	< 4	4,0 - 10	> 10
Irrigação por aspersão	meq/L	< 3	> 3	
Boro (B)	meq/L	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3
Efeitos diversos				
Nitrogênio (NO ₃ ⁻ - N) ⁵	mg/L	< 5,0	5,0 - 3,0	> 3,0
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	meq/L	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH			Faixa normal: 6,5-8,4	

¹ Baseada numa percentagem de lixiviação entre 15 e 20%;

² CEa – Condutividade Elétrica da água em deciSiemens por metro a 25° C;

³ SDT – Sólidos dissolvidos totais;

⁴ RAS – Razão de Adsorção de Sódio;

⁵ NO₃⁻ - N – Nitrogênio em forma de Nitrato, expresso em termos de Nitrogênio elementar

Fonte: Ayers e Westcot (1999).

Segundo Ayers e Westcot (1999), nas diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação incluem-se as concentrações máximas de oligoelementos para águas normais de irrigação recomendadas, para se evitar acumulações adversas nos produtos agrícolas e no solo que podem ocasionar danos irreversíveis (Tabela 2.2).

Para disciplinar e uniformizar a avaliação da qualidade da água residuária destinada à agricultura, alguns países elaboraram normas para o uso de efluentes, no que concerne às suas características bacteriológicas e ao tratamento necessário (Tabela 2.3) (AYERS e WESTCOT, 1999).

Tabela 2.2. Concentrações máximas de oligoelementos recomendáveis para a irrigação¹

Elemento	Concentração (mg L ⁻¹)	Observações
Al	5,00	Pode tornar improdutivos solos ácidos (pH < 5,5), porém em solos com pH > 7 o Al precipita e elimina a toxicidade.
As	0,10	O nível tóxico varia bastante nas plantas, desde 12 mg L ⁻¹ para o capim-sudão, até menos de 0,05 mg L ⁻¹ para o arroz.
Be	0,10	O nível para as plantas varia amplamente, desde 5 mg L ⁻¹ para couve, até 0,05 mg L ⁻¹ para os feijões.
Cd	0,01	Tóxico para os feijões, beterraba e nabo, em concentrações tão baixas como 0,1 mg L ⁻¹ em soluções nutritivas; recomendam-se limites baixos devido à sua acumulação potencial em solo e plantas; perigoso para seres humanos.
Co	0,05	Tóxico à cultura do tomate, com concentração de 0,1 mg L ⁻¹ em soluções nutritivas. Torna-se inativo em solos neutros a alcalinos
Cr	0,10	Não é reconhecido como elemento essencial ao crescimento das plantas. Limites conservadores são recomendados, por falta de conhecimento sobre sua toxicidade nas plantas.
Cu	0,20	Tóxico a várias plantas com concentrações que variam de 0,1 a 1,0 mg L ⁻¹ em soluções nutritivas.
F	1,00	Inativo em solos alcalinos e neutros.
Fe	5,00	Não tóxico às plantas em solos bem aerados, mas pode contribuir para a acidificação do solo e diminuição da disponibilidade de fósforo e molibdênio. Quando aplicado por irrigação por aspersão, pode acumular-se nas plantas e nos equipamentos.
Li	2,50	Tolerada pela maioria das culturas até 5,0 mg L ⁻¹ . Tóxico para citrus em baixas concentrações (< 0,075 mg L ⁻¹). Age similarmente ao boro.
Mn	0,20	Tóxico a várias culturas em concentrações muito baixas.
Mo	0,01	Não é tóxico a culturas em concentrações normalmente encontradas no solo e na água, mas em solos com altas concentrações de molibdênio disponível pode causar toxicidade.
Ni	0,20	Tóxico a várias plantas em concentrações variando de 0,5 a 1,0 mg L ⁻¹ . Sua toxidez é reduzida em solos com pH neutro ou alcalino.
Pb	5,00	Pode inibir o crescimento de certas plantas, em concentrações muito altas.
Se	0,02	Tóxico às plantas, em concentrações abaixo de 0,025 mg L ⁻¹
Ti		Excluído pelas plantas; tolerância específica desconhecida.
V	0,10	Tóxico a muitas plantas a baixas concentrações.
Zn	2,00	Tóxico a muitas plantas em variadas concentrações. Sua toxicidade é reduzida com pH > 6 e em solos de boa textura e orgânicos.

¹Os valores de concentração máxima estão baseados em uma taxa de aplicação de água, considerando-se uma aplicação de 10.000 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Se a taxa de aplicação de água exceder muito, as concentrações máximas deverão ser ajustadas para baixo.

Fonte: Ayers e Westcot (1999).

Tabela 2.3. Normas regulamentares existentes para se controlar o uso de água residuária na agricultura¹

Agricultura	Califórnia	Israel	África do Sul	Alemanha
Pomares parreiras	Efluente primário ² , Não irrigar por aspersão e não consumir frutos caídos.	Efluente secundário ³ .	Efluente terciário ⁴ , fortemente clorado. Não irrigar por aspersão.	Não irrigar por aspersão nas proximidades.
Culturas de fibras e sementes	Efluente secundário. Proibida a irrigação de culturas hortaliças comestíveis.	Efluente terciário.	Tratamento prévio com telas e tanques de sedimentação. A irrigação por aspersão: tratamento biológico e cloração.	Tratamento prévio com telas e sedimentação. A irrigação por aspersão: tratamento biológico e cloração.
Culturas para consumo humano que serão processadas para matar patógenos	Para irrigação por superfície: usar efluente primário; por aspersão: desinfetar o tratamento secundário (não mais de 23 organismos coliformes por 100 mL).	Irrigação de hortaliças somente com águas residuárias bem desinfectadas (1000 organismos coliformes por 100 mL em 80% das amostras).	Efluente terciário.	Não irrigar durante 4 semanas antes da colheita.
Culturas consumidas cruas	Irrigação por superfície: menos de 2,2 organismos coliformes por 100 mL; por aspersão: desinfetar e filtrar águas com 10 unidades de turbidez, prévio tratamento por coagulação.	Irrigação com águas residuárias somente para as frutas que se descascam.		Não irrigar as batatas e os cereais depois da floração.

¹ Fonte: Ayers e Westcot (1999).

² O tratamento primário refere-se à sedimentação e eliminação de sólidos inorgânicos em suspensão;

³ No tratamento secundário utilizam-se bactérias para quebrar os compostos inorgânicos do lodo, após o que o efluente é filtrado e clorado;

⁴ O tratamento terciário inclui vários processos que dependem do uso do produto final; geralmente, inclui a clarificação, tratamento por carbono ativado, desnitrificação e troca de íons.

2.5. Disposição de efluente de esgoto doméstico no agrossistema

Segundo Rezende (2003), no processo de tratamento por disposição no solo utiliza-se o sistema solo-planta para a degradação, assimilação e imobilização dos constituintes da água residuária e dos produtos de sua transformação no meio. Desse modo, o solo exerce normalmente papel significativo na disposição de águas residuárias, atuando como depósito e meio de tratamento para os diferentes constituintes químicos.

Os resíduos líquidos mais comumente aplicados ao solo incluem a água residuária de origem doméstica, dejetos líquidos de animais, efluentes do processamento de frutas e vegetais e da indústria de celulose. A destinação final destes resíduos deve ser feita em quantidades que não ocasionem danos aos componentes ambientais (REZENDE, 2003).

O uso da água residuária tratada para a irrigação na agricultura, segundo Oron (1996), é uma prática atrativa, pois: (i) problemas com a falta de água podem ser resolvidos; (ii) grandes quantidades podem ser dispostas todo ano com ou sem armazenamento no solo (em algumas circunstâncias o armazenamento pode ser considerado uma fase extra do tratamento) e com riscos ambientais mínimos; (iii) há benefícios econômicos devido a presença de nutrientes no efluente. Na Tabela 2.4 são apresentadas as características dos efluentes domésticos secundários quanto a sua constituição.

Os métodos básicos de aplicação de água residuária no solo são: irrigação (com baixa taxa de aplicação), escoamento superficial e infiltração/percolação (processo com alta taxa de aplicação). A disposição no solo completa a seqüência de tratamento de águas residuárias para redução dos níveis de microorganismos e de vários componentes orgânicos e inorgânicos para níveis aceitáveis.

Nos processos em que a água residuária é aplicada através de escoamento superficial, sobre uma superfície inclinada, com declividade que varia de 2% a 6% a taxa varia de 50 a 140 mm por semana; no método de infiltração/percolação, o efluente é aplicado no solo por aspersão ou por inundação, com taxa de aplicação que varia de 100 – 300 mm por semana (MARQUES et al. 2003).

Tabela 2.4. Características do efluente doméstico secundário

Constituintes ⁽¹⁾	Concentração (mg L ⁻¹)
Sólidos totais	400 – 1200
Sólidos totais suspensos	10 – 100
Sólidos totais dissolvidos	400 – 100
DBO	10 – 80
COD	30 – 160
Nitrogênio total	10 – 50
Nitrogênio – nitrato	0 – 10
Nitrogênio – amônia	1 – 40
Fósforo total	6 – 17
Cloretos	40 – 200
Carbonato de cálcio	200 – 700
Sódio	50 – 250
Potássio	10 – 40
Cálcio	20 – 120
Magnésio	10 – 50
Boro	0 – 1
pH	7,8 – 8,1
RAS	4,5 – 7,9

Fonte: Pound & Crites (1973), Thomas & Law (1977), Idelovitch (1979), Asano et al. (1985) citados por Feigin et al. (1991)

⁽¹⁾ Todas as unidades estão em mg L⁻¹, exceto valores de RAS (mmol L⁻¹)^{1/2} e pH.

Grandes volumes de águas servidas podem ser utilizados em categorias de reúso, como agricultura irrigada e recarga de aquíferos, devendo-se atender para suas limitações sanitárias e ambientais de aplicação (BREGA FILHO; MANCUSO, 2003; BEEKMAN, 1996), mas podendo beneficiar a recarga dos lençóis freáticos.

Comparado a outros tipos de reúso, a utilização agrícola de efluentes apresenta benefícios, como a reciclagem de nutrientes através da irrigação de culturas e o fornecimento de água (VAZQUEZ-MONTIEL; HORAN; MARA, 1996). A sustentabilidade do uso do efluente de esgoto tratado em agrossistemas depende do manejo adequado da irrigação, do monitoramento das características do solo, da solução do solo e da cultura (SANTOS, 2004).

O uso de esgotos domésticos tratados na irrigação de culturas agrícolas e/ou florestas, ao invés de descarregá-los nos cursos d'água, tem sido uma alternativa popular e atrativa (BOND, 1998), devido, dentre outras causas, à escassez de recursos hídricos, do requerimento de água para irrigação e à reciclagem de poluentes, que passam a ser nutrientes para as plantas.

Segundo Medeiros (2005), os efeitos da aplicação de águas residuárias nas propriedades físicas e químicas do solo só aparecem após longo período de utilização. Meli

et al. (2002) constataram aumento dos nutrientes disponíveis, após 15 anos de irrigação com efluente de esgoto, devido à eficiência metabólica da microflora do solo.

Ortega-Larrocea et al. (2001) constataram efeito negativo sobre a população de fungos micorrízicos arbusculares, após 90 anos de irrigação com efluente de esgoto, associando este fato ao acúmulo de fósforo e de metais pesados.

Ao contrário do que se tem observado em solos após vários anos sob irrigação com efluente de esgoto tratado, a irrigação num curto período de tempo (meses) não tem alterado características físicas e químicas do solo. Do mesmo modo que ocorre com as alterações químicas e físicas, a contaminação bacteriológica do solo não tem sido significativa após curto período de irrigação (KOURAA et al. 2002).

2.5.1. Métodos de aplicação de esgoto tratado via irrigação

Scaloppi e Baptistella (1986) consideram que, em termos de saúde pública, a irrigação por aspersão com água residuária é mais perigosa que outros métodos. Pode formar aerossóis contendo microorganismos que são transportados, pelo vento, a distâncias superiores a um quilômetro, causando riscos à saúde das pessoas, devido à inalação de patógenos presentes nos aerossóis.

A irrigação por sulcos não apresenta grandes problemas, desde que seja respeitada uma adequada frequência de aplicação, pois permite menor contato com a parte aérea da planta. Provoca a saturação de apenas uma parcela da superfície do solo, sendo um sistema de baixo custo de manutenção. Ao utilizar água residuária não tratada na irrigação por aspersão, é mais recomendável fazê-lo em culturas de cereais e pastagens, não sendo indicado para frutíferas e hortaliças, porque pode causar sérios danos às plantas e à saúde humana. Porém, quando a água é tratada adequadamente, poderá ser utilizada em todas as culturas (Hespanhol, 1990a).

Na irrigação localizada, a água é aplicada em cada planta, individualmente, com uma taxa de aplicação ajustável, sendo que normalmente a água é fornecida de forma contínua, mantendo sempre úmida a região radicular e favorecendo a absorção de água pelas plantas. Desse modo, o contato direto com as folhas e frutos pode ser evitado e os riscos serão menos elevados (Hespanhol, 1990b).

Zoldoske (1995) ressalta que a utilização de tubulações com emissores enterrados no solo permite aplicar quantidades precisas de água diretamente na zona radicular das plantas, através de fita gotejadora, mangueira perfurada e tubulação porosa.

Solomon, Potenski e Matthews (2002), comparando a irrigação por microaspersão e por superfície com água de baixa qualidade, verificaram que método por superfície reduz a contaminação das culturas agrícolas, podendo ser utilizado quando a qualidade da água é questionável quanto à presença de elementos microbiológicos.

Medeiros (2005), usando sistema de irrigação localizada por gotejamento na cultura do cafeeiro (variedade Catuai) com três anos de idade, concluiu que a água residuária foi mais efetiva na melhoria das características do solo do que a água convencional.

Quanto às características hidráulicas de vazão e à forma de distribuição da água de cada emissor, a irrigação localizada subdivide-se em dois tipos, gotejamento e microaspersão, enquanto as cápsulas porosas e os tubos perfurados (xiquexique) são considerados métodos não convencionais e derivados (OLLITA, 1986)

Segundo Millo e Cunha (1982), os sistemas tradicionais de irrigação localizada não são adequados à realidade sócioeconômica do pequeno produtor rural, vez que exigem sofisticados componentes de filtragem, via de regra totalmente automatizados.

Vieira de Azevedo (1984) afirma que o sistema xiquexique é um exemplo típico de tecnologia simplificada na irrigação localizada, vez que não dispõe de dispositivos sofisticados de distribuição de água, como gotejadores e microaspersores, evitando assim as perdas de carga localizadas. Abelairas e Lapazaran (1983) relacionam ainda como vantagem da irrigação localizada a possibilidade de fertirrigação localizada.

Millo e Cunha (1982) afirmam que o sistema de irrigação xiquexique, por operar com emissores com diâmetros que variam entre 1,4 e 2,00mm, vazões oscilando entre 30 e 120 L h⁻¹, dispensam sofisticados sistemas de filtragem, além de poder ser usado com sucesso em plantios consorciados (cultura principal, perene, culturas secundárias e temporárias)

2.5.2. Manejo sustentável da irrigação com esgoto doméstico tratado

Quando se trata de estabelecer locais para disposição de efluentes no solo, mediante irrigação de plantas, as áreas irrigadas devem distanciar-se das vias de domínio público, residências, aquíferos potáveis e linhas de condução d'água potável (BAUWER; IDELOVITCH, 1987).

Nos locais em que for planejada e utilizada a irrigação com efluentes, estudos cautelosos devem ser realizados, para averiguar o potencial de efeitos na água subterrânea, especialmente se for destinada ao consumo humano (BAUWER, 2000).

Segundo Quin (1978) no local onde for usada irrigação com efluente, para que se tenha um manejo sustentável, deve haver déficit hídrico pelo menos num determinado período do ano. O solo deve ter drenagem livre para evitar alagamento, ser suficientemente profundo, livre de fendas, e a topografia favorável à irrigação.

O monitoramento adequado das propriedades físicas do solo, da dinâmica da água, da quantidade de nutrientes, sais, metais pesados, teores de $N-NO_3^-$ e outros contaminantes móveis presentes no efluente é a chave do sucesso do manejo sustentável da irrigação com efluente (CAMERON; DI; McLAREN, 1997; BOND, 1998).

Segundo Segarra, Darwish e Ethridge (1996), as culturas com potencial para receber efluente de esgoto devem satisfazer os seguintes critérios: (i) alta absorção de nitrogênio; (ii) alto consumo d'água; (iii) potencial de uso no processamento, quando necessário; (iv) potencial de mercado e (v) retorno relativamente alto.

Deve haver colheita periódica das plantas para remover N e os demais nutrientes (QUIN, 1978; HOOK, 1981) e manter a capacidade de renovação do sistema solo-planta-efluente (JORDAN; NADELHOFFER; FRY, 1997).

2.6. Efeitos do efluente de esgoto sobre os atributos de qualidade do solo

2.6.1. Atributos químicos do solo

Tem sido observado em sistemas agrícolas (JOHNS; McCONCHIE, 1994; AL-NAKSHABANDI et al. 1997), pastagens (QUIN; WOODS, 1978) e florestas (CROMER et al. 1984; STEWART; HOPMANS; FLINN, 1990; SCHIPPER et al., 1996; SMITH; HOPMANS; COOK, 1996; FALKINER; SMITH, 1997; SPEIR et al. 1999), incremento no valor de pH do solo, mediante a irrigação com água residuária. Rezende (2003),

investigando a aplicação de efluente tratado resultante da produção de polpa celulósica branqueada, verificou acréscimo no pH do solo, sendo que este aumento foi mais significativo nas camadas superiores.

Falkiner e Smith (1997) observaram aumento do pH do solo em cerca de 0,7 unidades para tratamento com efluente e 0,3 unidades para tratamento com água em sistema de cultivo florestal, após 4 anos de irrigação. Aumento do pH em solos de campo (4 anos de irrigação) e floresta (17 anos de irrigação), sob irrigação com efluente, também foram observados por Smith, Hopmans e Cook (1996). No entanto, John e MacConchie (1994a) constataram, na camada de 0 a 20 cm de um solo irrigado cultivado com bananeiras, decréscimo de pH, de 0,55 unidades, nos tratamentos com água, e de apenas 0,31 unidades nos tratamentos com efluente.

Segundo Matos (2003), a matéria orgânica contida na água residuária de origem doméstica apresenta concentrações relativamente baixas mas, devido às aplicações freqüentes, associadas a altas taxas, pode incorporar quantidades apreciáveis de matéria orgânica no solo (MO).

Miranda (1995) constatou um acréscimo de 19,0% na MO quando foi adicionada, ao solo efluente doméstico tratado em lagoa de estabilização; quando foi adicionada água límpida de um açude, a elevação foi de 14,3%. Jucken (2000), por sua vez, encontrou elevação de 11,0% nos teores de MO com a fertirrigação de efluentes das agroindústrias de laticínios e frigorífico. Andrade Neto (1992) e Paganini (1997) relatam que a adição de resíduos ricos em matéria orgânica, como são os efluentes domésticos, provocam elevação no percentual de MO.

Quin e Woods (1978) verificaram aumento nos teores de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (N-total) em pastagens irrigadas, por mais de 16 anos, com efluente. Latterell et al. (1982) observaram efeitos semelhantes, após cinco anos de cultivo com milho irrigado com água residuária. O incremento nos teores de CO e N-total têm sido comprovados pelo aumento na biomassa microbiana e na sua atividade, devido à adição de matéria orgânica facilmente decomponível e de nutrientes, mediante longo período de disposição de efluente no solo.

Coraucci Filho (1991), aplicando esgoto doméstico em rampas de tratamento por escoamento superficial, verificou que a concentração de CO diminui com a profundidade

do solo, demonstrando que o esgoto, após o processo de infiltração no solo, sofre um processo de filtração e que este depende da taxa de aplicação e da declividade do solo.

Hortenstine (1976) verificou, em um Espodosolo cultivado com *Cynodon* e irrigado com efluente de esgoto doméstico tratado, que a camada espódica foi eficaz em reter fósforo (P), mas não a camada superior desta. Isso mostrou que até mesmo os Espodosolos, desde que bem manejados, podem ser utilizados para disposição e renovação de águas residuárias.

Kardos e Hook (1976) também avaliaram a capacidade do solo em reter e lixiviar P e de remoção deste nutriente pela vegetação. Os autores verificaram que, após nove anos de irrigação com efluente de esgoto tratado, 96% do fósforo adicionado ainda se encontrava na camada 0-120 cm; a penetração de P em camadas mais profundas estava diretamente relacionada ao menor teor de argila e de sesquióxidos do solo.

O movimento de P no sistema de tratamento de efluentes ao solo não é somente função das propriedades do solo e da taxa de aplicação, mas também do manejo da vegetação, uma vez que o P absorvido pelas plantas não irá ser lixiviado no ambiente quando elas são colhidas e removidas do sistema (HOOK, 1981).

Medeiros (2005) verificou que a aplicação de águas residuárias em Cambissolo Háplico distrófico foi mais efetiva na diminuição da acidez trocável, fato atribuído ao aumento da alcalinidade do solo e dos cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , e Na^+), influenciada pela aplicação da água residuária

John e McConchie (1994b); Falkiner e Smith (1997) verificaram diminuição da acidez potencial em solos que recebem aplicação de águas residuárias e atribuem a diminuição ao aumento dos cátions trocáveis no solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e da alcalinidade do efluente aplicado.

Bureau et al. (1987), manejando água residuária para irrigação encontraram teores consideravelmente elevados de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presentes na água. O mesmo ocorreu com o sódio (Na^+) e cloro (Cl^-) no solo irrigado com a mesma água, em que os altos níveis de sódio nos efluentes refletiram geralmente em altos valores de Razão de Adsorção de Sódio (RAS).

Speir et al. (1999), usando efluente de esgoto doméstico em irrigação, constataram ter havido redução no teor de Na^+ ao cessar a irrigação com efluente, devido ao efeito das

chuvas na lixiviação desse cátion. Os autores verificaram, ainda tanto na camada superficial como no subsolo, que a macro e microporosidade total não foram afetadas pela disposição do efluente no solo.

Santos (2004), avaliando a possibilidade do uso de efluentes de lagoa de estabilização como fonte de água, em um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com capim-Tufton 85, verificou que a presença de alguns constituintes, como, por exemplo, o Na^+ , pode acarretar sérias restrições ao seu uso. No entanto, o efluente foi eficiente em suprir o capim com água, não resultando em prejuízo por conta do acúmulo de massa seca.

Medeiros (2005), avaliando o manejo de irrigação com água residuária e convencional, verificou que a percentagem de argila dispersa na água foi mais pronunciada no manejo convencional que no com água residuária e que esta redução foi influenciada, principalmente, pelo aumento da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo (CEe) e pela diminuição na concentração de Na^+ .

Aumento no teor de Na^+ trocável e no percentual de sódio trocável (PST) tem sido comum em solos irrigados com efluente de esgoto tratado, independentemente se o uso for agrícola ou florestal (FEIGIN; RAVINA; SHALHEVET, 1991; PESCOD, 1992; BOND, 1998), notadamente em experimentos de longa duração (QUIN; WOODS, 1978; BALKS; BOND; SMITH, 1998). Latterell et al. (1982) verificaram que os teores de Na^+ aumentaram de 3,5 até 25 vezes, em função da taxa de aplicação de efluente. Os aumentos no PST têm sido de 3,2 a 9,8% (STEWART; HOPMANS; FLINN, 1990) até 22% (FALKINER; SMITH, 1997).

Com relação ao K, os resultados encontrados na literatura são divergentes. Karlen et al. (1976) observaram que a aplicação de efluente de esgoto tratado ocasionou aumento no teor de Na^+ e, conseqüentemente, diminuição do teor de K. Cromer et al. (1984), trabalhando em solos florestais com efluente de esgoto tratado durante três anos, verificaram que houve aumento no teor de K trocável.

Stewart, Hopmans e Flinn (1990) constataram redução no teor de K em profundidade (abaixo de 100 cm), enquanto Al-Nakshabandi et al. (1997) evidenciaram aumento no teor de K até 60 cm de profundidade, após o cultivo de berinjela. Falkiner e Smith (1997) verificaram aumento no teor de K em solos que receberam efluentes e tal efeito foi atribuído à presença desse cátion no efluente.

Segundo Karlen, Vitosh e Kunze (1976), para que seja sustentável a disposição, no solo, de um efluente pobre em K e rico em Na^+ , torna-se necessário uma suplementação potássica para manter adequada a absorção de nutrientes e a produtividade das culturas, sobretudo, na cultura do milho. Por outro lado, mesmo que ocorra aumento no teor de K disponível mediante a disposição de águas residuárias ao solo, a quantidade desse nutriente exigida pelas plantas é tão elevada que dificilmente somente a irrigação com efluente poderia supri-las adequadamente (FEIGIN; RAVINA; SHALHEVET, 1991).

John e McConchie (1994b) verificaram que a irrigação com efluente ocasionou aumento nos teores de Ca^{2+} até 50 cm de profundidade, não alterou o teor de Mg^{2+} trocável, mas aumentou sua concentração lixiviada na solução do solo. Falkiner e Smith (1997) encontraram aumento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em solos irrigados com água residuária.

Tem sido observado leve incremento nos teores de Ca^{2+} trocável em solos irrigados com efluente de esgoto tratado, notadamente em solos florestais (CROMER et al., 1984; SPEIR et al. 1999) e pastagens (QUIN; WOODS, 1978), após longos períodos de irrigação.

Garcia (2003), estudando as alterações químicas e físicas e a mobilidade de íons no solo decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos de café, em três tipos de solo (Aluvial Eutrófico, Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo) verificou que o aumento da concentração da água residuária aplicada aos solos resultou em crescimentos lineares nos valores de soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V).

Fonseca (2001), avaliando o potencial de uso de efluente secundário de esgoto tratado como fonte de nitrogênio em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com milho, concluiu que o efluente foi efetivo em aumentar a capacidade de troca catiônica efetiva do solo (CTCe).

2.6.2. Atributos físico-químicos do solo

O aumento dos valores de percentagem de sódio trocável (PST) com o passar do tempo indica a tendência de sodificação do solo. Aumentos de PST têm sido observados na literatura tanto na irrigação com água como com efluente (FALKINER; SMITH, 1997; BALKS; BOND; SMITH, 1998).

Santos (2004), avaliando o efeito da irrigação com efluente em capim-Tufton 85, constatou que maiores valores de PST (5,56 a 7,42 %) foram obtidos na superfície do solo (camada 0-10 cm), permanecendo abaixo do limite mínimo de 15 % considerado como indicador de sodicidade do solo. No entanto, outros estudos consideram limites inferiores a 15% como indicativos de que o solo pode estar sujeito a degradações estruturais (RENGASAMY; OLSSON, 1991; SUMMER, 1993; HALLIWELL; BARLOW; NASH, 2001).

Medeiros (2005), avaliando o manejo de irrigação com água residuária e de represa, constatou ter havido incremento da RAS e da PST no 1^o caso, sem contudo acarretar problemas na estrutura do solo. Incremento que não ocorreu no manejo com água de represa.

O aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEe) mediante a irrigação com esgoto doméstico tratado tem sido comum em sistemas agrícolas, mais pronunciadamente na camada superficial do solo (LATTERELL et al. 1982; AL-NAKSHABANDI et al., 1997; SPEIR et al., 1999). Al-Nakshabandi et al. (1997) ressaltam que esse aumento é devido a dois fatores: evaporação da superfície do solo, devido ao acúmulo de sais; exposição do subsolo à contínua lixiviação e substituição dos sais na periferia da zona úmida, a qual normalmente tem apresentado aumento na concentração de sais.

Normalmente, pelo fato do efluente ser salino, a irrigação com água residuária tem acarretado aumento da salinidade do solo (CROMER et al., 1984; SMITH; HOPMANS; COOK, 1996), que pode afetar a absorção d'água pelas plantas devido à presença de maior concentração dos íons Na^+ , Cl^- e HCO_3^- na solução do solo (BIELORAI; VAISMAN; FEIGIN, 1984).

Entretanto, alguns autores têm assinalado diminuição na salinidade do solo. Day et al. (1979), trabalhando em solo naturalmente salino, verificaram diminuição da salinidade do solo pela irrigação com efluente. Stewart, Hopmans e Flinn (1990) verificaram que, em solo florestal irrigado com efluente de esgoto tratado por mais de quatro anos, a salinidade foi reduzida, devido à lixiviação e à absorção de sais pelas árvores.

Medeiros (2005), avaliando o manejo de irrigação com água residuária e de represa, verificou, em ambas, que a CEe e a PST do solo não apresentaram problemas de

salinidade nem de danos à sua estrutura, sendo classificado como solo normal, por apresentar $C_{Ee} < 2000 \mu S \text{ cm}^{-1}$ e $PST < 7 \%$.

2.6.3. Micronutrientes e elementos tóxicos

O termo metal pesado, segundo Malavolta (1994), é usado para conceituar um grupo heterogêneo de elementos químicos incluindo metais, semimetais e até mesmo não metais, que possuem densidade maior que 5 kg dm^{-3} e número atômico maior que 20, enquanto Alloway (1990) e McBride (1994), classificam como metal pesado, os elementos químicos com densidade maior que 6 kg dm^{-3} . Os principais metais presentes no solo e nos produtos utilizados na agricultura são; Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn e Zn (ABREU; ABREU; BERTON, 2002). Dentre estes, alguns são essenciais às plantas (Cu, Fe, Zn, Mo, Ni e Mn).

Os metais pesados encontram-se no efluente de esgoto tanto nos sólidos suspensos como na fração líquida. Os que se associam aos sólidos suspensos acumulam-se na superfície do solo, ao passo que os metais pesados associados à fração líquida penetram no solo (FEIGIN et al., 1991)

Segundo McBRIDE (1989), muitos estudos têm demonstrado a alta capacidade dos solos em reter metais pesados e, em síntese, devido à baixa solubilidade e alta adsorção específica desses metais, normalmente são encontrados baixos teores desses elementos em solução. O mesmo autor, considerou que, além das condições ácido-base do meio, os processos determinantes da solubilidade dos metais pesados no solo são: troca iônica nos argilominerais e óxidos de metais; redução, precipitação e solução sólida; processos redox, levando-se em consideração a oxidação de metais, óxidos de metais e dissolução de metais por materiais orgânicos; adsorção de metais pela matéria orgânica; especiação.

A presença da matéria orgânica do solo tem afetado grandemente a solubilidade dos metais pesados (McBRIDE, 1989). Os ácidos orgânicos, aminoácidos e ácidos fúlvicos, bem como sistemas biológicos e resíduos biológicos, influenciam a solubilidade dos metais pesados no solo (FEIGIN et al., 1991).

Smith; Hopmans; Cook, (1996) observaram, em solos florestais irrigados com água residuária por mais de quatro anos, que os teores de Cr, Ni, Pb e Zn extraíveis em EDTA não foram alterados pela irrigação com efluente de esgoto tratado.

Quin e Syers (1978) verificaram que, pastagens irrigadas por 16 anos com efluente de esgoto tratado, apresentaram ligeiro aumento nos teores de Co, Cu, Mn e Zn (extraído em HCl 0,1 mol L⁻¹). No entanto, segundo os autores, esse leve incremento na concentração de metais pesados no solo não influenciou a concentração desses metais na parte aérea das plantas.

Inglés; Gómez; Nogales, (1992) observaram que o teor de Zn-DTPA aumentou e as plantas foram nutridas adequadamente com esse micronutriente, mediante irrigação com esgoto secundário. . Al-Jaloud et al. (1995) verificaram, em solos cultivados com milho e irrigados com efluente de esgoto tratado, que o teor de Ni não foi alterado.

2.6.4. Atributos físico-hídricos do solo

Estudos dos atributos físicos do solo decorrentes da ação diferenciada dos processos de manejo adquirem grande importância na análise do comportamento das plantas cultivadas. Do ponto de vista prático, é de grande interesse econômico o estudo dessas alterações, face à sua relevante importância na recuperação ou manutenção do potencial agrícola desses solos (MARQUES et al. 2004).

Segundo Vieira e Muzilli (1995), os efeitos diferenciados sobre os atributos físicos do solo, devido ao tipo e sistema de manejo, são dependentes, entre outros, da quantidade de resíduos vegetais e das condições de umidade do solo. O manejo incorreto leva à formação de camadas subsuperficiais compactadas, que tem sido apontada por Campos et al. (1995), como uma das principais causas de degradação da estrutura do solo e da redução de produtividade das culturas.

O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente de sua textura e mineralogia, as quais influenciam a resistência e a resiliência do solo a determinada prática agrícola (Seybold et al., 1999).

A relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo comportamento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A avaliação dos atributos físicos do solo é importante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. No monitoramento da qualidade do solo, os atributos usados como indicadores de mudanças devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação (DORAN; PARKIN, 1994).

2.6.3.1. Textura, densidades do solo, das partículas, porosidade total e resistência do solo à penetração

Cintra, Portela e Nogueira (2004) estabelecem diferenças claras entre propriedades físicas e fatores físicos de crescimento; segundo os autores, as propriedades físicas: textura, densidade do solo e condutividade hidráulica, entre outras, influenciam os fatores físicos de crescimento: potencial total de água no solo, aeração, temperatura e resistência mecânica à penetração.

A textura é um parâmetro que em sua determinação se espera um nível médio de variabilidade, segundo Warrick (1988), porém, tem sido encontrados na literatura níveis distintos para as diferentes frações granulométricas, nos mais diversos solos.

Em solos arenosos, tem sido encontrada uma variabilidade média a alta, para os teores de argila e silte, e baixa, para o teor de areia (LIMA; SILANS, 1999; SALVIANO; VIEIRA; SPAROVEK, 1998, SOUZA; COGO; VIEIRA, 1997), para solos siltosos, tem-se observado uma variabilidade baixa para essas frações granulométricas, e média, para teores de areia (FOLEGATTI, 1996). Para Vieira (1997), solos argilosos apresentam uma variabilidade baixa para os teores de argila e média para a areia (Vieira, 1997).

Guimarães (2000) verificou, através de estatística clássica, diferenças entre propriedades físico-hídricas do solo na profundidade de 0,20 m, em um Latossolo vermelho escuro de textura argilosa, localizado na região do cerrado e submetido a sistemas de manejo de plantio direto e convencional.

Para solos arenosos, Souza, Cogo e Vieira (1997) observaram que a distribuição log normal foi a que melhor se adequou aos teores de areia total, silte e argila. Salviano, Vieira e Sparovek (1998) e Lima e Silans (1999) encontraram distribuição normal para todas as frações avaliadas. Guimarães (2000) observou que a fração areia afastou-se da condição de normalidade, enquanto as frações mais finas aproximaram-se dessa característica

A densidade do solo é um atributo que apresenta baixa variabilidade e um coeficiente de variação inferior a 15%, segundo Warrick (1988). A baixa variabilidade na densidade do solo e a tendência a uma distribuição normal dos dados também foram constatadas por Guimarães (2000) e Souza et al. (2001).

A variação da densidade do solo ao longo do tempo também foi observada por Corsini e Ferraudo (1999) e Xu e Mermuoud (2001). Esse atributo do solo mostrou-se propenso a aumentar ao longo do tempo, pela acomodação do solo com os sucessivos ciclos de molhamento e secagem, pelo impacto das gotas de chuva e pela desintegração dos agregados.

A densidade das partículas depende da constituição mineralógica do solo, variando, na maioria dos solos minerais, de 2,6 e 2,7 kg m⁻³, valor próximo à densidade do quartzo, mineral prevalecente na fração grossa do solo (HILLEL, 1998).

Contudo, segundo esse mesmo autor, a presença de óxidos de ferro e de outros minerais com densidade acima de 2,9 kg m⁻³ contribui para elevar a média da densidade das partículas, enquanto a presença de matéria orgânica de baixa densidade geralmente reduz a densidade média dos sólidos.

Cintra, Portela e Nogueira (2004) avaliando a caracterização física e hídrica de solos de tabuleiros costeiros, verificaram que o caráter mais arenoso da camada superficial do solo, o maior teor de argila em profundidade e os elevados valores de densidade das partículas são os principais fatores responsáveis pela formação das camadas coesas.

Anjos et al. (1994) encontraram pequenas diferenças na densidade de partículas, ao avaliarem propriedades físicas de quatro tipos de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo.

A porosidade total é outro parâmetro do solo para o qual se espera encontrar baixa variabilidade (WARRICK, 1998). Esse parâmetro é afetado pelos sistemas de manejo do solo, como é mostrado por Stone e Silveira (2001), Anjos et al., (1994)

A resistência mecânica é um termo utilizado para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Pedrotti et al. 2001).

Souza et al. (2001) avaliaram a umidade durante ensaio de resistência do solo à penetração (RSP), encontrando uma distribuição de frequência de umidade próxima da log normal, e um coeficiente de variação de 6,4 e 3,9% para as camadas de 0,0 a 0,05 e de 0,15 a 0,20 m, respectivamente.

Utset e Cid (2001) avaliaram a variabilidade espacial de RSP em solo argiloso, em Cuba, na camada de 0,20 a 0,30 m de profundidade, sob condições secas do solo (antes da

irrigação), assim como 2 e 24h após a irrigação, em área manejada com sistema convencional. Os autores constataram que RSP apresentou uma distribuição normal para a condição de solo seco e 24h após a redistribuição de água aplicada pela irrigação.

Stone e Silveira (1999) verificaram, em cultura do feijoeiro, valores de RSP superiores a 3,50 Mpa, na época do florescimento. Wutke et al. (2000) registraram médias máximas de RSP de 5,0 a 7,0 MPa, entre as profundidades de 0,20 a 0,35 m, para o feijoeiro irrigado sob diferentes rotações de culturas, em três anos de ensaio.

2.6.3.2. Retenção de água no solo, macroporosidade e microporosidade

Libardi (2002) ressalta a importância de estudos detalhados da caracterização hídrica dos solos, em particular no que diz respeito às propriedades de retenção de água no solo, condutividade hidráulica saturada e difusividade de água no solo; alerta, ainda, que os estudos devem ser realizados por longo período, para que se tenha uma idéia correta do regime no perfil.

A realização de estudos hídricos envolvendo propriedades hidráulicas do solo como, curva de retenção e condutividade hidráulica do solo saturado, possibilita a coleta de informações importantes para um melhor manejo do solo, já que análises envolvendo essas propriedades ainda são escassas, sendo comum resultados dos atributos físicos e químicos (LIBARDI, 2000).

Estudo de correlação entre vários atributos físicos desenvolvidos por Souza et al. (2001) demonstrou a necessidade de medição do espaço poroso na avaliação de horizontes adensados. A distribuição de poros, tanto em quantidade quanto em qualidade, é um fator apontado como benéfico para o desenvolvimento radicular de diversas culturas (CASTRO, 1995).

A qualidade da porosidade total do solo pode ser medida por meio da macroporosidade e da microporosidade. Segundo Hillel (1998), a macroporosidade influencia diretamente a capacidade de infiltração, a drenabilidade do solo e sua capacidade de aeração, enquanto que a microporosidade é responsável pela capacidade de retenção de água e solutos no solo.

Para Da Ros et al. (1997), valores de macroporosidade dentro das condições ideais estão na faixa de 0,09 a 0,12 m³ m⁻³, podendo na redução causar um decréscimo da permeabilidade do solo.

Cintra, Portela e Nogueira, (2004) afirmam que o baixo volume de macroporos em camadas mais adensadas confirma a tese de que as camadas coesas têm forte influência não apenas na redução da aeração mas, também, no movimento e retenção da água no solo e na sua disponibilidade para as plantas; tais fatores são de grande importância, sobretudo em sistemas irrigados, por sua interferência na frequência de irrigação e volume de água aplicado nos cultivos.

2.7. Efeito do efluente de esgoto tratado na produtividade das culturas

Day et al. (1974) observaram que plantas de trigo irrigadas com efluente tiveram maiores diâmetros nos colmos, teor de fibra, produtividade e teor de proteína e, ainda, a aplicação do efluente não teve efeito adverso no perfilhamento.

Hussain; Al-Jaloud e Karimulla, (1996) trabalhando com efluente de esgoto tratado, com teor médio de 20 mg. L⁻¹ de nitrogênio total verificaram que, em duas safras de trigo irrigado com esse efluente, houve maior produtividade das plantas, maior eficiência de uso de nitrogênio, e ainda, que esse incremento de produção não foi somente devido ao nitrogênio, mas também aos demais nutrientes contidos no efluente.

Day e Tucker (1977), estudando a cultura do sorgo irrigado com efluente de esgoto e água convencional, verificaram que as plantas apresentaram altura, número de perfilhos, peso de 1000 sementes, teor de proteína, largura e comprimento das folhas semelhantes. No entanto, as plantas produziram mais com o uso do efluente de esgoto.

Mota (2000), irrigando sorgo com efluente previamente tratado pelo processo de filtro biológico e com água de poço, constatou que, no sorgo irrigado com esgoto tratado, os teores de proteína no grão e na palha foram 10,86% e 12,15%, respectivamente. Para o sorgo irrigado com água de poços estes teores foram de 10,09% e 10,82% no grão e na palha, respectivamente.

Monte e Souza (1992) avaliaram a aplicação do efluente final de água residuária doméstica tratada em lagoa facultativa, comparando com água potável misturada com fertilizante comercial, na irrigação das culturas de milho, sorgo e girassol, utilizando os

métodos gotejamento e sulcos. Concluíram que houve aumento na produção com o uso de efluente, com uma economia de cerca de 140 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 110 kg.ha⁻¹ de K₂O.

Schalscha et al. (1979) verificaram que o aumento na disponibilidade de N e de P, devido à irrigação com efluente, refletiu diretamente na produção de trigo e de hortaliças (alface, aipo, pepino, cebola), havendo, no entanto, impacto ambiental, devido ao excesso de nitrato. Burau et al. (1987), estudando a disposição de efluentes e taxas de fertilização em hortaliças (aipo, brócolis, repolho e couve-flor), constataram aumento de produtividade sem excesso de nitrato lixiviado.

Neilsen et al. (1989) utilizando efluente secundário municipal, por meio da irrigação por gotejamento em culturas do tomate, pimenta, cebola, pepino, feijão e melão, obtiveram uma produção maior ou semelhante à obtida com água superficial.

As plantas forrageiras, devido à longa estação de crescimento, elevado acúmulo de nutrientes e capacidade de recobrimento do solo, apresentam, segundo Bole e Bell (1978), alto potencial para receber a aplicação de efluentes.

Experimentos têm mostrado alta produtividade nas culturas de alfafa irrigadas com água residuária, cuja produtividade de matéria seca, bem como proteína, tem sido atribuída à elevada absorção de nitrogênio (DARWISH et al. 1999). Em milho forrageiro, Overman e Nguy (1975) verificaram que a produção da matéria seca, taxa de acumulação de proteína e absorção de nitrogênio aumentaram com a irrigação com efluente contendo, em média 37 mg L⁻¹ de N-total.

Hook e Kardos (1978) verificaram, em florestas irrigadas por nove anos com efluente de esgoto tratado, que ocorreu lixiviação de nitrogênio nos últimos sete anos de irrigação e as árvores foram incapazes de remover o nitrogênio adicionado numa taxa de 50 mm semana⁻¹, acarretando lixiviação de nitrato para águas subterrâneas.

Segundo Polglase et al. (1995), a irrigação de plantações com efluente de esgoto tratado afeta o crescimento das árvores e a absorção de nitrogênio. Ainda segundo os autores, as taxas de ciclagem de nitrogênio no efluente de esgoto tratado, em plantações irrigadas, podem ser modificadas por fatores específicos do local, como clima, tipo de solo, química do efluente, práticas de manejo do povoamento e da irrigação.

2.7.1. Cultura do feijão caupi

2.7.1.1. Importância da cultura

O feijão é um dos alimentos básicos do povo brasileiro, um produto que constitui importante fonte de proteína, como também apresenta um elevado valor energético, quando comparado a outros alimentos (MENEZES, 2001).

A área ocupada com feijão caupi (feijão macassa ou feijão-de-corda - *Vigna unguiculata (L.) Walp.*), no mundo, está em torno de 12,5 milhões de ha, com 8 milhões (64% da área mundial) na parte oeste e central da África. A outra parte está localizada na América do Sul, América Central e Ásia, com pequenas áreas espalhadas pelo sudoeste da Europa, sudoeste do Estados Unidos e Oceania. Os principais produtores mundiais de feijão são Nigéria, Niger e Brasil (QUIN, 1997).

No Brasil, nas regiões Norte e Nordeste, em virtude das condições ambientais serem desfavoráveis ao feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris L.*), predomina o cultivo do caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*), que resiste melhor ao calor e à deficiência hídrica (OLIVEIRA; CARVALHO, 1988). O caupi é cultivado predominantemente nos estados do Amazonas, Maranhão, Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte (MAIA, 1996).

Segundo Andrade Júnior (2000), a qualidade do produto ofertado tem melhorado e isso tem despertado o interesse de grandes empresas cerealistas, facilitando a ampliação do mercado do feijão caupi no País. Atualmente, há uma demanda por cultivares com tipos de grãos adequados aos mercados europeu e americano.

Com relação aos aspectos socioeconômicos, a cultura do feijão caupi é responsável pela geração de 1.451.578 empregos ano⁻¹ no Brasil, com o valor de produção estimado em US\$ 249.142.582,00 ano⁻¹ (CAUPI movimentada..., 2001).

O consumo diário de feijão caupi muito contribui para satisfazer as necessidades diárias de proteína da população, especialmente nas zonas rurais das regiões Nordeste e Norte de Minas Gerais e Espírito Santo; chegando a fornecer até 23,68g de proteína/pessoa/ dia. Especificamente no Nordeste, o consumo anual de feijão caupi é da ordem de 9,2 a 21,8 kg (MARINHO, 2000).

O feijão caupi possui propriedades nutritivas superiores às do feijão comum, sendo uma excelente fonte de proteínas (23%-25%, em média), apresenta todos os aminoácidos

essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%, em média) e não contém colesterol.

Pelo seu valor nutritivo, o caupi é cultivado principalmente para a produção de grãos, secos ou verdes, para o consumo humano, **in natura**, na forma de conserva ou desidratado. Esta leguminosa também é utilizada como forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e proteção do solo.

No Estado de Pernambuco as Zonas da Mata e Agreste são as responsáveis pela maior parte pelo plantio do feijão caupi. Alguns municípios da região do sub-médio do Rio São Francisco costumam plantar o caupi irrigado, como principal cultura (sistema solteiro), enquanto em outras regiões ele constitui uma secundária (sistema consorciado). A produtividade média no sistema solteiro é de 1.240 kg ha⁻¹ e, no sistema consorciado, 700 kg ha⁻¹ (MAFRA, 1978).

2.7.1.2. Ecofisiologia

Dentre os elementos do clima que exercem influência no crescimento e desenvolvimento dessa cultura destacam-se a precipitação e a temperatura do ar, o fotoperíodo, o vento e a radiação solar. Quanto à precipitação, a cultura do feijão caupi exige um mínimo de 300 mm de precipitação para que produza a contento; entretanto, a limitação em termos hídricos está mais diretamente condicionada à distribuição do que à quantidade total de chuvas ocorridas no período. A ocorrência de ligeiros déficits hídricos no início do desenvolvimento da cultura pode estimular um maior desenvolvimento radicular das plantas, porém, estresse hídrico próximo e anterior ao florescimento pode ocasionar severa retração do crescimento vegetativo, limitando a produção (ELLIS et al. 1994; FANCELLI; DOURADO NETO, 1997).

A faixa ideal de temperatura para o bom desenvolvimento da cultura é de 18 a 34°C. Temperaturas elevadas (> 34°C) prejudicam o crescimento e o desenvolvimento da planta de feijão caupi, exercem influência sobre o abortamento de flores e a retenção final de vagens, afetando também o número de sementes por vagem (ELLIS et al. 1994; CRAUFURD et al. 1996a). Além disso, podem contribuir para a ocorrência de várias fitoenfermidades, principalmente aquelas associadas às altas umidades relativas do ar,

condições estas que freqüentemente ocorrem quando o cultivo é feito em condições de sequeiro (CARDOSO; MELO; ANDRADE JÚNIOR, 1997).

Temperaturas baixas ($<18^{\circ}\text{C}$) influenciam negativamente a produtividade do feijão caupi retardando o aparecimento de flores e aumentando o ciclo da cultura (LITTLETON et al. 1979; LEITE; RODRIGUES; VIRGENS FILHO, 1997).

Na região Meio-Norte do Brasil, limitações térmicas para o caupi podem existir em locais onde o florescimento coincida com períodos de temperatura acima de 35°C . Bastos et al. (2000) constataram, por meio de simulações, que, em Teresina, o plantio de feijão caupi como cultivo irrigado deve se restringir até o mês de julho; a partir de meados de agosto há uma redução significativa da produtividade dos grãos, devido ao abortamento das flores, devido à elevada temperatura do ar durante o florescimento.

Outro fator que exerce influência no crescimento e desenvolvimento do feijão caupi é o fotoperíodo. Segundo Steele e Mehra (1980), existem cultivares sensíveis e outras insensíveis ao fotoperíodo, cujo crescimento vegetativo, arquitetura da planta e desenvolvimento reprodutivo são principalmente determinados pela interação de genótipos com a duração do dia e temperaturas do ar. As cultivares sensíveis ao fotoperíodo são consideradas plantas de dias curtos, as quais têm o seu florescimento atrasado quando o fotoperíodo é maior que o fotoperíodo crítico (HADLEY; ROBERTS; SUMMERFIELD, 1983; CRAUFURD et al., 1996a); cultivares insensíveis ao fotoperíodo crítico, o crescimento e desenvolvimento da cultura são influenciados apenas pela temperatura do ar (CRAUFURD et al., 1996b).

A incidência constante do vento em lavouras de caupi pode aumentar a demanda de água por parte da planta, tornando-a mais suscetível a períodos curtos de estiagem, afetando o desempenho da cultura.

A radiação solar pode ser considerada um fator de grande importância para o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois influencia diretamente na fotossíntese das plantas. Loomis e Williams (1963) comentam que, sob condições favoráveis de solo e clima e quando pragas e doenças deixam de ser fatores limitantes, a máxima produtividade de uma cultura passa a depender principalmente da taxa de interceptação de luz e da assimilação de dióxido de carbono pelas plantas.

De acordo com Phogat, Singh e Singh (1984), a interceptação da energia luminosa no caupi geralmente é alta, devido às folhas glabras e de coloração verde escura. Os autores, avaliando a taxa de fotossíntese líquida e a absorção da radiação fotossinteticamente ativa por esta cultura, observaram que apenas 4,3% da energia luminosa foi refletida pelas folhas de feijão, em condições ótimas de água no solo.

2.7.1.3. Fenologia

A necessidade de uma escala fenológica baseada nas mudanças morfológicas da planta e nos eventos fisiológicos que se sucedem durante o ciclo vegetativo, aumenta a eficiência do uso de insumos, defensivos e água, favorecendo o estabelecimento de estratégias de manejo e de tomada de decisão, objetivando a obtenção de rendimentos satisfatórios e lucrativos (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000a).

O desenvolvimento do feijoeiro compreende, basicamente, duas fases distintas e sucessivas, a vegetativa e a reprodutiva, diferenciadas entre si pela manifestação de diferentes eventos bioquímicos, morfológicos e fisiológicos. Para a cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), a escala fenológica mais utilizada é aquela proposta por Gepts e Fernández (1982) (Tabela 2.5). Nesta escala, o ciclo biológico do feijoeiro é constituído de 10 etapas de desenvolvimento, sendo que a designação de cada etapa é baseada em um código constituído por uma letra e um número.

A fase vegetativa tem seu início caracterizado pelo completo desdobramento das folhas primárias prosseguindo até o aparecimento dos primeiros botões florais (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000a). Este período deve ser favorecido por temperaturas moderadamente elevadas (superiores a 21,0° C e inferiores a 29,5° C), adequada disponibilidade hídrica e abundante luminosidade. A fase reprodutiva transcorre desde a emissão dos primeiros botões florais até o ponto de maturidade fisiológica. Nesta fase se evidencia a sensibilidade à deficiência ou excesso de água no solo.

Craufurd et al. (1996a) e (1996b), o feijão caupi é uma cultura que encontra melhores condições de desempenho nas fases vegetativa e reprodutiva se as temperaturas médias estiverem entre 18 e 34° C, sendo uma temperatura ótima na fase de florescimento aquela na faixa de 26 ± 2° C.

Miranda et al. (1992) ressaltam que, devido à irregularidade das chuvas, boa parte dos agricultores prefere cultivares mais precoces, até mesmo os que usam irrigação, por necessitarem de menor número de regas. Neste caso, a exploração é feita de forma não consorciada.

Outra importante característica dessa cultura é sua tolerância ao déficit hídrico, lâminas ou cotas pluviométricas entre 250 e 500 mm anuais bem distribuídas asseguram o ciclo fenológico da cultura. No entanto, a ocorrência de estresse hídrico próximo e anterior as fases de florescimento e enchimento de grãos pode limitar a produção (FANCELLI; DOURADO NETO, 1997).

O desenvolvimento do feijoeiro é, inicialmente, muito lento, e só a partir do vigésimo dia é que a taxa de crescimento torna-se mais intensa, atingindo o máximo desenvolvimento aos 55 – 70 dias. Após, começam a prevalecer os fenômenos de translocação, em substituição aos de crescimento (OLIVEIRA; THUNG, 1988).

A duração do período entre os estádios de desenvolvimento da cultura do feijão comum pode ser afetada por alguns fatores, dentre os quais merece especial destaque o genótipo, o clima e as condições de fertilidade do solo (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000a).

Tabela 2.5. Caracterização dos estádios fenológicos da cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*)

Estádio	Código	Caracterização do estágio
Vegetativo	V0	Germinação
	V1	Cotilédones ao nível do solo
	V2	Folhas primárias expandidas
	V3	Primeira folha trifoliada
	V4	Terceira folha trifoliada
Reprodutivo	R5	Botões florais (pré-floração)
	R6	Abertura da primeira flor (floração)
	R7	Início da formação das vagens
	R8	Enchimento das vagens
	R9	Maturidade fisiológica

2.7.1.4. Nutrição e adubação nitrogenada

O feijão caupi absorve, para seu desenvolvimento completo, uma quantidade superior a 100 kg de N ha⁻¹. Considerada como planta de boa capacidade noduladora e eficiente sistema de fixação, o caupi dispensa a adubação nitrogenada. Culturas desenvolvidas em áreas recém-desmatadas, arenosas ou com teor de matéria orgânica menor que 10 g kg⁻¹ geralmente apresentam deficiência de nitrogênio. Nessas condições, recomenda-se a aplicação de 20 kg de N ha⁻¹, em cobertura, aos 15 dias após a fase de emergência das plantas (CARDOSO; FREIRE FILHO; ATHAYDE SOBRINHO, 1991)

O nível crítico teórico de fósforo no solo, para o bom desenvolvimento da planta, está em torno de 0,13 cmol_c dm³. Entre os macronutrientes, é o elemento extraído em menor quantidade e o que mais limita a produção do feijão caupi. Considerando as condições do solo e as propriedades do elemento no meio, as doses recomendadas encontram-se na faixa de 20 a 60 kg de P₂O₅/ha.

O valor de potássio considerado crítico para o bom desenvolvimento do feijão caupi está abaixo de 50 mg.kg⁻¹ de K₂O. Embora apresente altas concentrações no tecido das plantas, a adubação potássica em feijão caupi não tem refletido no aumento da produção de grãos. Considerando as condições do solo, normalmente são recomendadas, no balanceamento de fórmulas de adubação, quantidades que variam na faixa de 20 a 40 kg de K₂O ha⁻¹(CARDOSO et al. 1998).

De modo geral, para a cultura do feijoeiro a absorção diária de nutrientes é pequena, no início do desenvolvimento, aumentando a partir do vigésimo dia e sendo mais intensa no intervalo de 20 a 30 dias, isto é, imediatamente antes do florescimento, podendo sugerir que a disponibilidade dos nutrientes no solo, nos primeiros quinze dias de crescimento da cultura, tem pouca significância (MAFRA et al. 1974; MORAES, 1988).

O componente de produção do feijoeiro mais afetado pela adubação nitrogenada é o número de vagens por planta (CALVACHE et al. 1995). Dessa forma, a adubação deve ser realizada de modo a propiciar uma boa nutrição da planta, na época em que ainda é possível aumentar o número de vagens por planta, isto é, até o início do florescimento (ROSOLEM, 1987).

O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijão comum, que extrai cerca de 200 kg ha⁻¹(HAAG et al. 1967). Uma população de 250.000 plantas retém

aproximadamente 101 kg ha⁻¹ de nitrogênio, dos quais 33% são exportados da lavoura pelo grão e vargens (MALAVOLTA; LIMA FILHO, 1997). Para a produção de 4.000 kg ha⁻¹ de fitomassa seca total, a cultura de feijão absorve 138 kg ha⁻¹ de nitrogênio (CABALLERO et al. 1985).

2.7.1.5. Fixação biológica e inoculação

A fixação simbiótica do nitrogênio, resultante da inoculação das sementes, como única fonte de nitrogênio deve ser recomendada para níveis de produtividade de até 1.500 kg ha⁻¹ (FRANCO, 1995), por ser insuficiente para suprir toda a necessidade da planta durante seu ciclo (EMBRAPA, 1993a), podendo contribuir com 20 a 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000b). Para produtividades superiores, deve-se recomendar a adubação com nitrogênio mineral em cobertura no início do florescimento, dando tempo suficiente ao estabelecimento da simbiose, visto que a inoculação pode proporcionar bons resultados, quando comparada à não aplicação de nitrogênio e não inoculação da semente. Porém, quando é feita a adubação nitrogenada, a produtividade é maior (PERES et al. 1994).

Segundo Freire e Kolling (1986), uma das alternativas para o suprimento de nitrogênio para a planta de feijão é a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), processo caracterizado pela conversão do nitrogênio gasoso (N₂) em nitrogênio amoniacal (NH₃) disponível para as plantas. As vantagens da FBN são várias, dentre elas, destacam-se: (a) o baixo custo, que a torna acessível aos produtores, (b) a inexistência dos problemas ambientais normalmente causados pelo uso de insumos agrícolas e (c) a abundância de nitrogênio gasoso na atmosfera, que constitui uma fonte inesgotável de nitrogênio gasoso.

A FBN é realizada por organismos fixadores de nitrogênio, constituído pelas bactérias do solo, da família *Rhizobiaceae*, pertencentes aos gêneros *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium* e *Rhizobium*, denominados genericamente de rizóbios. (JORDAN, 1984).

Singleton e Tavares (1986) observaram declínio na inoculação, quando o número de rizóbios foi superior a 20 indivíduos por grama de solo para feijão (*Vigna unguiculata(L.) Walp.*).

Thies, Singleton e Bohlool (1991) concluíram que a resposta de leguminosas à inoculação foi fortemente afetada pelo número de rizóbios já estabelecido no solo, pela

disponibilidade de N no solo e pela demanda de N pela colheita; e que o número de rizóbios já estabelecidos no solo pode explicar 59% da variação observada em tentativas de resposta à inoculação.

Stamford et al. (2003) verificaram que o feijão (*Vigna unguiculata*(L.) Walp.) inoculado com a estirpe específica *Bradyrhizobium* NFB 700 (Núcleo de Fixação Biológica – UFRPE), selecionada para condições salinas, foi eficiente no incremento da nodulação, aumento de nitrogênio total e na produção de matéria seca.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da ETE - Mangueira e caracterização da bacia de esgotamento

A Estação de Tratamento de Esgoto da Mangueira (ETE-Mangueira), operada pela Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), no Recife, trata os esgotos produzidos no bairro da Mangueira, localizado na região sudoeste da cidade do Recife, próximo ao estuário dos rios Jiquiá e Tejipió. As coordenadas geográficas da estação são: 8° 05' 41" de latitude Sul e 34° 55' 31" de longitude Oeste, com altitude em torno de 1,0 metro acima do nível do mar.

A ETE-Mangueira possui uma vazão média diária de projeto de 31,89 L/s e vazão máxima horária de 51,11 L/s. O sistema de tratamento implantado é constituído das seguintes unidades: grades de barras, desarenador, vertedor Parshall, reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), leitos de secagem de lodo e lagoa de polimento. O reator UASB é composto de oito módulos com volume útil de 1,0 m³; a lagoa de polimento foi concebida com a finalidade de remover a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) remanescente, os organismos patogênicos e os ovos de helmintos. As duas últimas unidades encontram-se dispostas de forma seqüencial, com tempos de detenção hidráulica de 7,0 horas e 3,0 dias, respectivamente, para vazão média diária de projeto (CARTAXO, 2003).

A ocupação da bacia de esgotamento sanitário é relativamente ordenada para uma população de 15.490 habitantes; a taxa de ocupação é estimada em 5 pessoas/domicílio e existem 3.098 residências, com renda média da população em torno de dois salários mínimos. Todavia, a ETE-Mangueira foi dimensionada para atender a demanda decorrente da ocupação total do bairro, ou seja, 3602 habitações, capazes de abrigar 18010 habitantes (Figura 3.1).



Figura 3.2. Vista geral da ETE-Mangueira e de parte da bacia de esgotamento (out/2005)

O clima, segundo a classificação de Köppen, é tropical úmido do tipo As', ou seja, clima quente e úmido, com duas estações bem definidas, período seco (setembro a fevereiro) e período chuvoso (março a agosto). A temperatura média do ar, durante o ano, oscila entre 25 e 26 °C, com máximas entre 31 e 32 °C e umidade relativa do ar entre 67% e 79%. As precipitações totais anuais variam entre 1000 e 2100 mm (SECTMA, 2002).

3.2. Construção e preparo dos lisímetros de drenagem

Foram transportados para a área experimental cerca de 216 toneladas de solo retirado de uma zona de empréstimo para construção civil, existente na região sudoeste da cidade do Recife. Todo material transportado é de origem do sedimento do Grupo Barreiras (Terciário). Parte do material serviu para a realização do aterro da área experimental e outra para complementação do aterro e preenchimento dos lisímetros.

Após a sistematização da área foi construída uma bateria de 24 lisímetros de drenagem, utilizando-se caixas d'água de fibra de vidro com capacidade para 1000 L cada, da marca Fortlev[®], as quais foram instaladas numa área experimental de 168 m², com distância de 1,00 m por 2,00 m, no sentido longitudinal e transversal, respectivamente, e

assentadas a 0,75 m de profundidade, ficando uma borda de 0,10 m acima da superfície do solo, para evitar excesso de águas provenientes de escoamento superficial das chuvas ou de irrigação; a área de exposição de cada lisímetro era de 2,18 m². A Figura 3.2 mostra o esquema geral da disposição da área experimental em relação ao sistema de tratamento da ETE – Mangueira.

Para evitar excesso de umidade no corpo do maciço, instalou-se um sistema de drenagem subterrânea formado por duas linhas de tubos corrugados de 75 mm com envoltório de brita n^o 19.

3.3. Material de solo

3.3.1. Caracterização pedológica

O material de solo utilizado no presente trabalho, foi proveniente do perfil natural de um Argissolo Amarelo Eutrofico típico, segundo o sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006), cujas amostras foram retiradas de uma trincheira com dimensões de 0,50 m x 1,5 m x 1,70 m, localizado à margem direita da BR-101 sul, próximo ao bairro da Muribeca, na cidade do Recife.

Foram coletadas amostras com estrutura deformada ao longo dos horizontes pedogenéticos identificados, em sacos plásticos, com aproximadamente 0,30 kg de solo para as determinações químicas do solo. A Figura 3.3 apresenta o perfil do solo usado no experimento e a Tabela 3.1 as características químicas dos horizontes do solo.

A coleta e transporte do solo do local de empréstimo para o caminhão foi realizado com retroescavadeira, tomando-se o solo dos horizontes BA e Bw₁; todo solo foi transportado em caminhão para a área experimental, onde foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira com malha de 4,0 mm e disposto em camadas de 0,10 m, de modo a formar um meio homogêneo no interior de cada lisímetro, até a profundidade de 0,70 m.

Em cada lisímetro foram colocados aproximadamente 960 kg de solo (amostras deformadas) proveniente da zona de empréstimo. A acomodação do solo nos lisímetros se deu através de saturação com injeção de água utilizando tubo plástico de 1,0 polegada de diâmetro e 1,0 m de comprimento, o qual foi perfurado até 0,70 m de altura e instalado nas

colunas de solo de cada lisímetro. Após a acomodação ter sido processada tiveram início as atividades preliminares ao desenvolvimento do experimento.

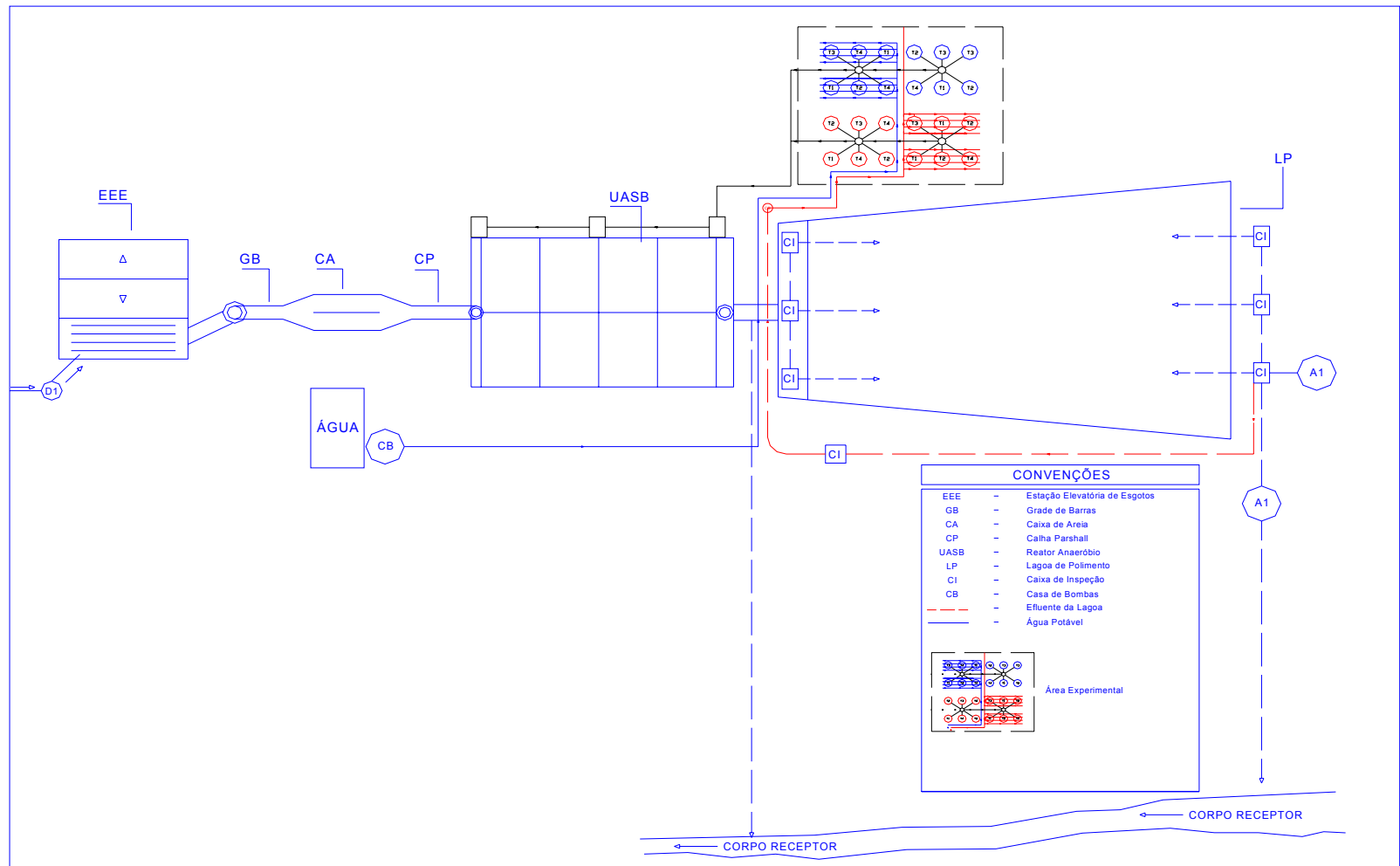


Figura 3.2 - Esquema geral da disposição da área experimental em relação ao sistema de tratamento da ETE – Mangueira.



Figura 3.3 – Perfil de Argissolo Amarelo Eutrófico típico

Foram coletadas 24 subamostras simples, numa profundidade de 0,20 m, com um trado tipo holandês de 1,0 m de comprimento (TOMÉ JÚNIOR, 1997), para formar uma amostra composta de 0,5 kg. A amostra composta foi enviada ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), para realização das análises químicas, segundo metodologias descritas pela EMBRAPA (1997).

Tabela 3.1 – Análise química do solo coletado nos horizontes pedogenéticos do perfil natural

Parâmetro	Unidades	Horizonte / Profundidade (m)			
		Ae	BA	Bw1	Bw2
		0,0 – 0,15	0,15 – 0,60	0,60 – 1,20	1,20 – 1,60
pH	Água (1:2,5)	4,5	4,6	4,6	4,7
M.O. ⁽¹⁾	g/dm ³	16,5	6,5	3,9	3,8
P	mg.dm ³	10,6	6,2	5,1	1,0
Na ⁺	cmolc.dm ³	0,03	0,03	0,02	0,03
K ⁺	cmolc.dm ³	0,07	0,03	0,01	0,01
Ca ²⁺	cmolc.dm ³	0,50	0,30	0,15	0,30
Mg ²⁺	cmolc.dm ³	0,40	0,02	0,45	0,50
Al ³⁺	cmolc.dm ³	1,35	1,45	1,25	0,85
H ⁺ +Al ³⁺	cmolc.dm ³	2,80	2,47	2,31	0,88
SB ⁽²⁾	cmolc.dm ³	1,00	0,38	0,63	0,84
C.T.C _{total} ⁽³⁾	cmolc.dm ³	3,80	2,85	2,94	1,72
C.T.C _{efetiva} ⁽⁴⁾	cmolc.dm ³	2,35	1,83	1,88	1,69
V ⁽⁵⁾	%	2,55	1,23	2,07	4,71
M ⁽⁶⁾	%	3,55	5,09	4,25	4,94
PST ⁽⁷⁾	%	0,08	0,11	0,07	0,17
RAS ⁽⁸⁾	(mmol L ⁻¹) ^{-1/2}	0,04	0,07	0,04	0,05
CE _{es}	dS m ⁻¹	0,12	0,24	0,10	0,11

⁽¹⁾ Matéria orgânica; ⁽²⁾ soma de bases $\Rightarrow SB = Ca + Mg + K + Na$; ⁽³⁾ capacidade de troca de cátions a pH 7 $\Rightarrow CTC = SB + H + Al$; ⁽⁴⁾ capacidade de troca de cátions efetiva $\Rightarrow CTCe = SB + Al$; ⁽⁵⁾ saturação por bases $\Rightarrow V\% = SB * 100 / CTC$; ⁽⁶⁾ saturação por Al $\Rightarrow m\% = Al * 100 / CTC$; ⁽⁷⁾ percentual de sódio trocável $\Rightarrow PST = Na * 100 / CTC$; ⁽⁸⁾ Razão de Adsorção de Sódio $\Rightarrow RAS = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$; CE_e – condutividade elétrica do estrato de saturação

3.3.1.1. Determinação das características químicas do perfil natural

A caracterização química do solo foi baseada nas seguintes determinações:

O pH foi determinado em água, usando-se 10 cm³ de terra fina seca ao ar (TFSA) e 25 ml de água destilada, na relação solo: solução 1:2, 5.

O conteúdo de matéria orgânica foi estimado multiplicando-se o valor do carbono orgânico total pelo fator 1,724 (fator de “Van Bemmelen”). O carbono orgânico foi obtido pelo Método Walkley & Black, que utiliza o dicromato (Cr₂O₇⁻²) em meio ácido como oxidante dos compostos orgânicos contidos em amostra de 1,0 g de TFSA triturada em almofariz. Para a dosagem do carbono orgânico “facilmente oxidável” (CO_{fo}), procedeu-se a titulação do dicromato de potássio (1/6 mol.L⁻¹) remanescente da oxidação com solução de sulfato ferroso amoniacal, usando-se a difenilamina como indicador. O conteúdo de carbono orgânico total foi estimado multiplicando-se o conteúdo de CO_{fo} por um fator de 1,3 assumindo-se que, em média, 77 % dos compostos orgânicos foram oxidados.

Fósforo disponível, sódio e potássio trocáveis foram determinados usando-se a solução Merlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) como solução extratora,

com 5 min de agitação da mistura, seguidos de decantação, durante 16 h; enfim, o fósforo foi determinado por calorimetria; o potássio e sódio por espectrofotometria de chama.

Na determinação de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, a extração de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foi feita com KCl 1 mol L^{-1} , na relação de 5 cm^3 de TFSA para 50 mL de extrator, com 5 min de agitação da mistura, seguida por decantação, pelo tempo de 16 horas. As concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), com adição de cloreto de estrôncio (1600 mg L^{-1} de Sr^{2+} na solução de leitura), para prevenir a interferência do íon fosfato nas determinações. As concentrações de Al^{3+} foram tituladas, através da solução de NaOH diluído ($0,025 \text{ mol L}^{-1}$) como titulante, na presença de azul-de-bromotimol como indicador.

A acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foi baseada na extração da acidez dos solos com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinado volumetricamente com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador. Os micronutrientes (Fe, Cu, Zn e Mn) foram determinados utilizando-se como extrator o DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético), de acordo com Lindsay e Norvell (1978).

A soma das bases (SB) foi determinada analiticamente somando-se os teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio; a capacidade de troca catiônica total ($\text{C.T.C}_{\text{total}}$) obteve-se com a soma das bases e a acidez potencial. A capacidade de troca catiônica efetiva ($\text{C.T.C}_{\text{efetiva}}$) foi obtida somando-se as cargas do solo que estão disponíveis para os processos de troca, ou seja, ocupadas pelos cátions trocáveis, que são Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} .

Na determinação da saturação por bases (V%) considerou-se a proporção ocupada pelos cátions úteis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) em relação à $\text{C.T.C}_{\text{total}}$. O índice de saturação por alumínio (m%) foi determinado dividindo-se o teor de alumínio pela $\text{C.T.C}_{\text{efetiva}}$.

A percentagem de sódio trocável (PST%) foi calculada dividindo-se o teor de sódio trocável pela $\text{C.T.C}_{\text{total}}$ do solo. A condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (CE_{es}) do solo foi determinada com condutivímetro marca Hanna[®], modelo – MI 8820, a 25 °C.

3.3.1.2. Determinação das características físico-hídricas do perfil natural

Da mesma forma que se procedeu para determinar as características químicas do solo, foram coletadas amostras com estrutura deformada ao longo dos horizontes

pedogenéticos identificados. No Laboratório de Física de Solo do Departamento de Agronomia da UFRPE as amostras foram secas ao ar, desagregadas e passadas por peneira com 2,0 mm de abertura de malha para, em seguida, serem feitas as determinações.

Na Tabela 3.2 encontram-se as características físico-hídricas do solo coletado nos horizontes pedogenéticos.

Tabela 3.2. Características físico-hídricas do solo coletado nos horizontes pedogenéticos do perfil natural

Horizontes		Composição granulométrica (g kg ⁻¹)			Argila dispersa em água (g kg ⁻¹)	Grau de flocculação (%)	Silte/Argila (%)
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia total	Silte	Argila			
Ae	0-15	630	120	250	2	98	0,48
BA	15-60	570	130	300	0	100	0,43
Bw ₁	60-102	570	90	340	0	100	0,26
Bw ₂	102-160	390	280	330	0	100	0,85

Horizontes		Densidade (Mg m ⁻³)		Porosidade (%)	Constantes hídricas (%)	
Símbolo	Profundidade (cm)	solo	partículas		Umidade 33 KPa	Umidade 1500 KPa
Ae	0-15	1,19	2,63	54,75	0,167	0,108
BA	15-60	1,15	2,42	52,48	0,160	0,108
Bw ₁	60-102	1,23	2,64	53,41	0,168	0,121
Bw ₂	102-160	1,20	2,64	54,55	0,161	0,115

A análise granulométrica foi realizada pelo método do hidrômetro de Bouyoucos, utilizando-se 50 g de TFSA, 400 mL de água destilada e 25 mL de hexametáfosfato de sódio puro e de hidróxido de sódio para dispersão química, com agitação mecânica em coqueteleira durante 10 minutos. As frações grosseiras (areia fina e grossa) foram separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas, para obtenção dos percentuais. O silte correspondeu ao complemento dos percentuais para 100%. Foi obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original.

A densidade do solo foi determinada em amostras com estrutura deformada de acordo com a Embrapa (1979). A densidade das partículas foi determinada com 20 g de solo dessecada em estufa por 6 horas e depois pesada. A amostra foi transferida para balão aferido de 50 mL, cuja capacidade foi completada com álcool etílico, que serviu como líquido penetrante, para eliminar as bolhas de ar (EMBRAPA, 1979).

A porosidade do solo foi calculada com bases nos valores da densidade das partículas e densidade do solo, a partir da seguinte relação (HILLEL, 1998):

$$\alpha = \left(1 - \frac{d_s}{d_p} \right) 100 \quad (3.1)$$

em que, α é a porosidade do solo (% em volume), d_s a densidade do solo (g cm^{-3}) e d_p a densidade das partículas (g cm^{-3}).

A distinção entre macroporosidade e microporosidade é arbitrária (REICHARDT, 1985). O critério adotado consistiu em assumir a porosidade total como a umidade volumétrica em porcentagem na saturação. A umidade volumétrica em porcentagem, correspondente à tensão de 6 kPa, foi arbitrada como a porcentagem de microporos do solo, sendo o resultado da diferença entre a porosidade total e a porcentagem de microporos do solo, aquele relativo à porcentagem de macroporos (EMBRAPA, 1997; CARVALHO; FIGUEIREDO; COSTA, 1999; GUIMARÃES, 2000; STONE; SILVEIRA, 2001).

Avaliou-se a resistência do solo à penetração vertical utilizando-se um penetrômetro marca Solotest, modelo S-210, com haste de 1,0 m de comprimento, anel dinamométrico com capacidade para 100 kgf e cone tipo B, segundo norma da ASAE-313. Concomitantemente, mediu-se a umidade volumétrica do solo no momento da amostragem com o objetivo de caracterizar o estado hídrico na avaliação da impedância do solo.

Para determinação das curvas de retenção de água no solo foram utilizadas amostras com estrutura indeformada, coletadas em camadas de solo, nas profundidades de 0,0 – 0,20; 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m. Foram coletadas três amostras por camada, utilizando-se aparelho tipo Uhland. Cada anel, com dimensões de 0,050 m de altura e 0,048 m de diâmetro foi subdividido em três segmentos iguais e separáveis para utilização apenas do anel central; desse modo, objetivou-se utilizar a camada de solo que tenha sofrido o mínimo distúrbio possível na sua estrutura durante o procedimento de coleta.

Para elaboração da curva de retenção foram utilizadas as tensões 10; 33; 100; 250, 700 e 1500 kPa. O ajuste das curvas de retenção da água no solo foi feito com base na equação de Genutchten (1980), utilizando-se o software SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1990). A equação considera o potencial mátrico (ψ_m) como variável independente e a umidade volumétrica (θ) como variável dependente:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha |\psi_m|^n)\right]^m} \quad (3.2)$$

em que, θ_r é a umidade volumétrica residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_s umidade volumétrica saturada ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ψ_m potencial mátrico (kPa); α , m , n parâmetros empíricos da equação.

Considerou-se capacidade de campo (CC) a umidade do solo obtida com aplicação da tensão de 10 kPa e, como ponto de murcha permanente (PMP) a obtida com a tensão de 1500 kPa. A água disponível foi determinada pela diferença entre CC e PMP.

3.4. Determinação das características do efluente e da água de irrigação

O experimento foi realizado utilizando-se duas diferentes qualidades de água, sendo um efluente anaeróbico com pós-tratamento em lagoa de polimento e a outra de um reservatório de fonte hídrica com água de abastecimento.

A amostragem seguiu o cronograma de irrigação, sendo as coletas realizadas no momento da aplicação das lâminas de irrigação com efluente e no início do segundo e terceiro plantios.

A coleta das amostras para análises físico-químicas foi feita em torneiras, instaladas, uma na tubulação de recalque do sistema adutor (água de abastecimento) e a outra no emissário, na saída da unidade de bombeamento após o filtro a disco (efluente).

As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas com tampa de plástico, próprias para coleta, com volume total de 1000 mL e posteriormente conservadas a 4 °C, para posterior realização das análises propostas.

Os parâmetros analisados no efluente foram: pH; condutividade elétrica (CEa); nitrogênio total (N_{total}); fósforo total (P_{total}); potássio (K^+); cálcio (Ca^{2+}); magnésio (Mg^{2+}); sódio (Na^{2+}); ferro (Fe); cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e razão de adsorção de sódio (RAS).

Os métodos e técnicas de análises laboratoriais utilizados para a determinação dos parâmetros foram baseadas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

As análises físico-químicas da água de abastecimento também seguiram os mesmos padrões, sendo as coletas feitas apenas no início do primeiro e segundo plantio. Os parâmetros analisados na água de abastecimento foram os mesmos do efluente.

3.5. Instalação da área experimental e condução do experimento

Para realização do experimento montou-se, na área experimental, uma infraestrutura hidráulica para aplicação de esgoto doméstico tratado e água de abastecimento (Figura 3.4). A infra-estrutura para aplicação do esgoto doméstico tratado é composta de um emissário que capta o efluente na saída da lagoa de polimento e o conduz a um tanque com capacidade para 1000 L, dotado de um sistema de bombeamento com registro, manômetro, elemento de filtro e hidrômetro, que possibilitam a sua aplicação através de um sistema de irrigação localizada, tipo xiquexique. A unidade de filtro de disco era de 1” de diâmetro, de 120 mesh, com capacidade de filtragem de até $5,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

A infra-estrutura de aplicação de água de abastecimento é formada por uma linha de derivação que capta a água de abastecimento para um reservatório enterrado com capacidade de 4.500 L. A partir de uma unidade de bombeamento instalada no reservatório a vazão era aduzida até a entrada da área experimental, onde um manômetro e um hidrômetro foram acoplados à adutora antes da linha principal, sendo a aplicação feita em um mesmo sistema de irrigação. A Figura 3.5 mostra os elementos hidráulicos, manômetros, filtro de disco e hidrômetro das infra-estruturas de aplicação com efluente e água de abastecimento, respectivamente.

O sistema de irrigação “xiquexique” foi instalado na área experimental utilizando-se tubos de PVC com diâmetro nominal de 50 mm para as linhas principais e secundárias. As linhas laterais eram de polietileno tratado, flexível, no diâmetro nominal de 0,5 polegadas. As linhas principais e secundárias foram instaladas no centro da área experimental e enterradas a 0,40 m; enquanto que as laterais se situavam sobre o solo, obedecendo ao sentido longitudinal da área, sendo alimentadas por uma extremidade e fechadas na outra.

Os pontos de descarga nas laterais, os emissores, eram orifícios abertos feitos na geratriz superior dos tubos por intermédio de agulha do tipo veterinária com diâmetro médio de 1,6 mm, para funcionar com vazão de $29,0 \text{ L h}^{-1}$ e pressão de 40 kPa.

As linhas laterais traspassavam cada lisímetro em 3 pontos, a 0,10 m do solo, espaçadas de 0,40 m, com 3 emissores por lisímetro e outros 3 fora dos mesmos, para irrigar as plantas no seu entorno; as laterais tinham 7,0 m de comprimento e totalizavam 136 emissores por módulo.

Para dissipar o jato de água na saída dos orifícios foram colocados pedaços de tubo plástico cortados longitudinalmente, com 0,10 m de comprimento, encaixados nos pontos de saída dos orifícios.

As tubulações foram distribuídas espacialmente em toda a área irrigada, formando dois módulos, sendo um para uso exclusivo com efluente (lisímetro vermelho) e outro com água de abastecimento (lisímetro azul), formado de seis linhas laterais cada, perfazendo, no total, 12 linhas laterais de irrigação.

Instalaram-se quatro poços para servirem de plataforma de coleta dos excedentes de drenagem dos lisímetros. Os poços de coleta, em anéis de concreto simples, com dimensões de 1,0 m de altura e 0,80 m de diâmetro, foram dispostos de modo que cada poço fosse conectado a seis lisímetros, através de tubos plásticos com 24 mm de diâmetro, em cuja extremidade foram instalados registros plásticos, formando assim a plataforma de coleta dos percolados dos lisímetros.

O sistema de drenagem de cada lisímetro foi constituído de: (a) nivelamento do fundo das caixas com solo-cimento na proporção de 6:1, espessura de 0,03 m e declividade de 0,10 %; (b) saída de excessos, localizada no fundo das caixas; (c) camada de brita nº 19, com 0,10 m de espessura, manta sintética e solo; e (d) tubulação com 20 mm de diâmetro, interligando a saída de excessos à plataforma de coleta e medição do efluente (Figura 3.6).



Figura 3.4. Infra-estrutura hidráulica para aplicação de efluente e água de abastecimento



Figura 3.5. Elementos hidráulicos do sistema de distribuição

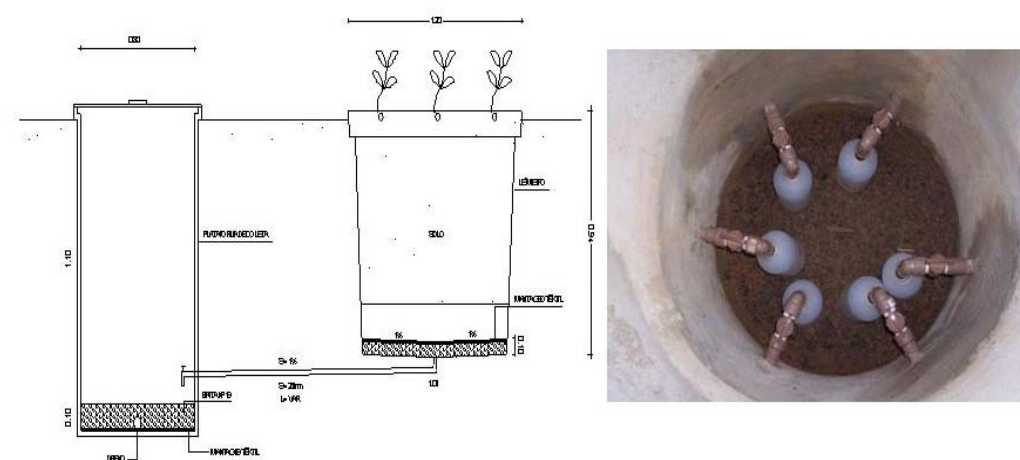


Figura 3.6. Sistema de drenagem dos lisímetros e poço de coleta

a. Primeiro plantio

Após o período chuvoso (abril a setembro de 2005) foram feitas amostragens de solo nos lisímetros, para determinação de suas características físico-hídricas e químicas, que representaram à condição inicial (V_0). As coletas foram realizadas com o auxílio de um trado holandês, nas faixas de profundidade de 0,0 – 0,20; 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60m. Nos laboratórios de Física e de Fertilidade do Solo, ambos do Departamento de Agronomia da UFRPE, foram determinadas as características físico-hídricas (Tabela 3.3) e físico-química do solo (Tabela 3.4).

Tabela 3.3 – Características físico-hídricas das condições iniciais do solo nos lisímetros.

Profundidade (m)	Distribuição da Fração Areia **								Classificação Textural
	AMG	AG	AM	AF	AMF	Areia	Silte	Argila	
	-----g kg ⁻¹ -----								
0,0 – 0,2	32,61	119,13	308,08	227,70	36,62	724,14	146,71	96,90	Franco Arenoso
0,2 – 0,4	62,30	187,41	301,66	233,28	47,24	731,88	102,82	130,56	Franco Arenoso
0,4 – 0,6	48,32	166,24	266,18	222,22	52,49	755,44	111,59	132,98	Franco Arenoso
Profundidade (m)	Dens. do solo	Dens. das partículas	Poros. Total	Retenção de água no solo (Kpa)					
	-----Mg m ⁻³ -----		%	10	33	100	250	700	1500
	-----cm ³ cm ⁻³ -----								
0,0 – 0,2	1,26	2,68	54,75	0,143	0,114	0,092	0,084	0,072	0,070
0,2 – 0,4	1,30	2,66	53,41	0,134	0,121	0,091	0,081	0,086	0,072
0,4 – 0,6	1,36	2,67	54,55	0,130	0,101	0,089	0,078	0,081	0,067

** AMG – Areia Muito Grossa (2 a 1 mm); AG – Areia Grossa (1 a 0,5 mm); Areia Média – (0,5 a 0,25 mm); Área Fina – (0,25 a 0,1 mm); Areia Muito Fina – (0,1 a 0,05 mm).

* Para se obter dados em percentagem, dividir por 10.

O primeiro plantio teve início em 04/10/2005, com colheita realizada em 18/12/2005. O experimento constou de 8 tratamentos, como mostra a Tabela 3.5. O plantio foi realizado manualmente, com espaçamento de 0,40 m x 0,20 m, com 3 sementes por cova. As recomendações de fertilizantes foram feitas, considerando o nível de tecnologia NT₃, segundo CHAGAS et al. (1999), correspondente à produtividade esperada de 1.800 a 2.500 kg ha⁻¹.

Foi incorporado em cada lisímetro, na profundidade de 0,20 m, o equivalente a 1,30 kg (5,8 t ha⁻¹) de calcário dolomítico (28% de CaO, 13% de MgO e PRNT de 56%), 90 dias antes do plantio (16/01/05) para elevar os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis, segundo a Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco (1998).

Adubou-se na dosagem de 328 kg ha⁻¹ da mistura NPK nos tratamentos T2 – (E+ NPK) e T6 – (A+ NPK) e 292 kg ha⁻¹ da mistura PK nos tratamentos T4 – (E+I+PK) e T8 – (A+I+PK), respectivamente, junto com a semeadura. Aos 21 DAE, 25 de outubro, aplicou-se em cobertura 30 kg ha⁻¹ de N, de acordo com a Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco (1998). Foram aplicados inoculantes da estirpe específica *Bradyrhizobium* NFB 700 numa dosagem de 10 ml L⁻¹, nos tratamentos T3 (E+I), T4 – (E+ I+ PK), T7 – (A+I) e T8 – (A+I+ PK).

O controle das infestações por ervas daninhas foi realizado com capina manual aos 30 DAE (31 de outubro) e aos 50 DAE (21 de novembro).

Tabela 3.4 – Características físico - química das condições iniciais do solo nos lisímetros

Parâmetro	Unidades	Profundidade (m)		
		0,0 – 0,20	0,20 – 0,40	0,40 – 0,60
pH	Água (1:2,5)	6,00	5,90	5,60
M.O. ⁽¹⁾	g.kg ⁻¹	11,70	8,70	5,60
P	mg.dm ⁻³	4,30	2,60	1,80
Na ⁺	cmolc.dm ³	0,03	0,09	0,12
K ⁺²	cmolc.dm ³	0,62	1,12	0,59
Ca ⁺²	cmolc.dm ³	1,72	1,30	1,20
Mg ⁺²	cmolc.dm ³	2,89	2,13	0,75
Al ⁺³	cmolc.dm ³	0,50	0,20	0,10
H ⁺ +Al ⁺³	cmolc dm ³	1,35	2,01	4,23
Fe	mg.dm ⁻³	16,40	14,67	7,43
Cu	mg.dm ⁻³	0,50	0,30	0,10
Zn	mg.dm ⁻³	1,00	3,30	2,30
Mn	mg.dm ⁻³	4,30	1,40	1,20
SB ⁽²⁾	cmolc dm ³	5,26	4,64	2,66
C.T.C _{total} ⁽³⁾	cmolc.dm ³	6,61	6,65	6,89
C.T.C _{efetiva} ⁽⁴⁾	cmolc dm ³	5,76	4,84	2,76
V ⁽⁵⁾	%	79,12	68,42	36,87
m ⁽⁶⁾	%	8,68	4,13	3,62
PST ⁽⁷⁾	%	0,45	1,35	1,74
RAS ⁽⁸⁾	(mmol L ⁻¹) ^{-1/2}	0,02	0,07	0,12
CE	dS m ⁻¹	0,14	0,12	0,11

⁽¹⁾ Matéria orgânica; ⁽²⁾ soma de bases $\Rightarrow SB = Ca + Mg + K + Na$; ⁽³⁾ capacidade de troca de cátions a pH 7 $\Rightarrow CTC = SB + H + Al$; ⁽⁴⁾ capacidade de troca de cátions efetiva $\Rightarrow CTCe = SB + Al$; ⁽⁵⁾ saturação por bases $\Rightarrow V\% = SB * 100 / CTC$; ⁽⁶⁾ saturação por Al $\Rightarrow m\% = Al * 100 / CTC$; ⁽⁷⁾ percentual de sódio trocável $\Rightarrow PST = Na * 100 / CTC$; ⁽⁸⁾ Razão de Adsorção de Sódio $\Rightarrow RAS = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$; CEe – condutividade elétrica do estrato de saturação

Tabela 3.5. Tipos de tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Tipo de água e manejo do solo
T1	Efluente (E)
T2	Efluente + Nitrogênio, Fósforo e Potássio (E + NPK)
T3	Efluente + Inoculante (E + I)
T4	Efluente + Inoculante + Fósforo e Potássio (E + I + PK)
T5	Água de abastecimento (A)
T6	Água de abastecimento + Nitrogênio, Fósforo e Potássio (A + NPK)
T7	Água de abastecimento + Inoculante (A + I)
T8	Água de abastecimento + Inoculante + Fósforo e Potássio (A + I + PK)

b. Segundo plantio

O segundo plantio teve início em 24/01/2006, com colheita realizada em 10/04/2006. Esse experimento constou do mesmo número e condições de tratamentos que no 1^o plantio, inclusive a aplicação de inoculante. A adubação de cobertura foi realizada aos 21 DAE. O controle das infestações por ervas daninhas obedeceu ao mesmo critério do 1^o plantio, com a capina manual sendo realizada em 23/02/2006 e em 15/03/2006, correspondendo aos 30 DAE e 50 DAE, respectivamente.

O período de monitoramento das alterações dos atributos físicos e químicos do solo foi realizado no tempo 1 - T_{p1}: aos 80 dias da adoção dos manejos com efluente e água de abastecimento (final do 1^o plantio); e no tempo 2 – T_{p2}: após 160 dias da adoção dos manejos com efluente e água de abastecimento (final do 2^o plantio). O experimento foi iniciado em outubro de 2005 e concluído em abril de 2006.

3.6. Dados climáticos durante os experimentos

Os dados climáticos de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e insolação, referente ao período dos experimentos foram fornecidos pela estação meteorológica do Curado (latitude: 8^o 03' S; longitude: 34^o 57' W e altitude: 10 m) no Recife, localizada a cerca de 3,0 km de distância da área experimental (Tabela 3.6); os dados de precipitação e de evapotranspiração de referência foram obtidos através de pluviômetro Ville de Paris e tanque evaporimétrico Classe A, instalados na área experimental.

Tabela 3.6. Valores médios de temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade do vento (U₂), precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET₀) registrados durante os períodos do experimento na estação meteorológica do Curado em Recife

Períodos	Meses	T (°C)	UR (%)	U ₂ (m/s)	ET ₀ (mm)	P (mm)
16/04/05 a 01/07/05	Abril	28,3	86,6	0,0	53,2	5,4
	Mai	26,0	91,0	0,0	100	19,3
	Junho	26,0	61,6	1,0	88	31,9
04/10/05 a 18/12/05	Outubro	27,0	81,5	1,5	162	1,7
	Novembro	27,5	75,4	2,0	175	3,2
	Dezembro	27,3	82,5	1,9	121	0,7
24/01/06 a 10/04/06	Janeiro	28,7	79,9	1,7	50,6	0,0
	Fevereiro	28,3	80,3	1,8	208,2	1,1
	Março	28,1	89,1	1,7	152,4	5,8
	Abril	28,2	85,1	1,4	45,6	2,1

3.7. Cultura

Para o presente estudo, utilizou-se como planta resposta à cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade IPA – 206, proveniente do cruzamento entre os genótipos 371 e CNCx 11-2E, e que apresenta hábito de crescimento indeterminado, do tipo semi-ereto, ciclo médio de 38 dias da sementeira ao início da floração e de 70 a 80 dias

da sementeira à maturação. Possui flores de cor violeta e vagens de coloração verde-clara, passando a palha quando secas. As sementes possuem coloração mulata, com o hilo branco e o halo alaranjado.

O feijão caupi é uma leguminosa de origem africana, adaptada às diferentes condições de clima e de solo brasileiros devido às características de rusticidade e precocidade. A planta é considerada uma cultura tropical tolerante às altas temperaturas, característica esta que permite o seu cultivo, com bons resultados, nas regiões Norte e semi-árida do Nordeste, constituindo um alimento básico da população, sob as formas de grãos secos e verdes (BRITO et al. 1990).

Os motivos que determinaram a escolha dessa cultivar têm a ver com suas características de rusticidade, precocidade, e resistência ao Potyvirus, além de ser a variedade predominante no Estado de Pernambuco.

3.7.1 Produção final e suas componentes

A produção final e seus componentes foram analisados a partir de unidade amostral com área útil de 0,64 m²/lisímetro. Parcelas com 9,0 m² foram usadas por outros autores, para análise de produção final do feijoeiro (Medeiros et al. 2001). Os componentes determinados foram: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso seco de 1000 sementes, matéria seca total e produção de grãos.

3.8. Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado com base no balanço hídrico diário do solo, método que consiste em contabilizar, a água que entra (a irrigação e/ou a chuva) e a água que sai do solo (a evapotranspiração). Desse modo, permite-se adequar a irrigação às diferentes fases do desenvolvimento vegetativo da cultura, bem como à variação da demanda evapotranspirométrica ao longo do ciclo da cultura. Portanto, a irrigação deve ser realizada em todo o momento em que a disponibilidade de água no solo estiver reduzida a um valor mínimo que não prejudique o desempenho da cultura. Vários estudos (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 1986; ANDRADE JÚNIOR, 1992. BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2005), ressaltam que o método de balanço da água no solo tem

se mostrado mais eficiente para programar as irrigações, ou seja, para definir quando irrigar, obedecendo a seguinte relação:

$$CRA_i = CRA_{i-1} + ETr_i - P_{i-1} \quad (3.4)$$

em que CRA_i é a lâmina de água consumida até o dia i (mm); CRA_{i-1} lâmina de água consumida até o dia anterior $i-1$ (mm); ETr_i a estimativa da evapotranspiração real no dia i (mm); e P a precipitação do dia $i-1$ (mm). 0,

A evapotranspiração da cultura (ET_0) foi estimada usando-se o método do tanque Classe A, que possibilita a obtenção de resultados satisfatórios, pela seguinte expressão:

$$ET_0 = ECA \times K_p \quad (3.5)$$

em que ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm); ECA a evaporação diária do tanque Classe A (mm); K_p o coeficiente do tanque (adimensional), segundo Doorenbos e Pruitt (1977).

$$ET_r = ET_0 \times K_c \quad (3.6)$$

em que ET_r é a evapotranspiração de cultura (mm); ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm); e K_c o coeficiente de cultura (adimensional).

Devido às condições de exposição do tanque Classe A em relação ao meio circundante, utilizou-se o valor de 0,75 como coeficiente do tanque (K_p) para efetuar um ajuste das leituras da evaporação (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

A Tabela 3.7 apresenta os valores do coeficiente de cultivo para o feijão caupi em diferentes fases do ciclo vegetativo utilizado na área experimental, determinados de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977).

Tabela 3.7. Valores do coeficiente de cultivo (K_c) para o feijão caupi em diferentes fases, estádios e períodos dos ciclos vegetativos utilizados na área experimental em Recife (PE)

Fases do ciclo vegetativo (dias)	Estádios (*)	K_c (04/10/05 a 18/12/05)	K_c (24/01/06 a 10/04/06)
0 - 15	V0 - V2	0,60	0,62
16 - 32	V3 - V4	0,78	0,80
33 - 43	R5	1,02	1,05
44 - 63	R6 - R7	1,05	1,07
64 - 68	R8	0,60	0,63
69 - 78	R9	0,30	0,32

(*) Fase vegetativa (V0 a V4) e reprodutiva (R6 a R9)

Na determinação da capacidade total (CTA) de água no solo foram considerados: as quantidades de água retida pelo solo após o excesso ser drenado livremente, o limite mínimo do conteúdo de água no solo, a densidade do solo e a profundidade efetiva do

sistema radicular ao longo do ciclo vegetativo; para a capacidade real de água no solo (CRA) utilizou-se o valor máximo de 0,5 para o fator de depleção de água no solo (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

A lâmina de irrigação total necessária, aplicada ao longo do ciclo, levou em consideração a CTA e a lâmina atual de água no solo (LAA), a partir do coeficiente de umidade do solo (K_s) (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2005).

A cada aplicação da lâmina de irrigação era coletada uma amostra do efluente que posteriormente era levada para o laboratório onde se determinava o pH, CE e as concentrações de P, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{+2} , Zn, Cu, Fe e Mn. Com este monitoramento, foi possível estimar quantitativamente o aporte desses nutrientes ao solo.

Semanalmente, realizavam-se práticas preventivas para reduzir o risco de entupimento do sistema de aplicação (emissores), que consistiam na abertura dos finais das linhas para remoção dos sólidos que se acumulavam e na lavagem do filtro a disco.

O monitoramento da frente de molhamento e da variação do potencial matricial de água no solo durante o ciclo de cultivo do feijão foi realizado em dois sítios tensiométricos instalados em lisímetros selecionados, nas profundidades de 0,10 m, 0,30 m e 0,50 m. As leituras de tensão da água no solo foram efetuadas diariamente, anotando-se os valores da altura da coluna de mercúrio em escala milimétrica.

3.9. Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em função do alto controle sobre as condições ambientais dos lisímetros que eram semelhantes variando apenas os tratamentos considerados.

Foram implantadas 24 parcelas (lisímetros) com 30 plantas em cada, totalizando áreas úteis de $0,62 \text{ m}^2$ por lisímetro.

Nos casos em que os dados referentes aos atributos físico – químico e físico – hídrico do solo foram analisados para cada tempo ($Tp_1 - 1^0$ plantio (04/10 a 18/12/2005) e $Tp_2 - 2^0$ plantio (24/01 a 10/04/2006), nas faixas de profundidade de 0,0 – 0,20m; 0,20 – 0,40m e 0,40 – 0,60 m, em função do tipo de manejo adotado (ME – manejo com efluente e MA – manejo com água), o delineamento inteiramente casualizado incluiu o componente de arranjo fatorial, cujo modelo matemático foi o seguinte:

Os dados referentes aos atributos físico – químico e físico – hídrico do solo foram analisados para cada tempo (T_{p1} e T_{p2}), nas faixas de profundidade de 0 – 0,20m; 0,20 – 0,40m e 0,40 – 0,60 m, em função do tipo de manejo adotado (ME e MC), segundo o seguinte modelo matemático (SILVA e SILVA, 1999).

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \theta_k + \tau\beta_{ij} + \tau\theta_{ik} + \beta\theta_{jk} + \tau\beta\theta_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (3.6)$$

Em que:

Y_{ijkl} é a variável resposta; μ a média geral; τ_i efeito do tipo de água i ; β_j efeito da época de plantio j ; θ_k efeito da faixa de profundidade k ; $\tau\beta_{ij}$ efeito do tipo de água i e da época de plantio j ; $\tau\theta_{ik}$ efeito do tipo de água i e da faixa de profundidade k ; $\beta\theta_{jk}$ efeito da época de plantio k e do efeito da faixa de profundidade j ; $\tau\beta\theta_{ijk}$ efeito do tipo de água i , da época de plantio j e da faixa de profundidade k , e ε_{ijkl} erro aleatório.

Nos casos em que foram considerados apenas os tratamentos principais (água e efluente), para análise das seguintes variáveis resposta: desenvolvimento da cultura, produção e suas componentes, o modelo matemático foi o seguinte (SILVA e SILVA, 1999).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (3.7)$$

Em que:

Y_{ij} é a variável resposta; μ a média geral; τ_i efeito do tipo de água i e ε_{ij} erro aleatório.

Com o intuito de avaliar a variabilidade dos dados se realizou, inicialmente, uma estatística descritiva dos atributos físico-químico (pH, MO, P, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{+2} , Zn, Cu, Fe, Mn, PST, RAS e CEE) com a determinação da média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) para cada atributo monitorado do solo em cada tempo e profundidade. Para avaliar as interações significativas foi utilizado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software Assistat – versão 7.4 beta (SILVA e AZEVEDO, 2006)

As variáveis referentes aos atributos físico-hídrico do solo analisadas, estatisticamente, foram a densidade do solo, densidade das partículas, porosidade total, resistência do solo à penetração e a umidade volumétrica. Na análise da estatística

descritiva, determinaram-se as medidas de tendência central, posição e dispersão (TRIOLA, 1999) de cada variável por profundidade através da média aritmética, desvio-padrão e coeficiente de variação.

A análise de variância (ANOVA) para cada atributo monitorado do solo em cada tempo foi realizada e nas interações significativas foi utilizado o teste de Tukey no mesmo nível de significância, fazendo-se uso do referido software.

Os valores das médias das produções e suas componentes (vagem por planta, grãos por vagem, peso de 1000 sementes, matéria seca total e produção) foram avaliadas ao final de cada plantio, sendo as interações significativas avaliadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qualidade do efluente secundário e da água de irrigação

A Tabela 4.1 apresenta as características físico-química da água de abastecimento e do efluente secundário utilizados no experimento.

O pH de 7,0 a 7,3 encontrado no efluente está fora da faixa de 7,8 a 8,1, normalmente verificada para efluentes (Feigin et al. 1991). As concentrações médias de nutrientes N (40,7 – 34,2 mg L⁻¹) e K (14,9 – 14,5 mg L⁻¹) no efluente estiveram dentro das variações esperadas (10 – 50; 10 – 40 mg L⁻¹), respectivamente, o que não ocorreu para o P (5,5 – 4,1 mg L⁻¹), que se manteve fora da variação esperada (6 – 17 mg L⁻¹).

As concentrações em mg L⁻¹ dos cátions Ca⁺² e Na⁺² estiveram dentro das variações esperadas (10 – 40; 20 – 120; e 50 – 250 mg L⁻¹, respectivamente), não ocorrendo o mesmo para o Mg⁺² (10 – 50 mg L⁻¹), que se manteve fora da faixa de variação. Os resultados de RAS do efluente permaneceram abaixo em, no mínimo, 2 unidades, do limite inferior (4,5) normalmente encontrado para efluentes.

Os resultados das análises químicas de água e de efluente foram comparados às diretrizes para se avaliar a qualidade da água de irrigação, sobretudo, quanto aos efeitos, a longo prazo, da qualidade da água sobre a produção das culturas, nas condições de solo e manejo agrícola. Na interpretação das diretrizes, considerou-se o problema potencial: salinidade, infiltração de água no solo, toxicidade de íons específicos e efeitos diversos. A Tabela 4.2 apresenta os graus de restrição para o uso da água e do efluente secundário para irrigação de culturas, conforme Ayers e Westcot (1999).

Tabela 4.1. Resultados das análises físico-químicas da água e do efluente de esgoto utilizados para irrigação do feijão caupi nos períodos de outubro a dezembro de 2005 e janeiro a abril de 2006

Constituintes	Meses										
	1 ^o plantio					2 ^o plantio					
	Out.	Nov.	Dez.	Média	CV (%)	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Média	CV (%)
Água											
pH	6,8	7,2	7,0	7,2	44,5	7,0	6,9	7,0	7,2	7,0	20,1
CEa	0,124	0,262	0,537	0,308	29,6	0,632	0,567	0,457	0,312	0,492	37,0
N (mg L ⁻¹)	(*)	(*)	(*)	(*)	(-)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(-)
P (mg L ⁻¹)	0,37	0,16	0,21	0,25	50,2	0,40	0,29	0,28	0,26	0,31	41,1
K (mg L ⁻¹)	9,31	6,22	5,41	7,01	81,7	5,61	8,42	7,30	3,21	6,13	82,4
Na (meq L ⁻¹)	2,24	3,30	1,09	2,20	50,18	2,14	2,13	2,12	0,15	1,64	60,65
Ca (meq L ⁻¹)	6,65	9,9	7,1	7,9	31,1	2,47	2,46	2,44	0,17	1,88	1,14
Mg (meq L ⁻¹)	0,24	0,39	0,03	0,22	87,71	0,22	0,24	0,004	0,08	0,14	82,43
Zn (mg L ⁻¹)	0,17	0,09	0,12	0,13	50,0	0,13	0,16	0,14	0,12	0,14	33,9
Cu (mg L ⁻¹)	0,20	0,08	0,13	0,14	8,1	0,14	0,09	0,10	0,24	0,14	1,8
Fe (mg L ⁻¹)	0,69	0,42	0,15	0,42	68,3	0,69	0,42	0,27	0,18	0,39	28,5
Mn (mg L ⁻¹)	0,12	0,08	0,04	0,12	13,9	0,10	0,09	0,08	0,04	0,08	20,7
RAS (mmol L ⁻¹)	0,98	0,93	0,70	0,87	17,16	0,20	0,20	0,22	0,15	0,19	15,97
Efluente											
pH	7,4	7,1	7,3	7,3	2,5	7,3	7,3	7,1	7,4	7,3	1,8
CEa	1,20	1,22	1,23	1,23	4,0	1,09	0,94	1,07	1,12	1,06	8,3
N (mg L ⁻¹)	33,5	45,6	43,0	40,7	15,7	39,6	38,7	27,5	30,9	34,2	16,8
P (mg L ⁻¹)	4,7	5,4	6,3	5,5	14,5	4,9	5,2	3,3	3,0	4,1	28,9
K (mg L ⁻¹)	14,5	13,6	16,6	14,9	10,5	16,7	16,6	12,6	12,2	14,5	17,1
Na (meq L ⁻¹)	4,12	3,35	4,51	3,99	14,81	4,75	3,90	3,34	3,99	3,99	8,82
Ca (meq L ⁻¹)	5,77	5,08	4,29	5,05	14,7	3,65	4,12	4,35	4,04	4,04	4,03
Mg (meq L ⁻¹)	3,37	5,89	5,83	5,03	28,6	4,03	5,51	5,62	5,05	5,05	5,95
Zn (mg L ⁻¹)	0,036	0,055	0,080	0,06	38,7	0,090	0,110	0,035	0,035	0,07	64,2
Cu (mg L ⁻¹)	0,008	0,016	0,008	0,01	45,9	0,004	0,005	0,004	0,002	0,003	32,9
Fe (mg L ⁻¹)	0,209	0,307	0,310	0,27	20,9	0,257	0,195	0,019	0,032	0,13	77,9
Mn (mg L ⁻¹)	0,068	0,091	0,080	0,08	14,6	0,064	0,063	0,085	0,023	0,06	53,6
RAS (mmol L ⁻¹)	1,95	1,43	2,01	1,794	17,8	2,02	2,32	1,67	1,53	2,00	21,1

(*) não detectável; (-) dado não existente; CV – coeficiente de variação

Tabela 4.2. Graus de restrição para o uso da água e do efluente secundário para irrigação conforme Ayers e Westcot (1999)

Parâmetros		Graus de restrição para uso em irrigação						
		Out.	1 ^o plantio			2 ^o plantio		
			Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.
Salinidade								
CEa	Água	NR ⁽¹⁾	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Efluente	L-M	L-M	L-M	L-M ⁽²⁾	L-M	L-M	L-M
Infiltração de água no solo								
RAS (mmol L ⁻¹) e CE	Água	S ⁽³⁾	L-M	L-M	L-M	L-M	L-M	L-M
	Efluente	S	S	S	NR	NR	NR	NR
Toxicidade de ions específicos								
Na (mg L ⁻¹)	Água	NR	L-M	NR	NR	NR	NR	NR
	Efluente	L-M	L-M	L-M	L-M	L-M	L-M	L-M
Efeitos diversos								
pH	Água	N	N	N	N ⁽⁴⁾	N	N	N
	Efluente	N	N	N	N	N	N	N

⁽¹⁾ Nenhuma restrição (NR) (CEa < 0,7 dS/m; efluente →RAS: 0,0 a 3,0 e CE > 0,7; Na < 3,0)

⁽²⁾ grau de restrição “ligeiro a moderado” (L-M) (CEa: 0,7 a 3,0; Na: 3,0 a 9,0; água →RAS: 0,0 a 3,0 e CE: 0,7 a 0,2)

⁽³⁾ grau de restrição “severo” (S), (efluente →RAS: 0,0 a 3,0 e CE < 0,2; água →RAS: 0,0 a 3,0 e CE < 0,2)

⁽⁴⁾ valores dentro da faixa de variação normal (N)

Considerando o possível problema de salinização do solo, a água não apresentou “nenhuma restrição” de uso durante os meses referentes ao primeiro e segundo plantio. No entanto, o efluente apresentou restrição de “ligeira a moderada” durante os mesmos períodos. Para o feijão caupi, a salinidade da água ou do efluente não oferece risco à produtividade, uma vez que, para o rendimento máximo (100%) a condutividade elétrica da água não deveria ultrapassar 3,3 dS m⁻¹; neste sentido, o feijão caupi é considerado tolerante à salinidade (MASS, 1984).

No que se refere aos riscos de redução da infiltração de água no solo, tanto a água como o efluente apresentou grau de restrição “severo” para uso no mês de outubro. Ainda nos meses referentes ao 1^o plantio, a água apresentou grau de restrição de “ligeira a moderada”, enquanto o efluente continuou com a mesma restrição.

Para o uso no período do segundo plantio (janeiro a abril), a água e o efluente apresentaram grau de restrição diferenciado, “ligeiro a moderado”, e “nenhuma restrição”, respectivamente. Considerando somente os dados de RAS, valores baixos foram obtidos para a água (0,15 a 0,22; média = 0,19) e para o efluente (1,53 - 2,32; média = 2,00). Isso é explicado ao se observar as baixas concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ (na água e no efluente).

Grau de restrição de “ligeira a moderada” e “nenhuma” foi atribuído para água e efluente quanto à toxicidade específica. Com referência ao Na^{2+} , verificou-se que a concentração média deste elemento foi pouco superior no efluente, nas duas épocas de plantio.

Os valores de pH (6,8 a 7,2) e (6,9 a 7,2) para água, (7,1 a 7,4) e (7,1 a 7,3) para efluente, usados para irrigação no segundo e terceiro plantio, respectivamente, mostram que os mesmos encontram-se na faixa normal de pH (6,5 – 8,4) segundo as diretrizes. Com base nos graus de restrição estabelecidos, todos os valores de pH para a água e o efluente permaneceram na faixa de variação considerada normal para águas de irrigação.

No que se refere à concentração de oligoelementos na água e no efluente, que podem causar fitotoxicidade às plantas, os valores estão abaixo dos de concentração máxima, segundo mostra a Tabela 2.2. Medeiros (2005) verificou que a concentração de Fe e Cu em água residuária de origem doméstica, utilizada na irrigação localizada por gotejamento em cafeeiro, foi objeto de restrições, por apresentar concentração maior que 5,0 e 0,20 mg L^{-1} , respectivamente.

4.2 Manejo, controle da irrigação e aporte de nutrientes

As Figuras (4.1) a; b; c, e (4.2) a; b; c apresentam as precipitações, lâminas de irrigação, variação de tensão de água no solo e balanço hídrico do solo nas profundidades 0,10; 0,30 e 0,50m no primeiro plantio, cujas medidas foram realizadas em lisímetros específicos correspondentes aos tratamentos T5 (água de abastecimento) e T1 (efluente). O manejo adotado visou a aplicação controlada, a fim de minimizar a perda de água por drenagem profunda.

No primeiro plantio, as precipitações (Figuras 4.1 a e 4.2 a) ocorreram de forma distribuída, com destaque para o evento com valor máximo de 83,1 mm (27/11/05). Durante o ciclo, foram realizadas oito irrigações, acumulando uma lâmina de 338,5mm para todos os tratamentos. As lâminas foram calculadas com base na demanda evaporativa, no potencial matricial do solo e na intensidade média de aplicação da água oferecida pelo sistema.

A tensão média de água no solo (Figuras 4.1 b e 4.2 b) na profundidade inicial utilizada no manejo de irrigação (0,10 m) foi de 1,1 kPa para o lisímetro T5 e 0,7 kPa para o T1, no período de 4 a 76 DAE (7 de outubro a 17 de dezembro de 2005).

A maiores tensões médias, observadas na profundidade de 0,15 m, para um intervalo de quatro dias, foram de 8,9 e 6,4 kPa, para os lisímetros T5 e T1, respectivamente, no período de 0 a 27 DAE (4 a 27 de outubro), durante a fase de desenvolvimento da cultura. O segundo valor mais elevado foi de 5,4 e 4,4 kPa, ocorrido no período de 32 a 43 DAE (5 a 11 de novembro), para os respectivos tratamentos, coincidindo com o início do florescimento.

Nas profundidades de 0,30 e 0,50 m, foram observados os valores médios de 4,2 e 4,3 kPa; 4,2 e 4,4 kPa, respectivamente, para os lisímetros T5 e T1. A época de ocorrência dos maiores valores de tensão de água no solo, nas referidas profundidades, coincidiu com as etapas de desenvolvimento vegetativo, prefloração e formação das vagens para os mesmos lisímetros, ou seja, aos 10, 43 e 63 DAE.

O lisímetro T5 apresentou os maiores valores de tensão de água no solo de 8,9 e 9,2 kPa nas profundidades de 0,30 e 0,50 m, respectivamente, enquanto o tratamento T1 alcançou, para essas mesmas profundidades, o máximo de 8,1 e 8,4 kPa.

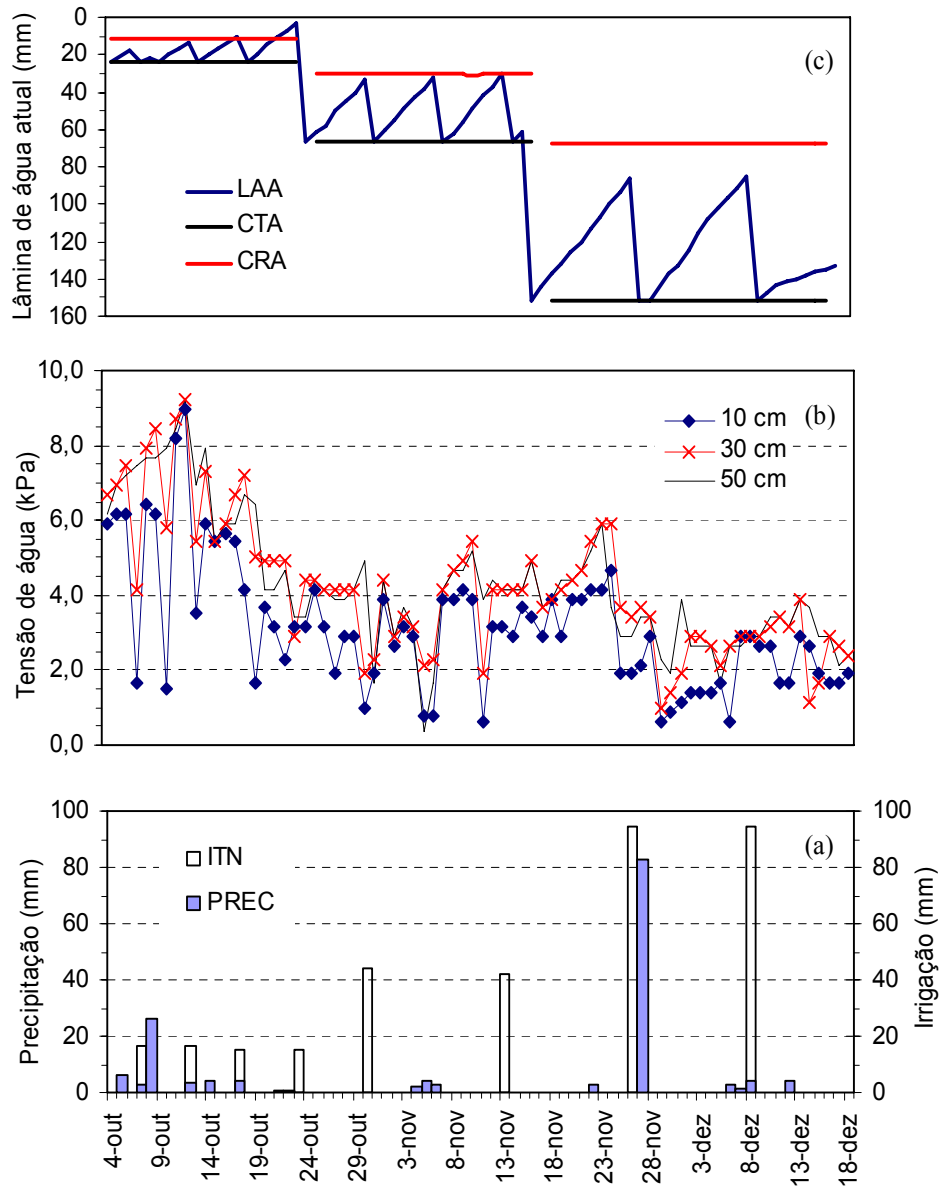


Figura 4.1. Precipitação (PREC) Irrigação total necessária (ITN), lâmina atual de água no solo (LAA), capacidade total (CTA) e real (CRA) de água no solo, variação da tensão da água no solo e balanço da água no solo para a cultura do feijão caupi irrigado, medidos em lisímetro correspondente ao tratamento com água – 1^o plantio.

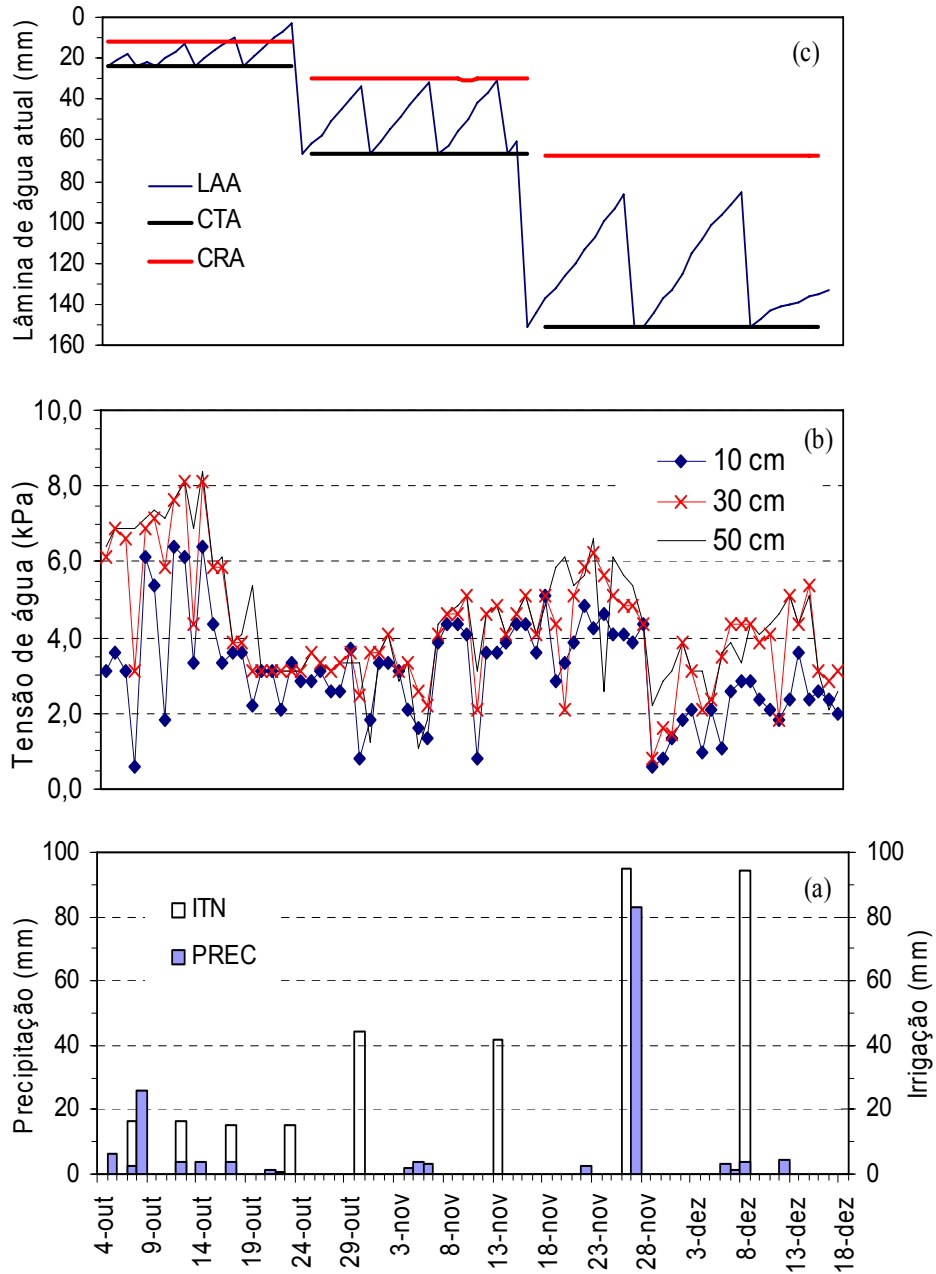


Figura 4.2. Precipitação (PREC) Irrigação total necessária (ITN), lâmina atual de água no solo (LAA), capacidade total (CTA) e real (CRA) de água no solo, variação da tensão da água no solo e balanço da água no solo para a cultura do feijão caupi irrigado, medidos em lisímetro correspondente ao tratamento com água – 1^o plantio.

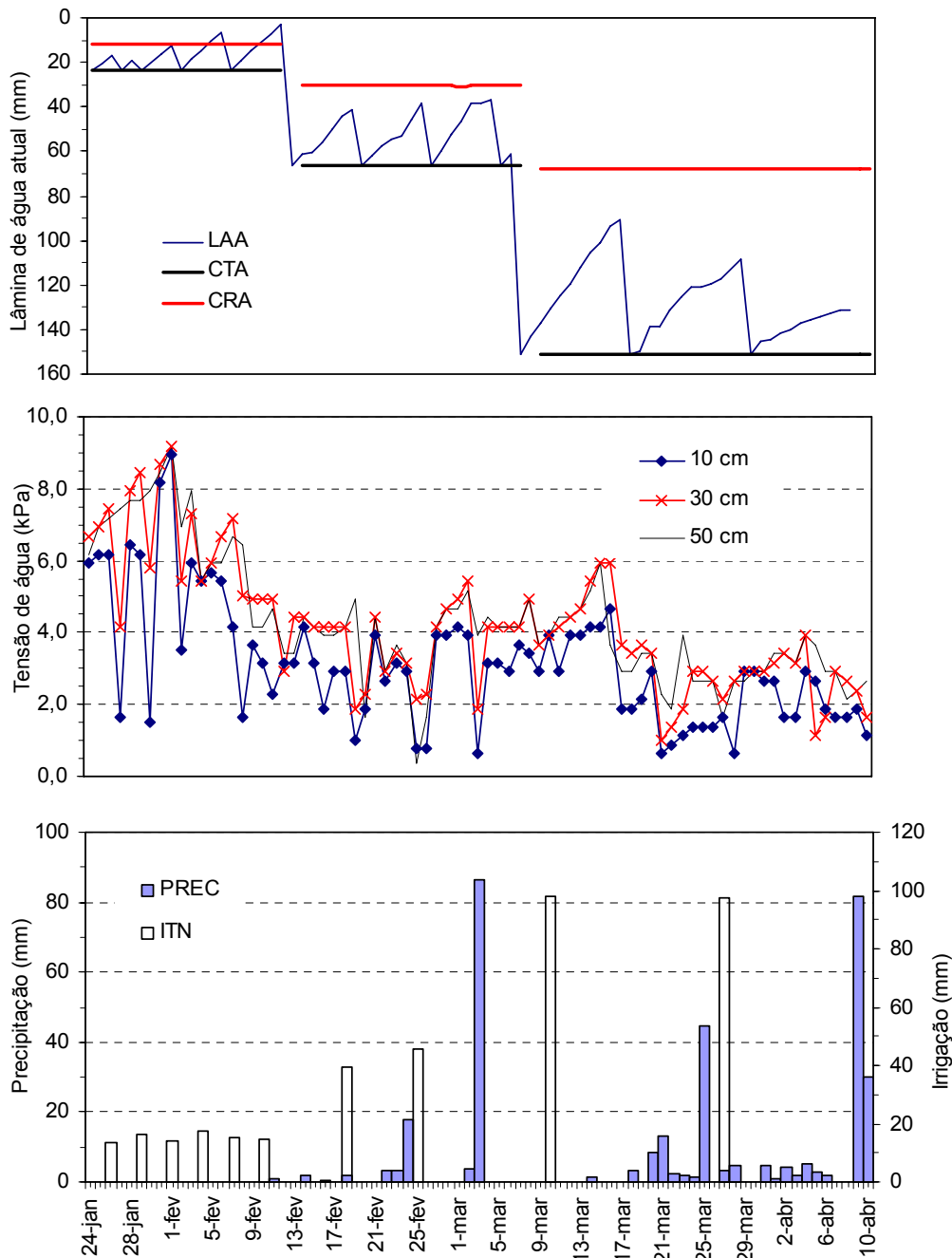


Figura 4.3. Precipitação (PREC) Irrigação total necessária (ITN), lâmina atual de água no solo (LAA), capacidade total (CTA) e real (CRA) de água no solo, variação da tensão da água no solo e balanço da água no solo para a cultura do feijão caupi irrigado, medidos em lisímetro correspondente ao tratamento com água – 2^o plantio.

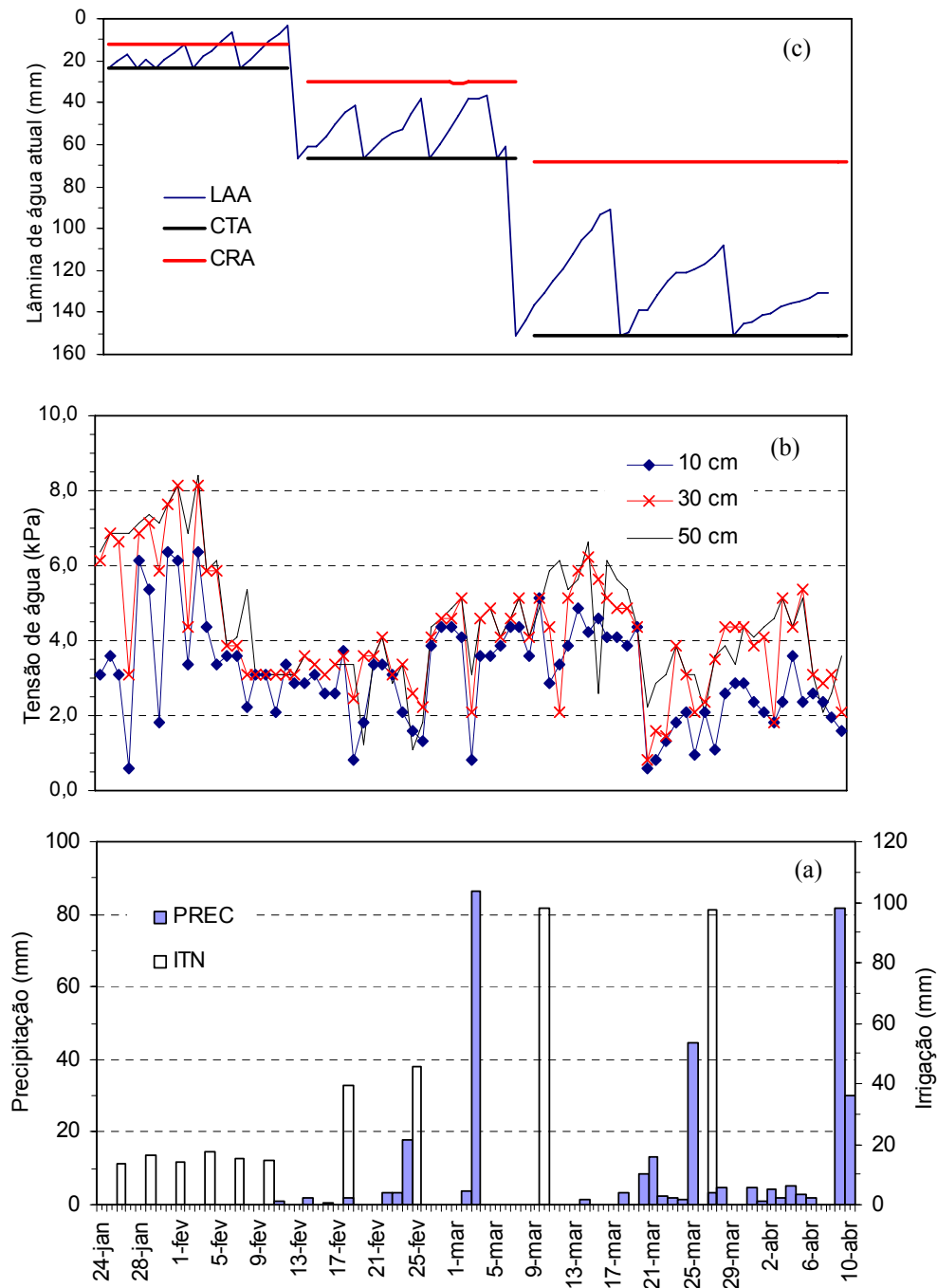


Figura 4.4. Precipitação (PREC) Irrigação total necessária (ITN), lâmina atual de água no solo (LAA), capacidade total (CTA) e real (CRA) de água no solo, variação da tensão da água no solo e balanço da água no solo para a cultura do feijão caupi irrigado, medidos em lisímetro correspondente ao tratamento com água – 2^o plantio.

O balanço de água no solo (Figuras 4.1 c e 4.2 c) foi feito diariamente e, quando o valor da lâmina de água consumida atingiu a percentagem de disponibilidade de água no solo, usada entre duas irrigações sucessivas, aplicou-se a lâmina de irrigação consumida até aquele dia.

Nos primeiros vinte e sete dias foram realizadas quatro irrigações, com intervalo de rega de quatro dias; depois desse período foram feitas duas, com intervalo de sete dias, completando-se o ciclo com mais duas, com intervalo de quatorze dias.

O sistema de irrigação localizado permitiu que a lâmina aplicada não alcançasse os valores mínimos, de modo que alguma chuva que porventura ocorresse após a irrigação pudesse ser aproveitada. Procurou-se manter um controle do potencial matricial do solo por meio dos tensiômetros instalados nas profundidades de 0,10, 0,30 e 0,50 m, nos dois lisímetros, de modo a monitorar a frente de umidade

As Figuras (4.3) a; b; c, e (4.4) a; b c apresentam as alturas de precipitação, lâminas de irrigação, variação do potencial matricial (tensão de água no solo) e o balanço hídrico do solo nas profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50m ao longo do segundo plantio. As medidas foram realizadas da mesma forma que no primeiro; o manejo adotado objetivou a aplicação controlada, como forma de minimizar as perdas por percolação.

No segundo plantio, as precipitações (Figuras 4.3 (a) e 4.4 (a)) ocorreram a partir da metade até o final do ciclo vegetativo, com destaque para o valor máximo de 86,3 mm (3/03/06). Foram realizadas dez irrigações, que totalizaram 372,1mm de lâmina aplicada aos tratamentos. As quantidades foram aplicadas com base na demanda evaporativa, na tensão de umidade e na intensidade média de aplicação de água do sistema.

A tensão média de água no solo (Figuras 4.3 b e 4.3 b) na profundidade de 0,10 m foi de 3,1 kPa para os lisímetros em que se encontravam os tratamentos T5 (água de abastecimento) e T1 (efluente secundário), no período de 2 a 76 DAE (26 de janeiro a 10 de abril de 2005).

A maior tensão média observada na profundidade de 0,10 m, para um intervalo de dois dias, foi de 8,9 e 6,4 kPa, para os referidos lisímetros, respectivamente, no período de 17 DAE (26 de janeiro a 10 de fevereiro), durante a fase de desenvolvimento da cultura. O segundo valor mais elevado foi de 4,2 e 4,4 kPa, no período de 32 a 43 DAE (25 de

fevereiro a 8 de março), para os respectivos tratamentos, coincidindo com o início do florescimento.

Nas profundidades de 0,30 e 0,50 m, foram observados os valores médios da tensão de água no solo de 4,2 e 4,3 kPa e 4,2 e 4,4 kPa, respectivamente, para os lisímetros com tratamento T5 e T1. As épocas de ocorrência dos maiores valores da tensão nas mesmas profundidades foram semelhantes às do segundo plantio, ou seja, aos 11, 43 e 63 DAE, coincidindo com as etapas de desenvolvimento vegetativo, prefloração e formação das vagens.

O lisímetro T5 apresentou o maior valor de tensão, 9,2 e 9,4 kPa, nas profundidades de 0,30 e 0,50 m, respectivamente, enquanto no de tratamento T1, para essas mesmas profundidades, o máximo alcançado foi de 8,1 e 8,4 kPa.

O balanço de água no solo (Figura 4.3 c e 4.3 d) foi realizado da mesma forma que no segundo plantio. No entanto, nos primeiros vinte dias foram realizadas seis irrigações, num turno de rega de três dias, em seguida foram feitas duas irrigações, com intervalo de sete dias, completando com mais duas, até o décimo quinto dia antes do final do ciclo vegetativo.

O sistema de irrigação localizado permitiu que as lâminas aplicadas fossem incrementadas com alguma chuva que porventura ocorresse após a irrigação. Procurou-se manter um controle do potencial matricial do solo, por meio dos tensiômetros instalados nas profundidades de 0,10, 0,30 e 0,50 m nos dois lisímetros, de modo a monitorar a frente de umidade.

Em função das concentrações de nutrientes encontradas no efluente secundário e as lâminas aplicadas ao longo do ciclo vegetativo da cultura, estimou-se o aporte de nutrientes (Tabela 4.3).

De acordo com as características iniciais do solo no tempo 1 - T_{p1} , as estimativas de aporte de nutrientes ao solo mostram que, ao final do primeiro e segundo plantio, o efluente só foi capaz de suprir adequadamente as necessidades de N. As lâminas acumuladas nos dois períodos supriram em 100 a 51% a demanda dos macronutrientes (N e K), respectivamente. Em relação aos micronutrientes (Fe, Cu, Zn, e Mn), a aplicação destas lâminas não supriria suas necessidades para a cultura, considerando suas baixas concentrações no efluente.

Tabela 4.3. Aporte de nutrientes aplicados ao solo via água e efluente durante o período de monitoramento

Época	Tipo de líquido	Ciclo (dias)	Lâmina (mm)	N P K Na Ca Mg Zn Cu Fe Mn									
				(kg ha ⁻¹)									
(T_{p1})	Água	0 - 15	29,3	-	0,05	2,25	0,66	1,95	0,07	0,05	0,06	0,20	0,04
		16 - 32	62,9	-	0,05	2,58	0,75	2,23	0,08	0,06	0,07	0,23	0,04
		33 - 43	75,4	-	0,03	2,15	1,38	4,14	4,14	0,01	0,03	0,18	0,03
		44 - 63	108,2	-	0,05	3,41	2,19	6,57	6,57	0,01	0,05	0,28	0,05
		64 - 68	150,6	-	0,08	3,77	0,92	5,99	5,99	0,10	0,11	0,13	0,03
		69 - 78	167,5	-	0,08	3,72	0,91	5,91	5,91	0,10	0,11	0,12	0,03
(T_{p1})	Efluente	0 - 15	29,3	9,81	0,04	1,70	0,62	0,72	0,07	0,04	0,03	0,16	0,03
		16 - 32	62,9	11,24	0,05	1,95	0,71	0,83	0,00	0,05	0,04	0,18	0,03
		33 - 43	75,4	19,08	0,05	2,49	0,89	1,02	0,00	0,06	0,04	0,11	0,03
		44 - 63	108,2	30,26	0,08	3,95	1,41	1,62	0,00	0,09	0,07	0,18	1,41
		64 - 68	150,6	36,25	0,10	2,24	0,13	0,14	0,07	0,10	0,20	0,15	0,03
		69 - 78	167,5	35,78	0,09	2,21	0,12	0,12	0,07	0,10	0,12	0,15	0,12
$(T_{p2})^*$	Água	0 - 15	53,9	-	0,09	2,50	1,15	1,33	0,12	0,07	0,08	0,37	0,05
		16 - 32	122,2	-	0,12	3,17	1,46	1,69	0,15	0,09	0,10	0,47	0,07
		33 - 43	137,0	-	0,08	4,14	1,46	1,68	0,00	0,10	0,07	0,19	0,05
		44 - 63	138,3	-	0,09	4,20	1,47	1,70	0,00	0,10	0,07	0,19	0,06
		64 - 68	125,7	-	0,06	1,49	0,08	0,10	0,04	0,07	0,13	0,10	0,02
		69 - 78	111,9	-	0,06	1,48	0,08	0,09	0,04	0,07	0,13	0,10	0,02
(T_{p2})	Efluente	0 - 15	53,9	21,35	1,15	7,44	2,56	1,97	2,17	0,05	0,00	0,14	0,03
		16 - 32	122,2	27,04	1,46	9,42	3,24	2,49	2,75	0,06	0,00	0,18	0,04
		33 - 43	137,0	18,89	0,99	7,15	2,29	2,99	3,86	0,02	0,00	0,18	0,06
		44 - 63	138,3	19,13	1,00	7,24	2,32	3,03	3,91	0,02	0,00	0,18	0,06
		64 - 68	125,7	17,33	0,73	5,66	2,24	2,27	2,83	0,02	0,00	0,02	0,01
		69 - 78	111,9	17,24	0,73	5,63	2,23	2,25	2,82	0,02	0,00	0,02	0,01

* (T_{p1}) – Tempo 1 (1^o plantio); (T_{p2}) – Tempo 2 (2^o plantio).

A quantidade de Na^{2+} aplicada ao solo, ao fim do experimento, variou de 27,21 a 21,22 kg ha^{-1} . Essas taxas de aplicação de sódio são reduzidas, comparando-se com as de Medeiros (2005). No entanto, práticas especiais de manejo, como a suspensão da aplicação do efluente durante o período chuvoso, aplicação de lâminas de lixiviação em determinados períodos, associada a um sistema de drenagem subterrânea, podem contribuir para que o solo se mantenha em condições adequadas, evitando problemas de sodicidade.

4.3. Avaliação da alteração de atributos físico-químicos e físico-hídricos do solo

4.3.1 Características iniciais do solo

De acordo com as características físico-químicas do solo (Tabela 3.4) e as diretrizes da Comissão Estadual de Fertilidade do Solo de Pernambuco - 2^o aproximação (1998) e Tomé Júnior (1997), o solo não apresentava acidez elevada (pH variando de 5,6 – 6,0), nas três faixas de profundidade. O conteúdo de matéria orgânica (MO) no solo, nas faixas de profundidade de 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m foi considerado médio, e baixo na de 0,40 – 0,60 m. A concentração de P disponível foi considerada média na profundidade de 0 – 0,20 m e baixa nas de 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m; a concentração de K^+ , foi considerada alta e as de Ca^{2+} baixas para as três profundidades; e de Mg^{2+} trocável foi alta para as profundidades de 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m e média para a de 0,40 - 0,60 m. A disponibilidade de K^+ aumentou com a profundidade, enquanto as de Ca^{2+} e Mg^{2+} decresceram. Os valores de Na^+ trocável foram baixos nas duas primeiras profundidades e médios na de 0,40 – 0,60 m.

A acidez trocável (Al^{+3}) e o potencial (H+Al) foram considerados baixos, nas três faixas de profundidade.

Segundo as Recomendações para Uso de Corretivos e Fertilizantes do Estado de Minas Gerais – 5^a aproximação (1999), a concentração de Fe disponível foi baixa nas faixas de profundidade de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40, e muito baixa na de 0,40 – 0,60 m; por sua vez, a concentração de Cu disponível foi baixa, em todas as faixas de profundidade. A concentração de Zn disponível apresentou-se média, na profundidade de 0 – 0,20 m, alta na de 0,20 – 0,40 m e muito alta na de 0,40 – 0,60 m; por sua vez, a concentração de Mn

disponível foi baixa na faixa de profundidade de 0 – 0,20 e muito baixa nas de 0,20 – 0,40 e de 0,40 – 0,60 m.

A soma de base (SB) foi considerada baixa, na faixa de profundidade de 0 – 0,20 e muito baixa nas de 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m. A CTC_{total} foi média nas faixas de profundidade 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 e baixa na de 0,40 – 0,60m, enquanto a $CTC_{efetiva}$ foi baixa em todas as faixas de profundidade.

A saturação por bases (V) foi considerada alta nas duas primeiras faixas de profundidade e baixa na de 0,40 – 0,60 m, porém a saturação por alumínio (m) foi baixa nas três faixas de profundidades de 0 – 0,20; 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m.

Na avaliação conjunta da CE, RAS e de PST, verificou-se que o solo não apresenta problemas de salinidade e de sódio adsorvido se encontra abaixo dos limites preconizado por Pizarro (1990), em que este solo é classificado como normal, em virtude de apresentar $CE < 2,0 \text{ dS m}^{-1}$ e $PST < 7 \%$.

Conforme as características físico-hídricas do solo (Tabela 3.3) usado no experimento é possível se observar a homogeneidade na distribuição granulométrica, ao longo do perfil. A diferença mais visível fica por conta dos teores de areia; observa-se, no entanto, com base na segmentação da fração areia, maior concentração de areia média e areia fina e maiores percentuais de argila, na faixa de profundidade de 0,20 – 0,60 m, o que deve acarretar diferenciações nos atributos físicos do solo. Diferenças entre solos a partir do fracionamento da areia total foram também observados por Souza et al., (2001), que reforçam a contribuição dessa prática na distribuição do tamanho dos poros.

Forsythe (1967) estabelece diferenças claras entre propriedades físicas e fatores físicos de crescimento; segundo ele, as propriedades físicas: textura, infiltração de água, densidade do solo, densidade das partículas, condutividade hidráulica, entre outras, influenciam os fatores físicos de crescimento: potencial total de água no solo, aeração, temperatura e resistência mecânica à penetração de raízes.

Na Tabela 4.4 encontram-se os valores dos parâmetros do modelo de van Genuchten (1980) para os sítios tensiométricos nas respectivas faixas de profundidade do solo nos lisímetros, ajustados pelo programa SWRC (DOURADO NETO et al., (1990) e de acordo com a equação (3.2)).

Tabela 4.4 – Valores dos parâmetros do modelo de van Genuchten nos respectivos sítios tensiométricos e faixas de profundidade do solo usado nos lisímetros

Sítio Tensiométrico 1					
Profundidade (m)	θ_r	θ_s	α	n	m
0,0 - 0,20	0,062	0,168	0,013	1,524	0,344
0,20 - 0,40	0,068	0,411	0,335	1,491	0,329
0,40 - 0,60	0,068	0,411	0,335	1,491	0,329
Sítio Tensiométrico 2					
Profundidade (m)	θ_r	θ_s	α	n	m
0,0 - 0,20	0,078	21,786	12,861	16,702	0,940
0,20 - 0,40	0,079	2,898	0,704	1,866	0,464
0,40 - 0,60	0,065	1,358	1,912	1,545	0,353

θ_r – umidade residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_s – umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); α , n e m – parâmetros empíricos do modelo.

4.3.2. Efeitos nos atributos físico-químicos em cada faixa de profundidade do solo nos lisímetros

Nas Tabelas 4.5 e 4.6 encontram-se os valores da Média, Desvio-padrão e Coeficiente de Variação dos atributos físico-químicos do solo (pH, MO, P, K^+ , Na^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe, Cu, Zn, Mn, PST, RAS e CEes) para cada tempo e faixa de profundidade, em função dos manejos adotados (ME – manejo com efluente) e (MA – manejo com água de abastecimento). De modo geral, foram observadas alterações nas épocas e em cada faixa de profundidade para os atributos avaliados, em resposta à adoção dos tipos de manejo.

Tabela 4.5. Alterações físico-químicas do solo em resposta ao tipo de manejo adotado, na época Tp₁ - 1^o plantio (4/10 a 18/12/05)

	pH	M.O.	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Cu	Zn	Mn	PST	RAS	CEes
		g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	cmolc.dm ⁻³				mg.dm ⁻³				%	(mmol L ⁻¹) ^{1/2}	dS m ⁻¹
Faixa de profundidade: 0 - 0,20 m														
V ₀	6,00	11,70	4,30	0,62	0,03	1,72	2,89	16,40	0,50	1,00	4,30	0,45	0,02	0,135
T1	Média	6,15	9,60	5,24	0,15	0,12	1,08	0,85	2,10	0,79	1,38	1,39	8,25	0,21
	Devspad	0,05	2,38	0,53	0,07	0,02	0,13	0,05	1,05	0,07	0,56	0,70	1,85	0,08
	CV (%)	0,81	24,79	10,11	51,72	16,67	11,63	5,88	4,99	8,86	40,58	22,48	37,43	25,64
T2	Média	6,05	9,00	16,93	0,17	0,12	1,28	0,75	4,52	0,86	3,21	2,09	4,31	0,16
	Devspad	0,35	1,59	1,61	0,10	0,02	0,18	0,25	2,058	0,01	1,33	1,39	3,26	0,12
	CV (%)	5,79	17,67	9,48	57,58	16,67	13,73	33,33	4,56	1,16	41,43	66,51	75,55	77,72
T3	Média	7,10	8,91	5,32	0,07	0,10	1,63	0,93	2,55	0,72	1,19	3,20	3,35	0,09
	Devspad	0,10	1,89	0,61	0,01	0,02	0,18	0,12	0,96	0,07	0,63	1,62	1,22	0,02
	CV (%)	1,41	21,17	11,52	14,29	20,00	10,77	13,51	3,77	9,72	52,94	50,63	36,31	20,95
T4	Média	7,10	8,01	18,25	0,33	0,12	1,70	0,78	1,96	0,76	1,33	4,40	6,00	0,17
	Devspad	0,40	0,99	1,62	0,28	0,02	0,50	0,03	0,32	0,10	0,68	1,65	1,83	0,04
	CV (%)	5,63	12,36	8,87	84,85	13,09	29,41	3,23	1,65	13,16	51,13	38,02	30,49	22,42
T5	Média	5,90	6,30	4,11	0,11	0,16	1,02	0,57	2,09	0,86	3,21	4,40	12,77	0,38
	Devspad	0,44	2,00	0,72	0,06	0,04	0,14	0,22	1,06	0,11	1,33	1,62	15,49	0,29
	CV (%)	7,39	31,82	17,55	59,54	22,42	14,20	38,36	5,06	12,79	41,43	36,82	121,25	76,68
T6	Média	5,23	4,68	13,41	0,07	0,23	0,57	0,35	6,19	0,96	2,01	6,29	14,53	0,41
	Devspad	0,31	1,90	1,10	0,02	0,04	0,08	0,05	1,23	0,12	0,68	2,95	8,55	0,20
	CV (%)	5,84	40,63	8,18	20,83	15,05	13,48	14,13	1,98	12,50	33,83	46,90	58,84	49,58
T7	Média	5,70	11,19	4,33	0,09	0,24	0,83	0,55	4,57	1,42	1,82	4,82	9,06	0,29
	Devspad	0,61	6,27	1,10	0,04	0,02	0,20	0,16	0,75	0,29	0,56	1,64	1,81	0,01
	CV (%)	10,67	56,05	25,31	43,68	9,49	24,25	29,02	1,64	20,42	30,77	34,02	19,93	3,22
T8	Média	6,73	6,84	15,99	0,09	0,20	1,13	0,72	3,84	0,84	1,88	3,34	8,83	0,21
	Devspad	0,40	1,82	0,79	0,03	0,03	0,21	0,01	2,092	0,27	0,68	1,24	1,53	0,04
	CV (%)	6,00	26,61	4,95	29,04	15,00	18,37	1,14	5,45	32,14	36,17	37,13	17,35	17,64
Faixa de profundidade: 0,20 - 0,40 m														
V ₀	5,90	8,70	2,60	1,12	0,09	1,30	2,13	14,67	0,30	3,30	1,40	1,35	0,07	0,121
T1	Média	6,65	8,01	3,74	0,15	0,10	1,50	1,00	3,10	0,86	1,52	1,82	2,91	0,09
	Devspad	0,95	0,79	0,72	0,07	0,03	0,30	0,15	1,05	0,10	0,69	0,85	0,92	0,04
	CV (%)	14,29	9,86	19,18	51,72	30,00	20,00	15,00	3,39	11,63	45,39	46,70	31,50	38,60
T2	Média	6,10	11,29	15,88	0,17	0,10	1,18	0,88	2,55	0,76	3,21	1,39	5,73	0,20
	Devspad	0,30	0,49	1,69	0,10	0,02	0,38	0,13	0,95	0,12	1,33	0,70	2,91	0,08
	CV (%)	4,92	4,39	10,62	57,58	14,78	31,91	14,29	3,75	15,79	41,43	50,36	50,87	40,95
T3	Média	6,85	11,39	3,37	0,07	0,07	1,30	0,98	4,17	0,97	1,19	5,90	2,31	0,07
	Devspad	0,45	1,78	0,90	0,01	0,02	0,15	0,08	1,80	0,27	0,63	2,51	0,01	0,02
	CV (%)	6,57	15,68	26,79	11,43	28,57	11,54	7,69	4,31	27,84	52,94	42,54	0,26	23,88
T4	Média	6,55	8,21	16,96	0,33	0,11	1,40	0,80	5,69	1,24	1,33	4,28	2,44	0,07
	Devspad	0,35	1,19	1,58	0,28	0,02	0,10	0,30	1,12	0,76	0,68	1,86	0,62	0,02
	CV (%)	5,34	14,49	9,30	84,85	14,32	7,14	37,50	1,97	61,29	51,13	43,46	25,34	28,99
T5	Média	6,07	8,05	3,82	0,11	0,14	1,02	0,55	2,55	0,86	3,21	7,42	9,52	0,28
	Devspad	0,55	1,81	0,75	0,06	0,04	0,03	0,35	3,71	0,10	1,33	3,76	1,67	0,12
	CV (%)	9,07	22,44	19,75	59,54	29,05	2,84	63,59	14,56	11,63	41,43	50,67	17,59	42,61
T6	Média	5,40	7,74	12,85	0,07	0,16	0,77	0,37	1,03	1,11	2,01	12,03	15,89	0,38
	Devspad	0,46	3,23	5,33	0,02	0,03	0,33	0,14	0,74	0,11	0,68	2,97	8,59	0,11
	CV (%)	8,49	41,70	41,48	20,83	15,41	43,42	39,17	7,14	9,91	33,83	24,69	54,07	30,39
T7	Média	5,67	9,27	3,75	0,09	0,22	0,90	0,50	2,17	1,17	1,82	11,06	8,52	0,26
	Devspad	0,47	2,84	0,67	0,04	0,05	0,13	0,13	1,23	0,15	0,56	2,87	4,63	0,07
	CV (%)	8,33	30,62	17,74	43,68	20,81	14,70	25,50	5,70	12,82	30,77	25,95	54,35	27,79
T8	Média	6,27	5,93	13,43	0,09	0,17	1,12	0,73	4,03	1,19	1,88	8,31	7,17	0,18
	Devspad	0,40	0,77	1,03	0,03	0,02	0,14	0,06	0,73	0,15	0,68	3,72	1,17	0,03
	CV (%)	6,45	12,94	7,68	29,04	12,01	12,93	7,59	1,80	12,61	36,17	44,77	16,38	17,03
Faixa de profundidade: 0,40 - 0,60 m														
V ₀	5,60	5,60	1,80	0,59	0,12	1,20	0,75	7,43	0,10	2,30	1,20	1,74	0,12	0,110
T1	Média	6,00	9,80	2,65	0,07	0,08	2,25	1,05	5,13	0,89	2,10	4,36	3,20	0,11
	Devspad	0,90	2,78	0,49	0,03	0,02	0,60	0,50	1,10	0,23	0,98	1,71	0,65	0,03
	CV (%)	15,00	28,37	18,29	38,46	25,00	26,67	47,62	2,15	25,84	46,67	39,22	20,22	24,67
T2	Média	6,15	7,61	11,15	0,03	0,10	1,30	0,60	5,23	0,66	3,08	6,07	4,42	0,15
	Devspad	1,05	0,23	1,16	0,01	0,02	0,65	0,20	0,92	0,23	0,97	1,71	0,12	0,03
	CV (%)	17,07	3,02	10,40	26,65	20,00	50,00	33,33	1,75	34,85	31,49	28,17	2,67	21,04
T3	Média	6,35	7,42	2,03	0,06	0,09	1,25	0,68	4,31	1,12	1,16	2,65	4,61	0,09
	Devspad	0,75	0,60	0,62	0,03	0,01	0,25	0,43	0,84	0,12	0,52	1,71	1,16	0,01
	CV (%)	11,81	8,02	30,46	45,45	11,11	20,00	62,96	1,95	10,71	44,83	64,53	25,27	7,40
T4	Média	6,65	3,94	10,75	0,03	0,10	1,55	0,83	3,99	0,85	1,56	6,73	3,55	0,09
	Devspad	0,25	2,69	1,34	0,01	0,02	0,10	0,12	1,05	0,15	0,94	1,86	1,59	0,03
	CV (%)	3,76	68,28	12,47	23,09	21,53	6,45	15,15	2,62	17,65	60,26	27,64	44,64	30,85
T5	Média	6,33	4,70	3,06	0,07	0,08	1,20	0,53	3,97	0,93	1,32	8,12	8,47	0,22
	Devspad	0,29	4,01	1,02	0,02	0,02	0,17	0,10	1,26	0,22	0,72	1,39	1,85	0,03
	CV (%)	4,56	85,41	33,28	20,83	18,33	14,43	18,16	3,17	23,66	54,55	17,12	21,90	13,68
T6	Média	5,63	8,28	10,04	0,04	0,15	0,87	0,57	4,77	0,95	1,53	7,50	7,96	0,22
	Devspad	0,61	1,13	1,28	0,01	0,02	0,18	0,30	0,74	0,13	0,68	0,85	3,01	0,07
	CV (%)	10,85	13,62	12,70	15,75	13,58	20,26	53,80	1,55	13,68	44,44	11,33	37,89	31,88
T7	Média	5,53	5,90	2,90	0,12	0,15	0,83	0,48	3,30	0,91	1,32	5,93	5,25	0,19
	Devspad	0,67	3,58	0,69	0,12	0,04	0,29	0,09	0,74	0,08	0,72	2,52	1,92	0,08
	CV (%)	12,03	60,66	23,91	101,04	27,56	34,64	17,92	2,24	8,79	54,55	42,50	36,66	41,88
T8	Média	6,30	6,23	12,77	0,05	0,16	1,37	0,75	3,99	1,08	1,88	4,32	6,71	0,16
	Devspad	0,85	2,57	0,92	0,02	0,01	0,28	0,30	1,02	0,18	0,52	1,86	1,36	0,03
	CV (%)	13,56	41,25	7,20	28,64	6,25	20,15	40,55	2,55	16,67	27,66	43,06	20,19	17,19

Tabela 4.6. Alterações físico-químicas do solo em resposta ao tipo de manejo adotado, no tempo $Tp_2 - 2^0$ plantio (24/01 a 10/04/06)

	pH	M.O.	P	K ^{1z}	Na ⁺	Ca ^{1z}	Mg ^{1z}	Fe	Cu	Zn	Mn	PST	RAS	CEes
		g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	cmolc.dm ⁻³			mg.dm ⁻³					%	(mmol L ⁻¹) ^{1/2}	dS m ⁻¹
Faixa de profundidade: 0 - 0,20 m														
V ₀	6,00	11,70	4,30	0,62	0,03	1,72	2,89	16,40	0,50	1,00	4,30	0,45	0,02	0,135
Média	6,20	11,98	5,77	0,05	0,14	1,20	0,90	3,08	0,79	0,80	8,30	6,72	0,15	0,49
T1 Devspad	0,05	2,38	0,53	0,01	0,02	0,13	0,05	1,03	0,07	0,18	0,67	1,42	0,02	0,10
CV (%)	0,81	19,87	9,18	19,84	14,29	10,42	5,56	3,33	8,86	22,14	8,02	21,08	15,79	20,41
Média	6,10	10,59	18,54	0,04	0,14	1,45	1,00	3,40	0,80	0,57	7,22	3,94	0,14	0,22
T2 Devspad	0,35	1,59	1,61	0,01	0,02	0,18	0,25	0,40	0,06	0,11	0,42	0,51	0,02	0,04
CV (%)	5,74	15,01	8,66	20,51	14,29	12,07	25,00	1,19	7,35	19,30	5,87	12,95	13,21	19,63
Média	7,15	10,79	5,94	0,11	0,12	1,80	1,89	2,82	0,77	0,77	7,80	4,57	0,11	0,53
T3 Devspad	0,10	1,89	0,61	0,01	0,02	0,18	0,59	0,45	0,03	0,10	1,46	1,22	0,02	0,05
CV (%)	1,40	17,47	10,33	9,57	16,67	9,72	31,16	1,60	3,44	12,39	18,78	26,64	22,72	9,60
Média	7,15	9,00	19,87	0,07	0,13	2,20	1,99	2,60	1,01	0,62	9,17	3,75	0,11	0,15
T4 Devspad	0,40	0,99	1,62	0,02	0,02	0,50	0,72	0,79	0,12	0,06	1,32	0,75	0,02	0,03
CV (%)	5,59	11,00	8,15	21,43	11,58	22,73	35,90	3,04	12,05	9,67	14,37	20,02	18,40	17,01
Média	5,95	8,30	4,83	0,09	0,19	1,16	0,78	3,92	1,01	1,28	11,97	6,82	0,22	0,67
T5 Devspad	0,44	2,00	0,72	0,01	0,04	0,14	0,31	0,73	0,12	0,04	0,54	0,45	0,05	0,14
CV (%)	7,33	24,14	14,93	13,09	18,31	12,43	38,97	1,87	12,05	3,24	4,49	6,65	20,75	21,47
Média	5,28	6,58	14,50	0,09	0,27	0,64	0,40	4,72	0,97	1,07	9,15	8,91	0,39	0,27
T6 Devspad	0,31	1,90	1,10	0,02	0,04	0,08	0,05	0,66	0,11	0,31	0,57	2,26	0,05	0,02
CV (%)	5,78	28,89	7,56	23,80	13,08	11,88	12,52	1,39	10,86	29,13	6,18	25,32	12,53	8,76
Média	5,75	11,58	5,43	0,09	0,27	1,04	0,71	4,10	1,19	1,16	9,94	7,79	0,30	0,30
T7 Devspad	0,61	1,18	1,10	0,04	0,02	0,20	0,18	0,21	0,10	0,09	0,79	0,54	0,01	0,03
CV (%)	10,58	10,19	20,20	40,05	8,67	19,52	25,40	0,51	8,60	7,82	7,96	6,93	3,12	8,39
Média	6,78	8,66	16,79	0,11	0,23	1,34	1,26	5,13	0,90	1,39	8,82	8,71	0,23	0,15
T8 Devspad	0,40	1,82	0,79	0,04	0,03	0,21	0,61	0,20	0,07	0,52	0,84	1,06	0,04	0,04
CV (%)	5,96	21,02	4,72	35,53	13,04	15,52	48,35	0,38	7,37	37,14	9,57	12,13	16,96	26,32
Faixa de profundidade: 0,20 - 0,40 m														
V ₀	5,90	8,70	2,60	1,12	0,09	1,30	2,13	14,67	0,30	3,30	1,40	1,35	0,07	0,121
Média	6,37	8,80	4,46	0,22	0,13	1,80	1,15	2,55	0,94	0,68	6,09	3,83	0,13	0,44
T1 Devspad	0,53	0,79	0,72	0,08	0,03	0,30	0,15	0,96	0,16	0,08	0,34	0,92	0,04	0,08
CV (%)	8,40	8,98	16,09	34,09	23,08	16,67	13,04	3,76	17,17	11,76	5,62	23,95	27,85	17,12
Média	6,15	11,78	17,57	0,26	0,12	1,55	1,00	3,12	0,73	0,72	4,83	3,47	0,12	0,47
T2 Devspad	0,30	0,49	1,69	0,10	0,02	0,38	0,12	0,62	0,06	0,04	0,93	0,49	0,01	0,03
CV (%)	4,88	4,20	9,60	36,54	12,88	24,19	12,50	1,98	7,58	4,86	19,26	14,05	10,97	5,59
Média	6,90	13,17	4,27	0,07	0,09	1,45	1,05	2,59	0,82	0,77	6,00	2,31	0,08	0,19
T3 Devspad	0,45	1,78	0,90	0,01	0,02	0,15	0,08	0,42	0,02	0,14	1,55	0,01	0,02	0,05
CV (%)	6,52	13,55	21,13	10,26	22,22	10,34	7,14	1,62	2,44	18,16	25,82	0,26	19,27	25,27
Média	6,60	9,40	18,54	0,61	0,12	1,50	1,10	2,52	1,02	0,70	7,32	3,68	0,11	0,24
T4 Devspad	0,35	1,19	1,58	0,28	0,02	0,10	0,30	0,64	0,10	0,07	1,57	0,28	0,01	0,05
CV (%)	5,30	12,66	8,51	45,90	12,53	6,67	27,27	2,54	9,59	10,09	21,42	7,71	5,48	19,83
Média	6,12	9,86	4,57	0,17	0,18	1,05	0,90	3,50	1,02	1,05	8,57	9,53	0,19	0,10
T5 Devspad	0,55	1,81	0,75	0,06	0,04	0,03	0,35	0,44	0,10	0,07	2,78	3,00	0,03	0,02
CV (%)	9,00	18,32	16,49	37,32	22,51	2,76	38,90	1,26	9,59	6,32	32,48	31,43	14,47	16,35
Média	5,45	10,96	18,18	0,09	0,19	1,10	2,17	3,47	0,98	1,29	7,92	8,53	0,24	0,30
T6 Devspad	0,46	3,23	5,33	0,02	0,03	0,33	0,86	0,59	0,17	0,29	0,53	1,66	0,06	0,02
CV (%)	8,41	29,43	29,32	17,24	13,35	30,28	39,43	1,71	16,98	22,64	6,71	19,40	26,62	8,08
Média	5,72	12,11	4,42	0,12	0,26	1,03	0,63	3,52	1,21	1,16	8,62	7,22	0,34	0,15
T7 Devspad	0,47	2,84	0,67	0,04	0,05	0,13	0,20	0,86	0,16	0,35	1,68	0,61	0,07	0,04
CV (%)	8,27	23,44	15,07	30,40	17,23	12,81	31,87	2,43	13,42	29,91	19,54	8,49	21,74	24,32
Média	6,32	6,70	14,46	0,11	0,19	1,26	0,79	4,87	1,13	1,32	7,20	8,34	0,21	0,44
T8 Devspad	0,40	0,77	1,03	0,03	0,02	0,14	0,10	0,07	0,04	0,21	1,00	1,17	0,03	0,08
CV (%)	6,40	11,46	7,13	22,50	10,72	11,45	13,19	0,14	3,19	15,54	13,90	14,08	14,55	17,69
Faixa de profundidade: 0,40 - 0,60 m														
V ₀	5,60	5,60	1,80	0,59	0,12	1,20	0,75	7,43	0,10	2,30	1,20	1,74	0,12	0,110
Média	6,05	12,58	3,14	0,09	0,10	2,85	1,55	1,94	0,77	0,62	4,69	2,43	0,09	0,69
T1 Devspad	0,90	2,78	0,49	0,02	0,02	0,60	0,50	0,33	0,05	0,04	0,86	0,57	0,02	0,15
CV (%)	14,88	22,10	15,46	27,78	20,00	21,05	32,26	1,68	6,87	5,63	18,31	23,44	24,59	21,87
Média	6,20	8,52	12,31	0,04	0,12	1,95	0,80	2,64	0,91	0,78	3,68	4,11	0,16	0,20
T2 Devspad	1,05	0,58	1,16	0,01	0,02	0,65	0,20	0,37	0,10	0,15	0,71	0,79	0,05	0,06
CV (%)	16,94	6,78	9,42	21,04	16,67	33,33	25,00	1,41	11,47	18,51	19,20	19,10	29,90	29,08
Média	6,40	8,61	2,65	0,08	0,10	1,50	1,10	2,32	0,78	0,73	4,77	5,77	0,10	0,23
T3 Devspad	0,75	0,69	0,62	0,03	0,01	0,25	0,43	0,58	0,03	0,19	1,57	1,16	0,01	0,06
CV (%)	11,72	8,07	23,35	31,25	10,00	16,67	38,64	2,49	3,90	26,46	32,94	20,17	6,89	26,20
Média	6,70	8,01	12,09	0,04	0,12	1,65	0,95	1,89	1,04	0,67	6,63	5,01	0,11	0,66
T4 Devspad	0,25	0,60	1,34	0,01	0,02	0,10	0,13	0,13	0,02	0,03	1,77	1,44	0,02	0,13
CV (%)	3,73	7,43	11,09	18,76	17,72	6,06	13,16	0,68	1,92	4,82	26,64	28,68	20,48	19,03
Média	6,38	6,64	3,72	0,09	0,10	1,37	1,33	2,39	1,04	0,99	5,21	4,11	0,11	0,37
T5 Devspad	0,29	2,69	1,25	0,02	0,02	0,17	0,73	0,29	0,02	0,21	0,88	0,95	0,03	0,12
CV (%)	4,52	40,57	33,60	17,24	15,49	12,61	54,76	1,20	1,92	21,36	16,92	23,16	23,07	32,98
Média	5,68	8,71	11,32	0,04	0,17	1,04	0,87	2,48	1,04	1,11	5,52	6,54	0,22	0,12
T6 Devspad	0,61	4,01	1,28	0,01	0,02	0,18	0,31	0,54	0,24	0,23	1,09	1,05	0,04	0,01
CV (%)	10,75	46,06	11,27	13,60	11,95	16,85	35,05	2,19	22,53	20,31	19,75	16,13	16,23	9,24
Média	5,58	9,40	3,59	0,24	0,19	1,12	0,57	2,90	1,18	1,28	6,55	6,25	0,27	0,25
T7 Devspad	0,67	1,13	0,69	0,12	0,04	0,29	0,20	1,05	0,09	0,14	0,57	1,14	0,08	0,06
CV (%)	11,93	11,99	19,30	50,26	21,60	25,73	35,46	3,63	7,19	10,81	8,70	18,18	29,52	24,90
Média	6,35	9,48	13,69	0,07	0,17	1,64	1,05	4,05	1,15	1,34	5,46	8,07	0,19	0,29
T8 Devspad	0,85	3,58	0,92	0,02	0,01	0,28	0,36	0,30	0,11	0,19	1,06	1,36	0,03	0,06
CV (%)	13,46	37,76	6,71	22,26	5,88	16,77	34,20	0,75	9,55	13,88				

Na Tabela 4.7 estão quantificadas as médias do atributo pH do solo, por tratamentos. A significância estatística entre os tratamentos mostrou que os tratamentos T3 (E+I) e T4 (E+I+PK) foram os que apresentaram os maiores valores de pH, embora não tenha diferido estatisticamente do tratamento T8 (A+I+PK). Entre todos os tratamentos T6 (A+NPK) e T7 (A+I) apresentaram-se como os de menor valor de pH; os tratamentos T1 (E), T2 (E+NPK) e T5 (A+NPK) apresentaram valores intermediários de pH, como pode ser visto na Tabela 4.7.

Na Tabela 4.8 (a) e (b) estão quantificadas as médias do atributo pH do solo monitorado, nas épocas, por profundidade, e nas profundidades, por época, respectivamente.

Os valores referentes à comparação entre médias para as profundidades por época e época por profundidades mostram que não houve diferença significativa para o pH do solo. Em relação a V_0 (Tabelas 4.4 e 4.5), o acréscimo de pH do solo pode ser atribuído à adição de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) pelo efluente e por sua característica de alcalinidade (pH médio 7,3).

Tabela 4.7 – Comparação entre médias de valores de pH dos tratamentos manejo com efluente (ME) e manejo com água (MA), pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tratamento	pH
T1	6,18 bc
T2	6,12 bc
T3	6,79 a
T4	6,79 a
T5	6,12 bc
T6	5,44 d
T7	5,65 cd
T8	6,45 ab
dms = 0,55	

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas

Tabela 4.8 (a) – Comparação entre médias de pH nas épocas, por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Época	Profundidade (m)			n
	0 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m	0,40 – 0,60 m	
Tp ₁	6,24a	6,15a	6,11a	72
Tp ₂	6,29a	6,20a	6,16a	72
-----dms = 0,31-----				

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n^o de observações; Tp₁ - 1^o plantio (4/10 a 18/12/05); Tp₂ - 2^o plantio (24/01 a 10/04/06).

Tabela 4.8 (b) – Comparação entre médias de pH nas profundidades, avaliadas por época, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Profundidade (m)	Época		n
	Tp ₁	Tp ₂	
0 – 0,20 m	6,24 A	6,29 A	72
0,20 – 0,40 m	6,15 A	6,20 A	72
0,40 – 0,60 m	6,12 A	6,16 A	72

-----dms = 0,37-----

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n^o de observações; Tp₁ - 1^o plantio (4/10 a 18/12/05); Tp₂ - 2^o plantio (24/01 a 10/04/06).

A diminuição do pH do solo foi verificada por Vazquez-Montiel, Horan, Mara, (1996) em solo cultivado com milho e irrigado com efluente de esgoto tratado. Os autores sugeriram que a queda no pH do solo foi devida à nitrificação, uma vez que o efeito foi incrementado pela adição de fertilizante nitrogenado mineral (sulfato de amônio)

Segundo Bouwer e Chaney (1974), em solos tratados com resíduos biodegradáveis pela degradação destes materiais pelos microorganismos pode haver diminuição no valor do pH, devido à produção de CO₂ e ácidos orgânicos.

Outros autores verificaram aumento do pH do solo, devido à aplicação de águas residuárias e atribuíram o fato à característica alcalina do efluente (QUIN; WOODS, 1978; CROMER et al. 1984; STEWART; HOPMANS; FLINN, 1990; SCHIPPER et al. 1996; SMITH; HOPMANS; COOK, 1996; AL-NAKSHABANDI et al. 1997; SPEIR et al. 1999; FONSECA, 2001; GARCIA, 2003; RESENDE, 2003).

Analisando as significâncias estatísticas da comparação entre médias dos teores de MO nos tratamentos por época, verifica-se que os manejados com efluente apresentaram maiores teores de MO do que os manejados com água. Os tratamentos T1(E) e T2(E+NPK) apresentaram os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Em Tp₂ observou-se que não existiu diferença significativa entre os tratamentos citados apresentaram os maiores valores de teor de MO (Tabela 4.9).

A constituição físico-química do efluente favoreceu em parte ao incremento de matéria orgânica, pois a baixa eficiência do pós-tratamento (lagoa de polimento) permitiu que altas concentrações de sólidos suspensos totais fossem veiculadas no efluente e, conseqüentemente, aplicadas através do sistema de irrigação. Nos tratamentos manejados com água, embora os teores tenham sido inferiores, as presenças de restos de cultivos e de raízes foram responsáveis pela presença da matéria orgânica nas duas épocas avaliadas.

Tabela 4.9 – Comparação entre médias dos teores de MO nos tratamentos avaliadas por época pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tratamento	Época		n
	Tp ₁	Tp ₂	
	-----mg dm ⁻³ -----		
T1(E)	9,136 B	14,305 A	72
T2(E+NPK)	9,410 B	13,726 A	72
T3(E+I)	9,403 A	11,404 A	72
T4(E+I+PK)	7,878 A	9,016 A	72
T5(A)	6,097 A	8,551 A	72
T6(A+NPK)	5,704 A	8,337 A	72
T7(A+I)	9,144 A	9,578 A	72
T8(A+I+PK)	6,225 A	9,234 A	
	-----dms = 4,90 mg dm ⁻³ -----		

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n^o de observações; Tp₁ - 1^o plantio (4/10 a 18/12/05); Tp₂ - 2^o plantio (24/01 a 10/04/06).

Em relação ao efeito significativo entre as épocas e as faixas de profundidade (Tabela 4.9), observa-se que os valores médios do teor de MO na profundidade de 0 - 0,20 m nas épocas Tp₁ e Tp₂, foram próximos, enquanto nas profundidades de 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m, estes valores foram superiores no Tp₂, para as mesmas profundidades (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 – Comparação entre médias do teor de MO da época, por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Época	Profundidade (m)			n
	-----mg dm ⁻³ -----			
	0 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m	0,40 – 0,60 m	
Tp ₁	8,06 A	8,73 A	6,98 A	72
Tp ₂	7,79 B	12,83 A	13,38 A	72
	-----dms = 2,32 mg dm ⁻³ -----			

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n^o de observações; Tp₁ - 1^o plantio (4/10 a 18/12/05); Tp₂ - 2^o plantio (24/01 a 10/04/06).

Em condições naturais, o teor de MO diminui com a profundidade. Nas camadas superficiais (0 – 0,20 m) os teores variam, mas abaixo de 0,20 m de profundidade geralmente tais teores são menores que 15 g MO dm³, exceto em solos com horizonte A mais profundo que 0,20 m (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

Estes resultados confirmam os obtidos por MIRANDA (1995), que encontrou um acréscimo de 19% na matéria orgânica, quando foi adicionado, ao solo, efluente doméstico tratado em lagoa de estabilização; quando foi adicionada água de açude, a elevação foi de 14,3%. Jucken (2000), por sua vez, encontrou elevação de 11,0% nos teores de MO com a

fertirrigação de efluentes das agroindústrias de laticínios e frigorífico. Outros autores relatam que a adição de resíduos ricos em matéria orgânica, como os efluentes domésticos, provoca elevação no percentual de matéria orgânica do solo (PAGANINI, 1997; ANDRADE NETO, 1991).

A Tabela 4.11 mostra os valores apresentados pelos teores de P disponível no solo para os tratamentos avaliados, por profundidade. De maneira geral observou-se que os teores de P foram superiores nos tratamentos que receberam fertilizantes, tanto nos manejados com efluente T2(E+NPK), T4(E+I+PK) (ME), como naqueles com água (MA) T6(A+NPK) e T8(A+I+PK). As médias mostram que não houve diferença significativa entre os referidos tratamentos analisados por profundidade.

As médias do teor de P disponível nas profundidades avaliadas por tratamento (Tabela 4.12), mostram que apenas T8(A+I+PK), entre os tratamentos, foi o que diferiu em teor na profundidade de 0,0 – 0,40m. Os tratamentos T2(E+NPK) e T4(E+I+PK) apresentaram os maiores valores acumulados do teor de P para a mesma profundidade.

Tais resultados constataam que, devido a pouca mobilidade de P no solo, as maiores concentrações ocorreram na profundidade de 0,0 – 0,40m, coincidindo com a profundidade do sistema radicular da cultura. A disponibilidade desse elemento no efluente permitiu que houvesse maior oferta, aumentando o teor de P disponível no solo.

Tabela 4.11 – Comparação entre médias do teor de P disponível no solo para os tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tratamento	Profundidade (m)			n
	0 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m	0,40 – 0,60 m	
	-----mg dm ⁻³ -----			
T1(E)	5,51 c	4,10 c	2,98 b	72
T2(E+NPK)	17,74 a	16,72 a	11,73 a	72
T3(E+I)	5,63 c	3,82 c	2,34 b	72
T4(E+I+PK)	19,06 a	17,75 a	11,41 a	72
T5(A)	4,46 c	4,19 c	3,09 b	72
T6(A+NPK)	13,95 b	15,51 ab	10,68 a	72
T7(A+I)	4,88 c	4,08 c	3,24 b	72
T8(A+I+PK)	16,38 ab	13,94 b	13,22 a	72
	-----dms = 2,70 mg dm ⁻³ -----			

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n^o de observações.

Tabela 4.12 – Comparação entre médias do teor de P nas profundidades avaliadas por tratamento, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Profundidade (m)	Tratamento								n
	T1 (E)	T2 (E+NPK)	T3 (E+I)	T4 (E+I+PK)	T5 (A)	T6 (A+NPK)	T7 (A+I)	T8 (A+I+PK)	
	-----mg dm ⁻³ -----								
0 – 0,20	5,51 A	17,73 A	5,62 A	19,06 A	4,46 A	13,95 A	4,88 A	16,38 A	72
0,20 – 0,40	4,10 AB	16,72 A	3,82 B	17,75 A	4,19 A	15,51 A	4,08 A	13,94 B	72
0,40 – 0,60	2,98 B	11,73 B	2,34 B	11,42 B	3,09 A	10,68 B	3,24 A	13,22 B	72
	-----dms = 2,07 mg dm ⁻³ -----								

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n^o de observações.

O comportamento do teor de P disponível nas camadas superficiais do solo observado neste experimento foi reportado por Jnad et al. (2001a), que verificaram, num sistema de irrigação localizada, que o teor de P próximo ao emissor foi significativamente maior que na área de controle. De acordo com os autores, este elemento rapidamente sofre reação de adsorção no solo, limitando seu movimento no perfil do solo.

Aumentos nas concentrações de P em solos irrigados com efluente de esgoto têm sido comuns, tanto em sistemas agrícolas (LATTEREL et al., 1982; JOHNS; McCONCHIE, 1994b), pastagens (QUIN; WOODS, 1978) e florestas (CROMER et al. 1984; STEWART; HOPMANS; FLINN, 1990; SPEIR et al., 1999). Tais incrementos têm sido observados, principalmente, na camada superficial do solo (STEWART; HOPMANS; FLINN, 1990; JOHNS; McCONCHIE, 1994b; AL-NAKSHABANDI et al. 1997).

Kardos e Hook (1976) também avaliaram a capacidade do solo em reter e lixiviar P e da remoção deste nutriente. Após nove anos de irrigação com efluente de esgoto tratado, 96% do fósforo adicionado ainda se encontrava na camada de 0-120 cm; a penetração de P em camadas mais profundas estava diretamente relacionada ao menor teor de argila e de sesquióxidos do solo.

Miranda (1995) constatou que 99,5% do P_{total} da água de irrigação com efluente ficou retido no solo, em um ensaio realizado em colunas de solo, sendo os principais responsáveis a matéria orgânica do solo.

Os teores de K⁺ trocável no solo não diferiram estatisticamente na profundidade de 0 – 0,20 m, como podem ser visto na Tabela 4.13. Na profundidade de 0,20 – 0,40 m, o tratamento T4 (E+I+PK) diferiu estatisticamente de todos os outros e apresentou o maior teor de K⁺, o segundo maior valor correspondeu ao tratamento T2 (E+NPK), que também

diferiu dos demais. Ainda na mesma profundidade, os tratamentos T1 (E), T5 (A), T7 (A+I) e T8 (A+I+PK) tiveram diferença significativa apenas em relação ao T4 e apresentaram valores intermediários para o teor de K^+ .

Na profundidade de 0,40 - 0,60 m, o T7 apresentou o maior teor de K^+ , não diferindo dos tratamentos T1(E), T3(E+I), T5(A) e T8(A+I+PK); os tratamentos T2(E+NPK), T4(E+I+PK) e T6 (A+NPK) não diferiram entre si, nem em relação aos demais, e apresentaram valores intermediários do teor de K^+ .

Comparação entre médias do teor de K^+ trocável nas profundidades avaliadas por tratamento (Tabela 4.14) mostra que os tratamentos T3(E+I), T5(A) e T8(A+I+PK) não tiveram diferença significativa entre si, enquanto os demais foram significativamente diferentes. Ainda na mesma tabela, na profundidade de 0,20 – 0,40 m verificaram-se não haver diferença estatística entre os tratamentos, evidenciando que o teor de K^+ trocável aumentou na maioria dos tratamentos, disponibilizando este cátion na região onde está concentrada a maior parte do sistema radicular.

Tabela 4.13 – Comparação entre médias do teor de K^+ trocável dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tratamento	Profundidade (m)			n
	0 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m	0,40 – 0,60 m	
T1(E)	0,041 a	0,182 bc	0,077 ab	72
T2(E+NPK)	0,035 a	0,212 b	0,039 b	72
T3(E+I)	0,103 a	0,069 c	0,067 ab	72
T4(E+I+PK)	0,062 a	0,470 a	0,035 b	72
T5(A)	0,083 a	0,138 bc	0,081 ab	72
T6(A+NPK)	0,077 a	0,081 c	0,039 b	72
T7(A+I)	0,075 a	0,106 bc	0,180 a	72
T8(A+I+PK)	0,093 a	0,099 bc	0,061 ab	72

-----dms = 0,126 $cmol\ dm^{-3}$ -----

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n^o de observações.

Tabela 4.14 – Comparação entre médias do teor de K^+ trocável nas profundidades avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Profundidade (m)	Tratamento								n
	T1 (E)	T2 (E+NPK)	T3 (E+I)	T4 (E+I+PK)	T5 (A)	T6 (A+NPK)	T7 (A+I)	T8 (A+I+PK)	
0 – 0,20	0,041 B	0,035 B	0,103 A	0,062 B	0,083 A	0,077 A	0,076 B	0,093 A	72
0,20 – 0,40	0,182 A	0,212 A	0,069 A	0,470 A	0,138 A	0,081 A	0,186 A	0,099 A	72
0,40 – 0,60	0,077 B	0,039 B	0,067 A	0,035 B	0,081 A	0,039 A	0,168 A	0,061 A	72

-----dms = 0,097 $cmol\ dm^{-3}$ -----

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n^o de observações.

Na literatura, os resultados encontrados são divergentes. Karlen, Vitosh e Kunze, (1976) e Stewart, Hopmans, Flinn, (1990) observaram que a aplicação de efluente de esgoto tratado ocasionou diminuição do teor de K^+ , enquanto Cromer et al. (1984) e Al-Nakshabandi et al. (1997) verificaram a ocorrência de aumento na concentração de K^+ trocável; por outro lado, Feigin, Ravine e Shalhevet (1991) afirmam que, mesmo que haja aumento na concentração de K^+ disponível pela adição de águas residuárias ao solo, a quantidade desse nutriente exigido pelas plantas é tão elevada que dificilmente apenas a irrigação com efluente poderia suprir adequadamente as plantas.

Cromer et al. (1984), trabalhando em solos florestais com efluente de esgoto tratado durante três anos, constataram aumento no teor de K trocável. Al-Nakshabandi et al. (1997) evidenciaram aumento no teor de K até 60 cm de profundidade, após o cultivo de berinjela. Falkiner e Smith (1997) também verificaram aumento no teor de K em solos que receberam efluentes e tal efeito foi atribuído à presença desse cátion no efluente.

Tomé Júnior (1997) apresenta índices genéricos para classificação do teor de K^+ trocável: baixo ($K < 0,10 \text{ cmol dm}^{-3}$), médio ($0,11 < K < 0,30 \text{ cmol dm}^{-3}$) e alto ($K > 0,30 \text{ cmol dm}^{-3}$). Os resultados, apresentados nas Tabelas 4.13 e 4.14, mostram que os valores encontrados no experimento estão de acordo com classificação. Quanto à presença de maiores teores de K^+ trocável na profundidade de 0,20 – 0,40 m e sua disponibilidade na camada de maior concentração do sistema radicular, constitui uma evidencia de alta mobilidade no perfil.

Na Tabela 4.15 estão comparadas as médias do teor de Na^+ trocável dos tratamentos por profundidade: entre 0,0 – 0,20 m os tratamentos T6 (A+NPK) e T7 (A+I) não diferiram entre si e proporcionaram os maiores valores do teor de Na^+ . O tratamento T8 (A+I+PK) não diferiu de T6 e T7 e apresentou o segundo maior teor de Na^+ . O tratamento T5(A) não foi diferente dos T8(A+I+PK), T1(E) e T2(E+NPK); todos apresentaram valores intermediários para o teor de Na^+ . Os tratamentos T1 e T2 não diferenciaram entre si e apresentaram os menores teores de Na^+ .

Conforme se pode verificar na Tabela 4.16, em todos os tratamentos houve redução do teor de Na^+ trocável com o aumento da profundidade. Ainda, para os tratamentos T2(E+NPK), T3(E+I) e T4(E+I+PK) não houve diferença significativa do teor Na^+ em função da profundidade; nos demais tratamentos ficaram comprovados que: T1(E)

teve o maior teor de Na^+ na profundidade de 0,0 – 0,20 m, não diferenciaram do valor da profundidade de 0,20 – 0,40 m, e sim do valor em 0,40 – 0,60 m; valores médios dos teores de Na^+ dos tratamentos T5(A) e T7(A+I) não diferiram entre si na profundidade de 0,0 – 0,40 m, e sim dos valores da profundidade de 0,40 – 0,60 m nos mesmos tratamentos.

A diminuição do teor de Na^+ do solo nas faixas de profundidade de 0,0 – 0,40 m em todos os tratamentos, foi decorrente da adição de Ca^{2+} e Mg^{2+} , por meio da aplicação de calcário e de superfosfato simples (que contém de 18 a 20% de Ca^{2+}), que deslocou o Na^+ do complexo de troca, seja por sua valência ou pela concentração desses íons no solo. Outro fator que pode ter contribuído para a diminuição do Na^+ nas faixas de profundidade refere-se às chuvas ocorridas, principalmente durante o ciclo vegetativo e ao final do plantio.

Tabela 4.15 - Comparação entre médias do teor de Na^+ trocável dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tratamento	Profundidade (m)			n°
	0,00 - 0,20 m	0,20 - 0,40 m	0,40 - 0,60 m	
	----- cmol dm ⁻³ -----			
T1(E)	0,13 cd	0,12 c	0,09 b	72
T2(E+NPK)	0,13 cd	0,11 c	0,11 b	72
T3(E+I)	0,11 d	0,08 c	0,10 b	72
T4(E+I+PK)	0,12 d	0,11 c	0,11 b	72
T5(A)	0,17 bc	0,16 b	0,09 b	72
T6(A+NPK)	0,25 a	0,18 b	0,16 a	72
T7(A+I)	0,25 a	0,24 a	0,17 a	72
T8(A+I+PK)	0,22 ab	0,18 b	0,17 a	72
	-----dms = 0,045 cmol dm ⁻³ -----			

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações.

Tabela 4.16 - Comparação entre médias do teor de Na^+ trocável nas profundidades avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Profundidade (m)	Tratamento								n°
	T1 (E)	T2 (E+NPK)	T3 (E+I)	T4 (E+I+PK)	T5 (A)	T6 (A+NPK)	T7 (A+I)	T8 (A+I+PK)	
	----- cmol dm ⁻³ -----								
0,00 - 0,20	0,13 A	0,13 A	0,11 A	0,12 A	0,17 A	0,25 A	0,25 A	0,22 A	72
0,20 - 0,40	0,12 AB	0,11 A	0,10 A	0,11 A	0,16 A	0,18 B	0,24 A	0,18 AB	72
0,40 - 0,60	0,09 B	0,11 A	0,08 A	0,11 A	0,09 B	0,16 B	0,17 B	0,17 B	72
	-----dms = 0,035 cmol dm ⁻³ -----								

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações.

Aumento no teor de Na^+ trocável tem sido comum em solos irrigados com efluente de esgoto tratado (FEIGIN; RAVINA; SHALHEVET, 1991; PESCOD, 1992; BOND, 1998), notadamente em experimentos de longa duração (QUIN; WOODS, 1978; BALKS; BOND; SMITH, 1998).

Spair et al. (1999) usando efluente secundário para irrigação, constataram que, embora o teor de Na^+ tenha aumentado com a aplicação do efluente, o inverso ocorreu quando a irrigação cessou, devido ao efeito das chuvas na lixiviação desse cátion. Os mesmos autores verificaram que, tanto na camada superficial, como no subsolo, a macro e microporosidade e a porosidade total não foram afetadas pela disposição de efluente no solo.

Santos (2004), avaliando a possibilidade do uso de efluentes de lagoa de estabilização como fonte de água, em um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com capim-Tuifton 85, verificou que a presença de alguns constituintes, como, por exemplo, o Na^+ , pode acarretar sérias restrições a este uso. No entanto, o efluente foi eficiente em suprir o capim com água, não resultando em prejuízo por conta do acúmulo de massa seca.

Na Tabela 4.17 são apresentados os valores médios do teor de Ca^+ trocável dos tratamentos por profundidade. O tratamento T4 (E+I+PK) na profundidade de 0,0 – 0,20 m apresentou o maior valor do teor de Ca^{2+} e não diferiu estatisticamente de T3 (E+I) e T8 (A+I+PK). O tratamento T2 (E+NPK) apresentou o terceiro maior teor de Ca^{2+} e diferiu estatisticamente apenas do tratamento T6 (A+NPK)

Na profundidade de 0,20 – 0,40 m, os tratamentos T1 (E) e T6 apresentam-se estatisticamente diferenciados entre si e detêm o maior e o menor teor de Ca^{2+} , respectivamente; os demais tratamentos, apesar de terem valores diferentes quanto ao teor de Ca^{2+} , não diferiram estatisticamente entre si.

Na profundidade de 0,40 – 0,60 m, o tratamento T1(E) apresentou o maior valor do teor de Ca^{2+} , diferindo estatisticamente dos demais; os tratamentos T6(A+NPK) e T7 (A+I) não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram os menores teores de Ca^{2+} ; os demais tratamentos não se diferenciam estatisticamente e apresentaram teores intermediários de Ca^{2+} .

De acordo com a Tabela 4.18, os tratamentos, de modo geral, tiveram aumento dos teores de Ca^{2+} com a profundidade, com exceção do T3(E+I). Ainda nos demais tratamentos com efluente (ME) se evidenciam que a fonte de Ca^{2+} foi efetiva.

Os teores de Ca^{2+} não se diferenciaram entre si nos tratamentos T2 e T3, diferiram estatisticamente em relação a T1 e T4, na profundidade de 0,40 – 0,60 m, o teor de Ca^{2+} não apresenta diferença estatística das profundidades superiores.

Nos tratamentos com manejo de água (MA) não houve diferença estatística, nem observou a mesma efetividade, pois os teores foram inferiores aos de ME, sendo as únicas fontes de Ca^{2+} , calcário e adubação com superfosfato simples.

Tabela 4.17 – Comparação entre médias do teor de Ca^{2+} dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tratamento	Profundidade (m)			n°
	0,0 - 0,20 m	0,20 - 0,40 m	0,40 - 0,60 m	
	----- cmol dm ⁻³ -----			
T1(E)	1,14 c	1,65 a	2,55 a	72
T2(E+NPK)	1,37 bc	1,37 abc	1,63 b	72
T3(E+I)	1,72 ab	1,38 abc	1,38 bc	72
T4(E+I+PK)	1,95 a	1,45 ab	1,60 b	72
T5(A)	1,09cd	1,03 bc	1,29 bc	72
T6(A+NPK)	0,61 d	0,93 c	0,96 c	72
T7(A+I)	0,93 cd	0,97 bc	0,98 c	72
T8(A+I+PK)	1,19 ab	1,24 bc	1,51 b	72
	----- dms = 0,506 cmol dm ⁻³ -----			

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações.

Tabela 4.18 - Comparação entre médias do teor de Ca^{2+} nas profundidades, avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Profundidade (m)	Tratamento								n°
	T1 (E)	T2 (E+NPK)	T3 (E+I)	T4 (E+I+PK)	T5 (A)	T6 (A+NPK)	T7 (A+I)	T8 (A+I+PK)	
	----- cmol dm ⁻³ -----								
0,00 - 0,20	1,14 C	1,37 A	1,72 A	1,95 A	1,09 A	0,61 A	0,93 A	1,19 A	72
0,20 - 0,40	1,65 B	1,37 A	1,38 A	1,45 B	1,03 A	0,93 A	0,97 A	1,24 A	72
0,40 - 0,60	2,55 A	1,63 A	1,38 A	1,60 AB	1,29 A	0,96 A	0,98 A	1,51 A	72
	----- dms = 0,389 cmol dm ⁻³ -----								

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações.

John e McConchie (1994b) verificaram que a irrigação com efluente ocasionou aumento nos teores de Ca^{2+} até 50 cm de profundidade.

Os registros na literatura que relatam aumento (JOHN; McCONCHIE, 1994b; FALKINER; SMITH, 1997) ou decréscimo (JNAD et al. 2001a; e GARCIA, 2003) nos teores de Ca^{2+} trocáveis no solo, em resposta à aplicação de águas residuárias está diretamente relacionado à concentração na água residuária aplicada, ao percentual absorvido pelas plantas e à lixiviação no perfil do solo.

Tem sido observado leve incremento nos teores de Ca^{2+} trocáveis em solos irrigados com efluente de esgoto tratado, notadamente em solos florestais (CROMER et al., 1984; SPEIR et al. 1999) e pastagens (QUIN; WOODS, 1978), após longos períodos de irrigação.

Na Tabela 4.19 são apresentadas as médias de teores de Mg^{2+} trocáveis dos tratamentos avaliados por profundidade. Os tratamentos T3 (E+I) e T4(E+I+PK) não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram os maiores teores de Mg^{2+} ; o tratamento T6 (A+NPK) proporcionou o menor teor de Mg^{2+} , mas não foi diferente, estatisticamente, dos tratamentos T1(E), T2(E+NPK), T5(A), T7(A+I) e T8(A+I+PK), os quais apresentaram valores intermediários para o teor de Mg^{2+} .

Na profundidade de 0,20 – 0,40 m, o tratamento T6 diferiu estatisticamente e apresentou o maior teor de Mg^{2+} ; no T1(E) o segundo maior valor do teor de Mg^{2+} e os demais tratamentos, além de não diferiram estatisticamente de T1(E), apresentaram valores intermediários de teor de Mg^{2+} .

Na profundidade de 0,40 – 0,60 m os tratamentos T1(E) e T7(A+I) diferenciam estatisticamente entre si, proporcionando o maior e o menor valor de teor de Mg^{2+} , respectivamente. Não houve diferença estatística entre os outros tratamentos

Os dados da Tabela 4.20 evidenciam que os tratamentos T1(E), T2(E+NPK), T5(A), T7(A+I) e T8(A+I+PK) não tiveram diferenças significativas de teores de Mg^{2+} com a profundidade. Em T3(E+I) e T4(E+I+PK), na profundidade de 0,0 – 0,20 m verificaram-se os maiores teores de Mg^{2+} , diferenciados dos encontrados nas profundidades subseqüentes; em T6(A+NPK) o maior teor de Mg^{2+} correspondeu à profundidade de 0,20 – 0,40 m, um valor que se diferencia estatisticamente dos apresentados nas profundidades de 0,0 – 0,20 m e 0,40 – 0,60 m.

A constatação das diferenças significativas no incremento dos teores de Mg^{2+} trocáveis no solo, em resposta ao tipo de manejo, evidencia que a aplicação de efluente pode ser uma alternativa de aporte de Mg^{2+} ao solo.

Tabela 4.19 - Comparação entre médias do teor de Mg^{2+} dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tratamento	Profundidade (m)			n°
	0,00 - 0,20 m	0,20 - 0,40 m	0,40 - 0,60 m	
	----- cmol dm ⁻³ -----			
T1(E)	0,88 bc	1,08 ab	1,30 a	72
T2(E+NPK)	0,88 bc	0,94 b	0,70 ab	72
T3(E+I)	1,61 a	1,02 b	0,89 ab	72
T4(E+I+PK)	1,81 a	0,95 b	0,89 ab	72
T5(A)	0,68 bc	0,73 b	1,10 ab	72
T6(A+NPK)	0,38 c	1,74 a	0,72 ab	72
T7(A+I)	0,63 bc	0,57 b	0,53 b	72
T8(A+I+PK)	1,16 ab	0,76 b	0,90 ab	72
	----- dms = 0,705 cmol dm ⁻³ -----			

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações.

Tabela 4.20 - Comparação entre médias do teor de Mg^{2+} nas profundidades avaliadas por tratamento pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Profundidade (m)	Tratamento								n°
	T1 (E)	T2 (E+NPK)	T3 (E+I)	T4 (E+I+PK)	T5 (A)	T6 (A+NPK)	T7 (A+I)	T8 (A+I+PK)	
	----- cmol dm ⁻³ -----								
0,00 - 0,20	0,88 A	0,88 A	1,61 A	1,81 A	0,68 A	0,38 B	0,63 A	1,16 A	72
0,20 - 0,40	1,08 A	0,94 A	1,02 B	0,95 B	0,73 A	1,74 A	0,57 A	0,76 A	72
0,40 - 0,60	1,30 A	0,70 A	0,89 B	0,89 B	1,10 A	0,72 B	0,53 A	0,90 A	72
	----- dms = 0,543 cmol dm ⁻³ -----								

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações.

John e McConchie (1994b) verificaram que a irrigação com efluente não alterou o teor de Mg^{2+} trocável, mas aumentou sua concentração lixiviada na solução do solo. Falkiner e Smith (1997) encontraram aumento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em solos irrigados com água residuária.

Quanto à Percentagem de Sódio Trocável (PST) (Tabela 4.21), de maneira geral seus valores foram superiores nos tratamentos que tiveram manejo com água (MA) em relação aos manejados com efluente (ME).

Os tratamentos com MA mostram que, na profundidade de 0,0 - 0,20 m, T6 (A+NPK) alcançou o maior valor de PST, e T5(A) o menor, embora não tenha havido diferença significativa entre T7(A+I) e T8(A+I+PK). Na profundidade de 0,20 - 0,40 m,

apesar de T5(A) apresentar o maior valor de PST, os tratamentos não tiveram diferença significativa. Na camada de 0,40 – 0,60 m o tratamento T5(A) apresentou o menor valor de PST, que diferiu estatisticamente dos demais. Os tratamentos T6(A+NPK), T7(A+I) e T8(A+I+PK) não tiveram diferença significativa, com destaque para T8(A+I+PK), que apresentou o maior valor de PST, seguido de T6(A+NPK).

De acordo com ME (manejo com efluente), constatou-se que T1(E) e T4 (E+I+PK) apresentaram, na camada de profundidade 0,0 – 0,20 m o maior e o menor valor de PST, embora T1(E) não tenha diferido estatisticamente dos outros. Na profundidade de 0,20 – 0,40 m não houve diferença significativa entre os tratamentos, embora T4(E+I+PK) tenha apresentado o maior valor de PST. Na profundidade de 0,40 – 0,60 m, T3(E+I) foi o tratamento que apresentou maior valor de PST, não diferindo estatisticamente dos tratamentos T2(E+NPK) e T4. Ainda nesta camada, o tratamento T1(E) apresentou o menor valor de PST, diferindo estatisticamente dos outros tratamentos.

Conforme demonstrou a Tabela 4.22, a média da variável PST avaliada nas profundidades, por tratamento, evidencia que em T4(E+I+PK) não houve diferença significativa entre as profundidades, com maior valor de PST localizado na profundidade de 0,40 – 0,60 m. Em T1(E) se observou que o maior valor de PST foi à profundidade de 0,0 – 0,20 m, diferenciando-se estatisticamente dos valores das outras profundidades. Os tratamentos T2(E+NPK) e T3(E+I) não diferiram estatisticamente e tiveram comportamentos semelhantes, com diminuição do valor de PST na camada de 0,20 – 0,40m e aumento na camada posterior.

Tabela 4.21 – Comparação entre as médias da concentração de PST dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tratamento	Profundidade (m)			n°
	0,0 - 0,20 m	0,20 - 0,40 m	0,40 - 0,60 m	
	-----%-----			
T1(E)	6,01 bcd	3,37 b	2,15 d	72
T2(E+NPK)	3,68 cd	3,23 b	3,72 bcd	72
T3(E+I)	3,96 cd	2,31 b	5,19 abc	72
T4(E+I+PK)	3,38 d	3,54 b	4,30 bcd	72
T5(A)	6,59 bc	8,04 a	3,63 cd	72
T6(A+NPK)	10,72 a	7,55 a	6,74 ab	72
T7(A+I)	8,42 ab	7,87 a	5,75 ab	72
T8(A+I+PK)	8,19 ab	7,75 a	7,39 a	72
	-----dms = 3,06 %-----			

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações.

Tabela 4.22 - Comparação entre as médias da concentração de PST nas profundidades avaliadas por tratamento, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Profundidade (m)	Tratamento								n°
	T1 (E)	T2 (E+NPK)	T3 (E+I)	T4 (E+I+PK)	T5 (A)	T6 (A+NPK)	T7 (A+I)	T8 (A+I+PK)	
	-----%-----								
0,0 - 0,20	6,01 A	3,68 A	3,96 AB	3,38 A	6,59 A	10,72 A	8,42 A	8,19 A	72
0,20 - 0,40	3,37 B	3,23 A	2,31 B	3,54 A	8,04 A	7,55 B	7,87 AB	7,75 A	72
0,40 - 0,60	2,15 B	3,72 A	5,19 A	4,30 A	3,63 B	6,74 B	5,75 B	7,39 A	72
	-----dms = 2,35 %-----								

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações.

Os resultados mostram que o solo irrigado com efluente não apresentou perigo de sodificação, embora se tenha constatado, na profundidade de 0,20 – 0,40 m, nos tratamentos manejados com água, valores de PST próximos a oito.

Santos (2004), avaliando o efeito da irrigação com efluente em capim-Tufton 85, constatou que maiores valores de PST (5,56 a 7,42 %) foram obtidos na superfície do solo (camada 0-10 cm), permanecendo abaixo do limite mínimo de 15 % considerado como indicador de sodicidade do solo. No entanto, outros estudos consideram limites inferiores a 15% como indicativos de que o solo pode estar sujeito a degradações estruturais (RENGASAMY; OLSSON, 1991; SUMMER, 1993; HALLIWELL; BARLOW; NASH, 2001).

O aumento dos valores percentuais de sódio trocável (PST) com o passar do tempo indica a tendência de sodificação do solo. Aumentos de PST têm sido observados na literatura, na irrigação com água ou efluente (FALKINER; SMITH, 1997; BALKS; BOND; SMITH, 1998).

Medeiros (2005), avaliando o manejo de irrigação com água residuária e de represa, constatou ter havido incremento da RAS e da PST, sem contudo acarretar problemas na estrutura do solo.

A Tabela 4.23 apresenta os resultados da RAS do solo usado no experimento. A média da variável RAS, avaliada nas profundidades, por tratamento, mostra que aqueles manejados com efluente (ME) não tiveram diferenças significativas nas profundidades de 0,0 – 0,20 m, 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m. Nos tratamentos manejados com água (MA), T6 (A+NPK) apresentou o maior valor de RAS na profundidade de 0,0 – 0,20 m, diferindo

estatisticamente dos tratamentos T5 (A), T7 (A+I) e T8 (A+I+PK). T5 foi o tratamento que proporcionou o menor valor de RAS, apesar de não diferir estatisticamente do T8.

Na profundidade de 0,20 – 0,40 m o tratamento T7 difere estatisticamente dos demais tratamentos e proporcionou o maior valor de RAS. Os tratamentos T5(A), T6(A+NPK) e T8(A+I+PK) não diferiram estatisticamente, sendo T5(A) o que apresentou o menor valor, os demais tiveram valores intermediários.

Na primeira faixa de profundidade de 0,40 – 0,60 m o tratamento T5(A) diferiu estatisticamente dos demais e apresentou o menor valor de RAS. Os tratamentos T6(A+NPK), T7(A+I) e T8(A+I+PK) não diferiram estatisticamente, sendo T8(A+I+PK) o que apresentou o menor valor.

De acordo com a Tabela 4.24, a média da variável RAS avaliada nas profundidades, por tratamento, evidencia que não houve diferença significativa nos tratamentos com ME e, de modo geral, os valores foram inferiores aos de MA. De acordo com a profundidade, observou-se, em T2 (E+NPK), aumento da RAS, em T1(E), redução e nos tratamentos T3 (E+I) e T4 (E+I+PK), valores aproximadamente constantes.

Nos tratamentos com MA os valores de RAS diferiram estatisticamente. O T6(A+NPK) apresentou, na profundidade de 0,0 – 0,20 m, o maior valor de RAS, diferindo estatisticamente dos valores nas profundidades subsequentes. O tratamento T8 não diferiu estatisticamente nas respectivas profundidades; T5(A) e T7(A+I), nas profundidades 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, alcançaram valores que diferiram estatisticamente dos obtidos na profundidade de 0,40 – 0,60 m, nos respectivos tratamentos. No T6(A+NPK), os valores de RAS, nas profundidades de 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m, diferiram estatisticamente dos obtidos na profundidade de 0,0 – 0,20 m.

A adoção do MA foi significativamente mais efetiva no aumento da RAS do solo que no ME. O aumento da RAS do solo, verificado em ambos os manejos, foi atribuído à elevação da concentração de Na^+ em relação à de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Tabela 4.23 – Comparação entre as médias da razão de adsorção de sódio (RAS) dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tratamento	Profundidade (m)			n°
	0,00 - 0,20 m	0,20 - 0,40 m	0,40 - 0,60 m	
	------(moL L ⁻¹) ^{1/2} -----			
T1(E)	0,14 de	0,11 cd	0,08 c	72
T2(E+NPK)	0,13 e	0,11 cd	0,14 bc	72
T3(E+I)	0,10 e	0,07 d	0,10 c	72
T4(E+I+PK)	0,10 e	0,10 d	0,10 c	72
T5(A)	0,20 cd	0,18 bc	0,10 c	72
T6(A+NPK)	0,37 a	0,21 b	0,20 a	72
T7(A+I)	0,30 b	0,30 a	0,23 a	72
T8(A+I+PK)	0,21 c	0,20 b	0,17 ab	72
	-----dms = 0,067-----			

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações.

Tabela 4.24 - Comparação entre as médias da concentração de RAS nas profundidades, avaliadas por tratamento, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Profundidade (m)	Tratamento								n°
	T1 (E)	T2 (E+NPK)	T3 (E+I)	T4 (E+I+PK)	T5 (A)	T6 (A+NPK)	T7 (A+I)	T8 (A+I+PK)	
	------(moL L ⁻¹) ^{1/2} -----								
0,00 - 0,20	0,14 A	0,13 A	0,10 A	0,10 A	0,20 A	0,37 A	0,30 A	0,21 A	72
0,20 - 0,40	0,11 AB	0,11 A	0,07 A	0,10 A	0,18 A	0,21 B	0,30 A	0,20 A	72
0,40 - 0,60	0,08 B	0,14 A	0,10 A	0,10 A	0,10 B	0,20 B	0,23 B	0,17 A	72
	-----dms = 0,052-----								

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações;

Quanto aos micronutrientes no solo, os valores apresentados nas duas épocas, Tp₁ – 1^o plantio (04/10 a 18/12/2005) e Tp₂ – 2^o plantio (24/01 a 10/04/2006), para o atributo Fe disponível (Tabela 4.25), não diferiram estatisticamente entre si, nas profundidades de 0,0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m. Observou-se, nas respectivas profundidades, diminuição e aumento na concentração de Fe. Na de 0,40 – 0,60 m, houve diferença significativa entre época, com Tp₁ proporcionando o maior e Tp₂ o menor valor na concentração de Fe.

As concentrações de Cu na profundidade de 0,0 – 0,20 m não diferem entre si em Tp₁ e Tp₂, sendo o valor da concentração superior em Tp₂. Nas profundidades de 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m as concentrações de Cu diferenciaram estatisticamente entre si, sendo o maior valor obtido na profundidade de 0,20 - 0,40 m, para a época Tp₁.

Para as épocas Tp_1 e Tp_2 , as concentrações do micronutriente Zn diferiram entre si nas profundidades avaliadas. De maneira geral, a concentração diminuiu com a época e a profundidade de 0,20 – 0,40 m foi a que apresentou o maior valor da concentração de Zn.

Para o micronutriente Mn, os valores médios das concentrações diferiram estatisticamente nas épocas Tp_1 e Tp_2 com as profundidades analisadas. Nas camadas de 0,0 - 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, os valores de Mn aumentaram, diminuindo na camada de 0,40 – 0,60 m.

Na Tabela 4.26 são apresentadas às médias dos teores de micronutrientes (Fe, Cu, Zn e Mn), nas profundidades avaliadas, por época. Para as épocas Tp_1 e Tp_2 , os teores de Fe diferiram estatisticamente entre si, em função da profundidade do solo. Na Tp_1 , o maior teor foi observado na profundidade de 0,40 – 0,60 m; em Tp_2 houve diferença significativa entre os teores e se constatou na profundidade de 0,0 – 0,20 m, o maior teor de Fe.

Para o micronutriente Cu, na época Tp_1 , à profundidade de 0,20 – 0,40 m, o teor diferiu estatisticamente das outras, apresentando o maior valor. Na época Tp_2 , os teores de Cu não diferenciaram estatisticamente entre si e o maior valor foi observado na profundidade de 0,40 – 0,60 m.

O Zn apresentou, na época Tp_1 , para a profundidade de 0,0 – 0,40 m, teores aproximados e que, portanto, não diferiram significativamente entre si. Esses valores diferenciaram, no entanto, do teor de Zn na profundidade de 0,40 – 0,60 m, cujo valor foi o menor observado entre as profundidades; na época Tp_2 não foi observada diferença significativa entre os teores de Zn nas profundidades avaliadas.

Quanto ao micronutriente Mn, nas épocas Tp_1 e Tp_2 houve diferença significativa dos teores. Na época Tp_1 , os teores diferiram entre si, de acordo com a profundidade; o maior teor foi observado na profundidade de 0,40 – 0,60 m. Na Tp_2 , os teores se diferenciaram estatisticamente, sendo o maior deles correspondente à profundidade de 0,0 – 0,20 m.

Tabela 4.25 - Comparação entre as médias dos teores de micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn, conforme as épocas por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Época	Atributo	Profundidade (m)			n°
		0,00 - 0,20 m	0,20 - 0,40 m	0,40 - 0,60 m	
		-----mg dm ⁻³ -----			
Tp ₁	Fe	3,57 a	2,93 a	4,25 a	72
Tp ₂		34,00 a	3,05 a	2,49 b	72
		-----dms = 2,21mg dm ⁻³ -----			
Tp ₁	Cu	0,90 a	1,02 a	0,92 b	72
Tp ₂		0,93 a	0,97 b	0,98 a	72
		-----dms = 0,07 mg dm ⁻³ -----			
Tp ₁	Zn	2,00 a	2,02 a	1,75 a	72
Tp ₂		0,97 b	0,96 b	0,96 b	72
		-----dms = 0,02 mg dm ⁻³ -----			
Tp ₁	Mn	3,74 b	5,91 b	6,61 a	72
Tp ₂		9,04 a	7,07 a	5,31 b	72
		-----dms = 0,48 mg dm ⁻³ -----			

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações; Tp₁ - 1^o plantio (4/10 a 18/12/05); Tp₂ - 2^o plantio (24/01 a 10/04/06).

Tabela 4.26 - Comparação entre as médias da concentração de micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn nas profundidades, avaliadas por época, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Profundidade (m)	Atributos	Época		n°
		Tp ₁	Tp ₂	
		-----mg dm ⁻³ -----		
0,00 - 0,20	Fe	3,57 B	3,34 A	72
0,20 - 0,40		2,92 C	3,05 B	72
0,40 - 0,60		4,25 A	2,49 C	72
		-----dms = 2,65 mg dm ⁻³ -----		
0,00 - 0,20	Cu	0,90 B	0,93 A	72
0,20 - 0,40		1,02 A	0,97 A	72
0,40 - 0,60		0,92 B	0,98 A	72
		-----dms = 0,05 mg dm ⁻³ -----		
0,00 - 0,20	Zn	2,00 A	0,97 A	72
0,20 - 0,40		2,02 A	0,96 A	72
0,40 - 0,60		1,75 B	0,96 A	72
		-----dms = 0,09 mg dm ⁻³ -----		
0,00 - 0,20	Mn	3,74 C	9,04 A	72
0,20 - 0,40		5,91 B	7,07 B	72
0,40 - 0,60		6,61 A	5,31 C	72
		-----dms = 0,58 mg dm ⁻³ -----		

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; dms: diferenças mínimas significativas; n° de observações; Tp₁ - 1^o plantio (4/10 a 18/12/05); Tp₂ - 2^o plantio (24/01 a 10/04/06).

Mediante a aplicação de esgoto doméstico tratado no solo, ora tem havido aumento, ora tem ocorrido diminuição, ou mesmo, nenhuma influência da aplicação do efluente de esgoto doméstico nos teores de metais pesados disponíveis no solo.

Gomes (2004), estudando a utilização do lodo de esgoto da Compesa como fertilizante para a cultura do milho verificou que aplicação do lodo à cultura, não acarretou fitotoxicidade ou contaminação dos grãos por nenhum dos metais (Fe, Cu, Zn, Mn) estudados.

Nascimento et al, (2004) analisando metais pesados em argissolo verificaram que os teores de metais pesados com potencial de contaminação adicionados ao solo pela mais alta dose de lodo, 16,4 4,6 e 6,2 mg dm⁻³ para Zn, Cu e Mn, respectivamente, foram muito menores que os limites preconizados pela Comunidade Européia e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), portanto dentro dos limites toleráveis de impacto ambiental.

Al-Jaloud et al. (1995) verificaram que, em solos cultivados com milho e irrigados com efluente, os teores de Cu, Fe, Mn e Zn diminuíram. John e McConchie (1994b) também observaram aumento nos teores de Zn mediante disposição de águas residuárias no solo, assim como o incremento nos teores de Fe, Mn e Ni na solução do solo.

Al-Nakshabandi et al. (1997) verificaram aumento nos teores de Cu, Fe, Mn, Zn, Cd e Pb em solos irrigados com efluente de esgoto tratado. Tais efeitos foram atribuídos à presença desses elementos no efluente utilizado para irrigação.

Segundo Bouwer e Chaney (1974), seria necessário um século de irrigação com EET para que os teores de metais pesados atingissem valores equivalentes àqueles encontrados em um solo que recebeu aplicação de biossólido por apenas um ano. Evidentemente, os teores seriam variáveis em função da taxa de aplicação e da qualidade do biossólido.

Cameron, Di e McLaren (1997), ressaltam a importância do monitoramento dos teores de metais pesados ao longo do tempo em solos utilizados para disposição de resíduos, inclusive solos irrigados com efluente de esgoto tratado (BOND, 1998).

4.3.3. Efeitos do tipo de manejo nos atributos físico-hídricos do solo

Na Tabela 4.27 encontram-se os valores da Média, Desvio-padrão e Coeficiente de Variação dos atributos físico-hídricos do solo (densidade do solo, densidade das partículas, porosidade total) para cada tratamento e faixa de profundidade, em função dos manejos adotados (ME – manejo com efluente) e (MA – manejo com água). Observaram-se, de

modo geral, alterações nas épocas e em cada faixa de profundidade para os atributos avaliados, em resposta à utilização de diferentes tipos de manejos.

A densidade do solo é um atributo que apresenta baixa variabilidade e um coeficiente de variação inferior a 15% segundo Warrick (1998).

Os resultados apresentados na Tabela 4.27 são condizentes com essa afirmação, pois o CV variou de 0,57 a 14,42%, e a maior variabilidade dos dados ocorreu na camada mais superficial do solo, de 0,0 - 0,20 m.

A baixa variabilidade na densidade do solo e a tendência a uma distribuição normal dos dados têm sido constatadas por diversos autores, como Folegatti (1996), Souza et al. (2001), Utset e Cid (2001), entre outros.

Durante o período de desenvolvimento do experimento não se identificou maiores alterações da densidade do solo. A variação da densidade do solo ao longo do tempo foi observada por Xu e Mermoud (2001), Corsini e Ferraudo (1999). Esse atributo do solo mostrou-se propenso a aumentar ao longo do tempo, devido à acomodação do solo com os sucessivos ciclos de molhamento e secagem, pelo impacto das gotas de chuva e pela desintegração dos agregados do solo.

Tabela 4.27 - Alterações físico-hídricas do solo, em resposta ao tipo de manejo adotado nos tratamentos

Tratamento		Ds	Dp	Porosidade	Ds	Dp	Porosidade	Ds	Dp	Porosidade
		-----Mg m ⁻³ -----			-----Mg m ⁻³ -----			-----Mg m ⁻³ -----		
		Profundidade: 0 - 0,20 m			Profundidade: 0,20 - 0,40 m			Profundidade: 0,20 - 0,60 m		
V ₀		1,26	2,68	52,98	1,30	2,66	51,12	1,36	2,67	50,93
T1(E)	Média	1,28	2,62	51,06	1,30	2,68	51,47	1,36	2,60	48,00
	Devspad	0,15	0,03	5,92	0,14	0,04	4,34	0,16	0,11	4,10
	CV (%)	11,51	1,10	11,59	10,41	1,51	8,44	11,82	4,03	8,55
T2(E+NPK)	Média	1,24	2,69	53,84	1,31	2,65	50,76	1,35	2,71	49,90
	Devspad	0,18	0,10	5,61	0,19	0,11	5,06	0,16	0,13	6,35
	CV (%)	14,42	3,88	10,42	14,16	4,04	9,96	11,46	4,75	12,73
T3(E+I)	Média	1,29	2,68	51,82	1,33	2,70	50,73	1,36	2,69	49,60
	Devspad	0,17	0,04	6,08	0,15	0,05	4,74	0,09	0,04	3,89
	CV (%)	13,17	1,41	11,73	11,28	1,67	9,35	6,69	1,50	7,84
T4(E+I+PK)	Média	1,26	2,72	53,54	1,32	2,59	48,87	1,35	2,63	48,76
	Devspad	0,16	0,05	6,82	0,15	0,03	6,39	0,19	0,06	6,80
	CV (%)	12,99	1,66	12,74	11,54	1,02	13,08	14,21	2,23	13,95
T5(A)	Média	1,30	2,61	50,17	1,34	2,64	49,31	1,52	2,66	42,73
	Devspad	0,06	0,04	2,81	0,10	0,04	4,37	0,07	0,02	2,41
	CV (%)	4,75	1,60	5,60	7,85	1,37	8,86	4,76	0,57	5,64
T6(A+NPK)	Média	1,21	2,68	54,66	1,23	2,71	54,51	1,28	2,76	53,36
	Devspad	0,13	0,07	5,45	0,14	0,04	4,91	0,08	0,12	4,73
	CV (%)	10,44	2,69	9,97	11,36	1,33	9,02	5,95	4,45	8,87
T7(A+I)	Média	1,26	2,82	55,27	1,29	2,73	52,77	1,33	2,67	50,16
	Devspad	0,07	0,11	1,16	0,17	0,14	4,31	0,12	0,08	5,68
	CV (%)	5,83	3,82	2,11	13,17	5,13	8,17	8,99	2,81	11,32
T8(A+I+PK)	Média	1,24	2,63	52,93	1,27	2,61	51,28	1,32	2,61	49,35
	Devspad	0,11	0,06	3,77	0,15	0,06	4,67	0,15	0,02	5,88
	CV (%)	8,87	2,23	7,13	11,76	2,13	9,10	11,32	0,88	11,92

Ds-densidade do solo; Dp-densidade das partículas; Devspad – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Os resultados apresentados na Tabela 4.27 mostram que a densidade das partículas, na profundidade de 0,0 – 0,20 m, tinha baixa variabilidade, segundo a classificação de Warrick (1998). A maior variabilidade ocorreu no tratamento T2(E+NPK), o qual apresentou um coeficiente de variação de 4,0%, próximo ao encontrado por Gonçalves (1997) e Fietz (1998).

A densidade das partículas depende da constituição mineralógica do solo, variando, na maioria dos solos minerais, entre 2,6 e 2,7 Mg m⁻³, valor próximo à densidade do quartzo, mineral prevalecente na fração grosseira do solo (HILLEL, 1998).

Contudo, segundo este mesmo autor, a presença de óxidos de ferro e de outros minerais com densidade acima de 2,9 Mg m⁻³ contribui para elevar a média da densidade das partículas, enquanto a presença de matéria orgânica de baixa densidade geralmente reduz a densidade média dos sólidos.

Os resultados médios apresentados na Tabela 4.27 mostram uma variação na faixa de 2,65 a 2,68 Mg m⁻³, dentro do esperado para uma grande variedade de solos, de acordo com Reichardt (1985).

O teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, mostra que não há efeito significativo para as variáveis respostas de tratamento, profundidade e tratamento *versus* profundidade, de densidade do solo, nem de densidade das partículas na análise das 72 observações feitas nos lisímetros.

A porosidade total é outro parâmetro do solo para o qual se espera encontrar baixa variabilidade (WARRICK, 1998). Os resultados da Tabela 4.28 mostram valores de CV de 2,11 a 13,95%. Resultados semelhantes na faixa dos valores de CV foram obtidos por Gonçalves (1997) e Guimarães (2000)

Na comparação de médias da variável resposta, porosidade total, apresentada na Tabela 4.29, verifica-se que esse parâmetro foi significativamente afetado pela profundidade, ao nível de 5% de probabilidade. Na profundidade de 0,0 – 0,20 m, a variável apresentou o maior valor de porosidade total ($\alpha = 52,91\%$) diferindo significativamente do valor encontrado em 0,40 - 0,60 m ($\alpha = 48,98\%$); em 0,20 – 0,40 m, a variável teve o valor intermediário ($\alpha=51,21\%$) sem, no entanto, se diferenciar dos outros valores. A Tabela 4.28 mostra a análise de variância para a variável resposta porosidade total, em função dos tratamentos, profundidade e tratamento *versus* profundidade.

Tabela 4.28 – Análise de variância das variáveis, tratamento, profundidade e tratamento *versus* profundidade

FV	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento (F1)	7	246,96489	35,28070	1,3924ns
Profundidade (F2)	2	186,39089	93,19544	3,6781 *
Inter. (F1) * (F2)	14	74,00627	5,28616	0,2086ns
Resíduo	48	1216,20987	25,33771	
Total	71			

O parâmetro resistência do solo à penetração (RSP) é muito utilizado para avaliar a compactação de solos agrícolas, a qual afeta o desenvolvimento radicular de diversas culturas, podendo limitar a camada do solo explorada pelas plantas, deixando-as mais susceptíveis ao estresse hídrico durante os períodos de seca.

As avaliações da RSP foram realizadas nos períodos referentes à floração do feijão, no 2^o plantio (64 DAE), em um sistema de amostragem que consistia em avaliar a resistência nas profundidades de 0,0 - 0,10 m, 0,10 – 0,20m, 0,20 - 0,30 m, 0,30 – 0,40 m. Existe uma ampla diversidade das condições de amostragem de RSP, como demonstram vários trabalhos. Dentre essas condições, destaca-se a época de coleta dos dados, que pode ser no florescimento ou na formação de vagens (STONE; SILVEIRA, 1999; DE MARIA;CASTRO; DIAS, 1999; WUTKE et al. 2000; TAVARES FILHO et al. 2001).

Tabela 4.29 – Valores médios de umidade volumétrica e resistência do solo à penetração

		Umidade	RSP	Umidade	RSP	Umidade	RSP	Umidade	RSP
		cm ³ cm ⁻³	Mpa	cm ³ cm ⁻³	Mpa	cm ³ cm ⁻³	Mpa	cm ³ cm ⁻³	Mpa
		Profundidade							
		0,0 - 0,10 m	0,10 - 0,20 m		0,20 - 0,30 m		0,30 - 0,40 m		
T1(E)	Média	0,11	0,68	0,12	0,49	0,12	0,25	0,14	0,19
	Devspad	0,03	0,23	0,02	0,06	0,02	0,00	0,03	0,04
	CV (%)	24,45	33,98	16,00	11,72	13,77	0,23	21,21	20,44
T2(E+NPK)	Média	0,05	0,51	0,06	0,60	0,03	0,68	0,05	0,57
	Devspad	0,02	0,19	0,01	0,17	0,01	0,20	0,02	0,08
	CV (%)	39,52	36,25	15,94	28,07	21,09	28,61	47,86	14,57
T3(E+I)	Média	0,06	0,81	0,08	0,64	0,07	0,39	0,09	0,28
	Devspad	0,03	0,22	0,01	0,04	0,00	0,12	0,01	0,12
	CV (%)	46,61	26,49	17,14	6,82	4,78	32,01	6,05	43,52
T4(E+I+PK)	Média	0,05	0,82	0,08	0,71	0,08	0,43	0,08	0,32
	Devspad	0,02	0,47	0,02	0,13	0,02	0,06	0,01	0,04
	CV (%)	43,46	57,42	23,01	18,22	20,42	13,35	16,27	13,15
T5(A)	Média	0,14	1,00	0,11	0,65	0,11	0,34	0,13	0,25
	Devspad	0,01	0,19	0,04	0,14	0,02	0,19	0,01	0,22
	CV (%)	8,08	18,67	33,81	21,58	21,46	55,10	8,89	89,68
T6(A+NPK)	Média	0,11	0,86	0,06	0,98	0,06	0,60	0,06	0,50
	Devspad	0,06	0,53	0,03	0,13	0,02	0,08	0,03	0,09
	CV (%)	49,62	61,11	59,18	13,65	38,74	13,73	48,56	18,43
T7(A+I)	Média	0,10	0,65	0,12	0,57	0,08	0,43	0,10	0,40
	Devspad	0,05	0,43	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02
	CV (%)	45,16	66,78	21,50	6,09	26,23	2,22	25,78	3,84
T8(A+I+PK)	Média	0,10	0,68	0,06	0,54	0,10	0,51	0,09	0,46
	Devspad	0,05	0,11	0,03	0,23	0,11	0,21	0,02	0,25
	CV (%)	45,16	16,06	43,73	9,58	10,56	42,23	18,80	54,85

RSP – resistência do solo à penetração; Devspad – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

A medida do coeficiente de variação (Tabela 4.29) oscilou, em geral, entre 20 e 40%, o que permite classificar a RSP como de variabilidade média para alta, segundo Warrick (1998).

Para comparação das médias das variáveis resposta umidade do solo e RSP *versus* profundidade por tratamento, utilizou-se o teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

A variação de RSP (Tabela 4.30) por profundidade, entre os tratamentos, evidencia que, nas de 0,0 – 0,10 m e 0,20 – 0,30 m os tratamentos não apresentam diferença significativa; na de 0,10 – 0,20 m os tratamentos T6 (A+NPK) e T8 (A+I+PK) diferem estatisticamente e apresentam os maiores valores de RSP; na de 0,30 – 0,40 m os tratamentos T2 (E+NPK) e T4 (E+I+PK) diferiram estatisticamente e detiveram os maiores valores de RSP.

Na Tabela 4.31 são apresentados os valores de umidade das diversas profundidades, para os tratamentos avaliados. Constatou-se significância na profundidade de 0,0 – 0,10 m, na qual os tratamentos T6 (A+NPK) e T8 (A+I+PK) apresentaram os maiores valores de umidade, o mesmo acontecendo na profundidade de 0,10 – 0,20 m, com o tratamento T5 (A), apresentando maior valor de umidade; na profundidade de 0,20 – 0,30 m em nenhum tratamento ocorreu diferença significativa e, na de 0,30 – 0,40 m o T5 diferiu estatisticamente dos demais, com o maior valor de umidade volumétrica.

Tabela 4.30 – Comparação das médias de umidade e resistência do solo à penetração, dos tratamentos por profundidade, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tratamento	Atributo	Profundidade (m)				n°
		0,00 - 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 - 0,30 m	0,30 - 0,40 m	
-----cm ³ cm ⁻³ -----						
T1(E)	Umidade	0,07 ab	0,08 ab	0,07 a	0,08ab	96
T2(E+NPK)		0,05 b	0,04 b	0,07 a	0,05b	96
T3(E+I)		0,04 b	0,06 ab	0,07 a	0,06b	96
T4(E+I+PK)		0,03 b	0,08 ab	0,07 a	0,07ab	96
T5(A)		0,08 ab	0,10 a	0,11 a	0,12a	96
T6(A+NPK)		0,12 a	0,05 ab	0,08 a	0,08ab	96
T7(A+I)		0,07 ab	0,08 ab	0,09 a	0,10ab	96
T8(A+I+PK)		0,11 a	0,06 ab	0,10 a	0,10ab	96
-----dms = 0,052 cm ³ cm ⁻³ -----						
-----MPa-----						
T1(E)	RPS	0,58 a	0,48 ab	0,36 a	0,32ab	96
T2(E+NPK)		0,49 a	0,51 ab	0,56 a	0,52a	96
T3(E+I)		0,63 a	0,57 ab	0,43 a	0,41ab	96
T4(E+I+PK)		0,61 a	0,57 ab	0,44 a	0,25b	96
T5(A)		0,73 a	0,52 ab	0,42 a	0,35ab	96
T6(A+NPK)		0,52 a	0,73 a	0,49 a	0,50ab	96
T7(A+I)		0,55 a	0,51 ab	0,42 a	0,35ab	96
T8(A+I+PK)		0,56 a	0,36 b	0,49 a	0,45ab	96
-----dms = 0,269 MPa-----						

Tabela 4.31 - Comparação de médias de umidade e resistência do solo a penetração por profundidade para cada tratamento, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Profundidade (m)	Atributo	Tratamento								n°
		T1 (E)	T2 (E+NPK)	T3 (E+I)	T4 (E+I+PK)	T5 (A)	T6 (A+NPK)	T7 (A+I)	T8 (A+I+PK)	
-----cm ³ cm ⁻³ -----										
0,00 - 0,10	Umidade	0,07 A	0,05 A	0,04 A	0,03 B	0,08 A	0,12 A	0,07 A	0,11 A	96
0,10 - 0,20		0,08 A	0,04 A	0,06 A	0,08 A	0,10 A	0,05 B	0,08 A	0,06 B	96
0,20 - 0,30		0,07 A	0,07 A	0,07 A	0,07 AB	0,11 A	0,08 AB	0,09 A	0,10 AB	96
0,30 - 0,40		0,09A	0,05A	0,06A	0,07AB	0,12A	0,08AB	0,10A	0,10A	96
-----dms = 0,043cm ³ cm ⁻³ -----										
-----Mpa-----										
0,00 - 0,10	RPS	0,58 A	0,49 A	0,63 A	0,61 A	0,73 A	0,52 AB	0,55 A	0,56 A	96
0,10 - 0,20		0,48 AB	0,51 A	0,57 A	0,57 A	0,52 AB	0,73 A	0,51 A	0,36 A	96
0,20 - 0,30		0,36 AB	0,56 A	0,43 A	0,44 AB	0,42 B	0,49 B	0,42 A	0,49 A	96
0,30 - 0,40		0,32B	0,52A	0,41A	0,24B	0,35B	0,50AB	0,36A	0,45A	96
-----dms = 0,23 Mpa-----										

A Tabela 4.31 mostra que a maioria dos tratamentos apresentou valores de umidade muito próximos e que T1(E), T2(E+NPK) e T3(E+I), manejados com ME não tiveram diferença significativa, o mesmo acontecendo para os tratamentos T5(A) e T7(A+I), manejados com MA.

Quanto à RSP observa-se, na mesma tabela, que o padrão se repete, com destaque para os tratamentos T2(E+NPK) e T3(E+I) com ME e T7(A+I) e T8(A+I+PK) com MA, cujos valores de RSP não diferiram estatisticamente com a profundidade.

E ainda, constatou-se que, a maioria dos valores de RSP, manejados com efluente, foram inferiores àqueles manejados com água. Tais conclusões indicam que o manejo com efluente diminuiu a RSP, permitindo uma maior exploração de volume de solo por parte do sistema radicular.

Os valores máximos observados na Tabela 4.31 variaram de 0,24 a 0,73 MPa, ou seja, eram inferiores aos limites considerados restritivos ao desenvolvimento das raízes, segundo Grant e Lafond (1993).

Wutke et al. (2000) registraram médias máximas de RSP, de 5,0 a 7,0 MPa, entre as profundidades de 0,20 a 0,35 m, para o feijoeiro irrigado sob diferentes rotações de culturas, em três anos de ensaio.

Todavia, valores restritivos de RSP são arbitrários, não havendo um consenso sobre os limites a serem adotados, pois o desenvolvimento de uma cultura é influenciado por uma grande diversidade de fatores. Além disso, a RSP é um atributo dinâmico e que varia, espacial e temporalmente, por influência dos ciclos de umidade do solo, conforme demonstrado por Utset e Cid (2001).

Tavares Filho et al. (2001) relataram que valores de RSP superiores a 3,5 Mpa não restringiram o desenvolvimento radicular do milho. Para a cultura do feijoeiro, Stone e Silveira (1999) verificaram que valores de RSP atingiram limites superiores a 3,5 Mpa na época do florescimento e a 0,15 m de profundidade.

4.4. Produção e suas componentes

O número de vagens por planta dos tratamentos T4(E+I+PK), T5(A) e T7(A+I) foram os que apresentaram valores semelhantes para os dois períodos de colheita, tendo os demais tratamentos valores significativamente diferentes nos dois períodos (Tabela 4.32). Chagas et al. (1994) compararam o desempenho do feijoeiro sob dois sistemas de manejo de solo e submetidos a quatro lâminas de irrigação. Esses autores observaram, no segundo ano de cultivo, um efeito significativo dos sistemas de manejo sobre o número médio de vagens por planta.

O tratamento T4(E+I+PK), no primeiro plantio, apresentou o maior número de grãos por vagem, diferenciando estatisticamente dos tratamentos T1(E) e T6(A+NPK) que apresentaram o segundo e o terceiro maior valor para a componente. No segundo plantio, os tratamentos T1(E) e T3(E+I) diferiram estatisticamente entre si e apresentaram o maior número de grãos por vagem.

O peso de 1000 sementes os tratamentos T2 (E+NPK) e T4 (E+I+PK) não diferiram estatisticamente para os dois períodos de plantio e apresentaram os maiores valores para esse componente de produção. A matéria seca total da parte aérea apresentou no tratamento T4(E+I+PK) o maior valor para os dois períodos avaliados, não diferenciando entre si. Xu & Pierce (1998) avaliaram o desempenho da cultura do feijoeiro sob diferentes manejos do solo e verificaram que a biomassa da planta não diferiu estatisticamente entre si durante os dois anos em que foram conduzidos os plantios.

A produtividade dos tratamentos com efluente apresentou, de maneira geral, valores superiores aos do manejados com água. Os tratamentos T2(E+NPK) e T4(E+I+PK) tiveram diferença entre si nos dois plantios. Entre os tratamentos manejados com água T6 (A+NPK) e T8(A+I+PK) foram os que apresentaram maiores valores de produtividade. O valor da produtividade alcançada pelos tratamentos T2(E+NPK) e T4(E+I+PK) está na faixa de 1.800 a 2.500 kg ha⁻¹ e 1.200 a 1.800 kg ha⁻¹, respectivamente, dentro dos níveis de tecnologias NT₂ e NT₃, como preconizando por Chagas et al., (1999).

Comparando-se esses resultados com os obtidos por Andrade Júnior et al., (1999), para a cultura do feijão caupi, cultivada nas condições edafoclimáticas dos tabuleiros Costeiros do Piauí, verifica-se que a variável número de vagens por planta (19,6), foi superior ao desse trabalho apenas nos tratamentos T5 (A) e T7 (A+I) no primeiro e segundo

plantio, respectivamente. O número de grãos por vagem (15,7) obtidos pelo pesquisador foi superior, no primeiro plantio, aos encontrados nesse trabalho; no segundo os valores para este componente foram compatíveis. Finalmente, a produção média de 1.725,50 kg ha⁻¹, obtida pelo pesquisador, com água, foi inferior aos do tratamento T2 (E+NPK), obtidos em função de lâminas de irrigação, foram inferiores aos valores médios da componente vagem por planta para todos os tratamentos, nas duas épocas de plantio; o valor da componente número de grãos por vagem foi inferior aos de T1(E) e T3(E+I) no segundo plantio e a produção média foi inferior à alcançada pelo T2(E+NPK), obtidas nessa pesquisa, para as duas épocas de plantio.

Avaliando-se a componente produtividade para as duas épocas de plantio verificou-se que T1(E) obteve a quarta maior produtividade entre os tratamentos com ME, no entanto comparando-se a produtividade desse tratamento com os de MA, observou-se que a referida componente foi inferior apenas à do T6(A+NPK) e, aproximadamente, cinco vezes superior à do T5(A) nas duas épocas de plantio. Ainda com relação a este último verificou-se que no plantio de sequeiro a indisponibilidade de alguns nutrientes do solo pode ser corrigida com a oferta de nutrientes disponíveis no efluente.

Tabela 4.32 - Valores médios das componentes (*) de produção de feijão caupi irrigado com efluente secundário (ME) e água de abastecimento com diferentes tratamentos

Tratamento	Vagem por planta (n ^o)		Grãos por vagem (n ^o)		Peso de 1000 sementes (g)		Matéria seca total (g m ⁻²)		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	1 ^o plantio	2 ^o plantio	1 ^o plantio	2 ^o plantio	1 ^o plantio	2 ^o plantio	1 ^o plantio	2 ^o plantio	1 ^o plantio	2 ^o plantio
T1(E)	31,00b	53,92a	11,45ab	19,49a	174,73abc	182,93a	173,30cd	394,40cd	1108,37ab	1138,80c
T2(E+NPK)	58,55ab	67,74a	9,40ab	15,59bc	203,16a	208,35a	345,97ab	458,68b	1734,62a	2171,94ab
T3(E+I)	26,66b	55,07a	9,37ab	17,40b	159,00bc	181,70a	145,23cd	439,59bc	1226,83ab	1542,61c
T4(E+I+PK)	74,00a	86,15a	12,42a	15,32bc	209,53a	209,89a	396,03a	590,46a	1452,79ab	1687,07a
T5(A)	18,00b	21,00b	7,66ab	7,88e	121,76bc	156,46b	62,83d	33,73f	202,54b	205,14d
T6(A+NPK)	62,00ab	57,88a	10,20ab	12,51de	183,80ab	198,14a	245,90abc	370,86de	1218,04ab	1344,08bc
T7(A+I)	22,33b	18,78b	5,55b	12,30de	141,73c	143,25b	64,50d	71,92f	225,37b	246,84d
T8(A+I+PK)	56,66ab	63,47a	10,10ab	14,33cd	170,90abc	188,09a	205,66bcd	331,90e	1030,40ab	1119,17abc
CV(%)	(41,00)	(20,06)	(22,00)	(11,74)	(8,00)	(7,56)	(28,00)	(5,22)	(58,8)	(10,7)
DMS (5%)	(54,37)	(29,73)	(5,94)	(5,00)	(39,8)	(38,02)	(152,7)	(49,72)	(1449,3)	(422,4)

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.; CV (%) coeficiente de variação e DMS (5%) diferença mínima significativa a 5% de probabilidade; (*) Valores médios das componentes aos 78 dias após o plantio

5. Conclusões

As investigações das alterações físico-hídrica e química de um Argissolo Amarelo Eutrófico típico e dos componentes de produção da cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) fertirrigado com efluente de lagoa de polimento em lisímetros de drenagem, mostraram que:

A água de abastecimento, usada na irrigação, nos meses referentes ao primeiro e segundo plantio apresentou “nenhuma restrição” para salinização do solo. O efluente, no entanto foi restritivo durante os mesmos períodos, apresentando restrições de “ligeira a moderado”.

No que se refere aos riscos de redução de infiltração de água no solo, tanto a água como o efluente apresentou grau de restrição “severo” no mês de outubro. Para o restante do primeiro plantio, as restrições foram de “ligeiro a moderado” e a “severo”, respectivamente. No segundo plantio a água teve restrição de “ligeira a moderado”, enquanto o efluente teve “nenhuma restrição”.

Os valores baixos de RAS, devido às concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} , indicam que, tanto a água como o efluente pode ser manejado sem comprometimento.

Quanto à toxicidade específica, grau de restrição de “ligeira a moderado” e “nenhuma” foram atribuídos, na maior parte dos plantios, para água e efluente. Com referência ao Na^{+2} , verificou-se que a concentração deste elemento foi em média, superior na primeira fase do plantio.

O valor médio de pH na água e no efluente foi considerado normal para uso na irrigação. As concentrações médias de oligoelementos estão em conformidade com as diretrizes para uso na irrigação, por longos períodos.

Os manejos da irrigação mostraram que as épocas para a produção da referida variedade de feijão com fertirrigação foi compatível com o clima e o solo utilizado nos lisímetros. No entanto se faz necessária a validação no campo para compatibilizar as lâminas utilizadas com as demandas evaporimétricas e de tensão de umidade do solo.

A aplicação de efluente secundário foi eficaz no suprimento das necessidades hídricas do feijão e, devido à sua composição química, possibilitou melhoria na fertilidade do solo e na oferta de macronutrientes. A lâmina acumulada nos dois períodos supriu a demanda de N. Em relação aos micronutrientes (Fe, Cu, Zn, e Mn), as lâminas não supririam as necessidades no solo, devido às baixas disponibilidades do Fe, Cu e Mn disponíveis.

De maneira geral o manejo com efluente ME foi mais efetivo no aumento do pH do solo, no aumento do teor de Matéria Orgânica (MO) e no teor de Fósforo (P) trocável. Quanto ao aumento do teor de Potássio (K^+) trocável no solo, verificou-se o efeito mais pronunciado no manejo com água (MA). O teor de Sódio (Na^+) trocável do solo diminuiu no manejo com efluente nas faixas de profundidade de 0,0 – 0,40 m, fato decorrente da adição de Ca^{2+} e Mg^{2+} , por meio da aplicação de calcário e de superfosfato simples (que contém de 18 a 20% de Ca^{2+}). As chuvas ocorridas durante o ciclo vegetativo e ao final do plantio, também contribuíram para a diminuição do Na^+ nas faixas de profundidade.

O aumento do teor de Cálcio (Ca^{2+}) trocável no solo foi mais efetivo no manejo com efluente (ME) do que com água (MA). O incremento de magnésio (Mg^{2+}) trocável no solo ocorreu de forma mais expressiva no manejo com efluente (ME), evidenciando que a aplicação de efluente, pode ser uma alternativa de aporte de Mg^{2+} ao solo.

Os resultados referentes à Percentagem de Sódio Trocável (PST) mostram que, de maneira geral, os tratamentos que tiveram manejo com água (MA) apresentaram valores de PST superiores aos tratamentos manejados com efluente (ME).

A adoção do MA foi mais efetiva no aumento da RAS do solo que no ME. O aumento da RAS do solo, verificado em ambos os manejos, foi atribuído ao aumento da concentração de Na^+ em relação à de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A densidade do solo e das partículas não sofreu interferência dos manejos com efluente (ME) e com água (MA), no entanto a profundidade influenciou de forma discreta na porosidade total do solo. A resistência do solo à penetração foi mais efetiva no manejo com ME que no MA, proporcionando menores valores de resistência.

Nos componentes de produção o tratamento T2 (E+NPK) apresentou maior produtividade. O T1 (E) apresentou uma produtividade 15% inferior a do tratamento T6 (A+NPK), indicando que o uso do efluente pode favorecer a uma prática econômica e ser

uma opção a agricultura de sequeiro, onde a indisponibilidade de alguns nutrientes do solo pode ser corrigida com a oferta de nutrientes disponíveis no efluente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELLAH, A. R.; ASHBOLT, N. J. Innovative production treatment hydroponic farm for primary municipal sewage utilization. **Water Resource**, v. 34. n. 3, p.825-834, 2000.

ABELAIRAS, J. L. P.; LAPARAZÁN, J. C. P. **II Curso Internacional de Irrigação por Microaspersão**. Sobral-Ce Convênio DNOCS/YRYDA, ABID, 1983. p. 194.

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; BERTON, R. S. Análise química de solo para metais pesados. In: ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. Eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, SBCS, 2002. p.645-692.

AL- JALOURD, A.A.; HUSSAIN, G.; AL-SAATI, A.J.; KARIMULLA, S. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, p.1677-1692, 1995.

AL-NAKSHABANDI, G. A.; SAQQAR, M. M.; SHATANAWI, M. R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater or irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, v.38, p. 81-94, 1997.

ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Manejo de água em agricultura irrigada**. Teresina:EMBRAPA-UEPAE de Teresina, 1992. 37p. (EMBRAPA-UEPAE de Teresina. Circular Técnica, 10).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J; BASTOS, E. A. ; MELO, F. de B. **Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi**. Pelotas – RS, CONBEA, 1999.

ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e litoral piauiense**. 2000. 566f. (Tese – Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

ANDRADE NETO, C. O. O uso de esgotos sanitários e efluentes tratados na irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, 1991, Natal. **Anais...** Natal: Abid, 1992 p. 1961-2006.

ANDREOLI, C. V.; PERGORINI, E. S.; TAMANINI, C. R. Parâmetros para normatização do reúso agrícola. In: USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR: REALIDADE E PERSPECTIVAS, 1., 2005, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande, 2005. 1-CD-ROM.

ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n.1, p. 139 – 145, 1994.

APHA; AWWA & WPCF. Standard methods for examination of water and wastewater. 19^a ed., Washinton D.C./USA, **American Public Health Association**, 1995.

ARNT, R. Clara água, cara água, **Revista Super Interessante**, v.9, n.5, p.46-51, mai/1995.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. , 153p.

BAIER, D. C., FRYER, W. B. Undesirable plant responses with sewage irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, Proceedings of the American Socirty of Civil Engineers, v. 99, n. IR2, p. 133-142, 1973

BALKS, M.R.; BOND, W. J.; SMITH, C. J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under effluent-irrigation plantation. **Australian Journal of Soil Research**, v. 36, p. 821-830, 1998.

BASTOS, E.A.; FOLEGATTI, M.V.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; CARDOSO, M.J.; FARIA, R.T. Manejo econômico da irrigação do feijão caupi via modelo de simulação. **Irriga**, v. 5, n.2, p. 84-98, 2000.

BEEKMAN, G. B. Qualidade e conservação da água. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, **Conferência...**: Brasília: Associação Brasileira das Entidades de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1996.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7. ed. – Viçosa: Ed. UFV, 2005.

BIELORAI, H.; VAISMAN, I.; FEIGIN, A. Drip irrigation of cotton with treated municipal wastewater effluents: I. Yield response. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.231-234, 1984.

BOLE, J. B.; BELL, R. G. Land application of municipal sewage waste water: yield and chemical composition of forage crops. **Journal of Environmental Quality**, v. 7, p. 222-226, 1978.

BOND, W. J. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, v. 36, p.543-555, 1998.

BORELLA, J. E. **Efeito da irrigação com água salina e da lâmina de lixiviação na produção do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e na salinização do solo**. 1986. 82f. (Dissertação - Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1986.

BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. **Agricultural Water Management**, v.45, p.217-228, 2000.

BOUWER, H.; CHANEY, R. L., Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, v. 26, p. 133-176, 1974.

BOUWER, H.; IDELOVITCH, E. Quality requirements for irrigation with sewage water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 113, p. 516-535, 1987.

BRANDIMARTE, A. L., Crise da água – Modismo, futurologia ou uma questão atual ?, **Ciência Hoje**, n.154, out. 1999.

BREGA FILHO, D. B.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 21 – 36.

BRITO, P.R.F. de; MIRANDA, P.; MARANHÃO, E.H.A.; MARANHÃO, E.A.A.; ARAÚJO, J.P.P. de; WATT, E.E. Ensaio geral de cultivares de feijão macassar *Vigna unguiculata* (L.) Walp. tipo ramador. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v.7, n. especial, p. 63-68, 1990.

BURAU, R. G. ;SHEIH, B. ; CORT, R. P.; COOPER, R.C.; RIRIE, D. Reclaimed water for irrigation of vegetables eaten raw. **California Agriculture**, v.41, n. 7-8, p. 4-7, 1987.

CABARELLO, S. V.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; MATSUI, E.; VICTORIA, R. L. Utilização de fertilizante nitrogenado aplicado a uma cultura de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.9, p. 1031-1040, 1985.

CALVACHE, M.; REICHARDT, K.; SILVA, J. C. A.; PORTEZAN, FILHO, O. Adubação nitrogenada do feijão sob estresse de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 25., 1995, Viçosa. **Resumos expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. v. 2, p. 649-651.

CAMERON, K. C.; DI, H.J.; McLAREN. R. G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.995-1035, 1997.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19. n. 1, p. 121-126, jan. / abr. 1995.

CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; ATHAYDE SOBRINHO, C. **Cultura do feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) no Piauí: aspectos técnicos**. Teresina: Embrapa-Uepae, 1991. 43p. (Embrapa-Uepae de Teresina. Circular Técnica, 9).

CARDOSO, M.J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Densidade de plantas de caupi em regime irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.4, p.399-405, 1997.

CARDOSO, M.J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; ATHAYDE SOBRINHO, A.; RODRIGUES, B. H.N. Níveis de fósforo, densidades de plantas e eficiência de utilização da água em caupi de portes ramador e moita em areia quartzosa. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Resumos expandidos...** Fortaleza: UFC, 1998. p.146.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S., COSTA, L. M. Comportamento físico hídrico de um Podzólico Vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 257-265, fev. 1999.

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 5050-514, 1988.

CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 174f. (Tese - Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

CARTAXO, M. F. de S. **Aspectos sanitários de um sistema de irrigação, em escala piloto, utilizando esgoto doméstico tratado**. 2003. 174f. (Dissertação – Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

CAUPI movimentada mais de US\$ 249 milhões no Brasil. **Embrapa Meio-Norte**, Teresina, v. 3, n. 3, p. 4-5, jul. 2001.

CAVALCANTI, P. F. F.; van HAANDEL, A.; KATO, M. T.; van SPERLING, M.; LUDUVICE, M. L.; MONTEGGIA, L. O. Pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio por lagoas de polimento. In: CHERNICHARO (Coord). **Pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios**. Projeto Prosab Belo Horizonte Abes, 2001. p.105-170.

CHAGAS, J. M.; GOMES, J. M.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G. A. A. efeitos de quantidade de água sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em quatro sistemas de manejo do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 238, p. 641-50, 1994.

CHAGAS, J. M. ; BRAGA, J. M.; VIEIRA, C.; SALGADO, T. L.; NETO, A. J.; GERALDO, A. de A. A; ANDRADE, M. J. B.; LANA, Q. M. R.; RIBEIRO, C. A. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. de V.(eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5^o Aproximação**. Viçosa. 359 p, 1999.

CHRISTOFIDIS, D. **Olhares sobre a política de recursos hídricos no Brasil: o caso da bacia do São Francisco**. 2002. 432f. (Tese - Doutorado) – Universidade Nacional de Brasília, Brasília, 2002.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA C. J.; NOGUEIRA, C. P. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. **Revista**

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.8, n.1, p. 45-50, 2004.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2^o Aproximação**. Recife: IPA, 1998. 198p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivo e fertilizante em Minas Gerais: 5^a aproximação**. A.C. RIBEIRO, P.T.G. GUIMARAES, V. H. ALVARES V., editores. Viçosa. 359 p, 1999.

CORAUCCI FILHO, B. **Tratamento de esgoto doméstico no solo pelo método de escoamento superficial**. 1991. 400f. (Tese - Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.

COSTA, L. M. da; MATOS A. T. de. Impactos da erosão do solo em recursos hídricos. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p. 173 – 190.

CRAUFURD, P.Q.; QI, A.; ELLIS, R.H.; SUMMERFIELD, R.J.; ROBERTS, E.H. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*). II. Effect of temperature and saturation deficit on time to flowering in photoperiod insensate genotypes. **Experimental Agriculture**, v.32, p.13-28, 1996a.

CRAUFURD, P.Q.; SUMMERFIELD, R.J.; ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*). III. Effect of temperature and photoperiod on time to flowering in photoperiod-sensitive genotypes and screening for photothermal responses. **Experimental Agriculture**, v.32, p.29-40, 1996b.

CROMER, R. N.; TOMPKINS, D.; BARR, N. J.; HOPMANS, P. Irrigation of Monterey pine with wastewater ; effect on soil chemistry and groundwater composition. **Journal of Enviromental Quality**, v.13, p. 539-542, 1984.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. F.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, 1997.

DARWISH, M. R.; EL-AWAR, F. A.; SHARARA, M.; HAMDAR, B. Economic environmental approach for optimum wastewater utilization in irrigation: a case study in Lebanon. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 5, p. 41-48, 1999.

DAY, A.D.; MCFADYEN, J.A.; TUCKER, T.C.; CLUFF, C.B. Commercial production of wheat grain irrigated with municipal wastewater and pump water. **Journal of Environmental Quality**, v.8, p. 403-406, 1979.

DAY, A.D.; RAHMAN, A.; KATETERMAN, F. R. H.; JENSEN, V. Effects of treated municipal wastewater and commercial fertilizer on growth, fiber, acid-soluble nucleotides, protein and amino acid content in wheat hay. **Journal of Environmental Quality**, v.3, p.17-19, 1974.

DAY, A. D.; TUCKER, T.C. Effects of treated municipal wastewater on growth, fiber, protein and amino acid content of sorghum grain. **Journal of Environmental Quality**, v.6, p.325-327, 1977.

DE MARIA, I.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 703-709, 1999.

DOORENBOS, J.; PRUIT, W. O. Crop water requirement. FAO. **Irrigation and drainage**. Rome: FAO, 1977. 144p. (Paper 24)

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p 3-21. (SSSA Special publication, 35).

DOURADO NETO, D., FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba; Agropecuária, 2000 . p. 23-48.

DOURADO NETO, D.; van LIER, Q. J.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P. L. Programa para confecções da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de van Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, p. 92-102, 1990.

ELLIS, R.H.; LAWER, R.J.; SUMMERFIELD, R.J.; ROBERTS, E.H.; CHAY, P.M.; BROUWER, J.B.; ROSE, J.L.; YEATES, S.J. Towards the reliable prediction on time to flowering in six annual crops. III. Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Experimental Agriculture**, v.30, p.17-29, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para o cultivo do feijão: zonas 67, 70, 72, 75, 76, 87, 90 e 92**. Brasília, 1993. p. 33-38: Adubação química.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA **Manual de métodos de análise do solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 247p, 1997.

FALKINER, R.A.; SMITH, C.J. Changes in soil chemistry in effluent-irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis*. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.131-147, 1997.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. 2. ed. Piracicaba: Publique, 1997. 182p.

FEIGIN, A.; BIELORAI, H.; DAG, Y.; KIPNIS, T.; GISKIN, M. The nitrogen factor in the management of effluent-irrigated soils. **Soil Science**, v.125, p. 248-254, 1978.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FIETZ, C. R. **Variabilidade especial do armazenamento de água no solo visando o manejo da irrigação por aspersão**. 1998. 97p. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- universidade de São Paulo, Piracicaba.

FINK, D. R.; SANTOS, H. F. dos. A legislação do reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS H. F. das. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 261 – 290.

FOLEGATTI, M. V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**. 1996. 84f (Tese - Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1996.

FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. A.; GONÇALVES R. A. B. Uso de águas residuárias na agricultura. In: USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR: REALIDADE E PERSPECTIVAS, 1., 2005, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande, 2005. 1-CD-ROM.

FONSECA, A.F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 110f. (Dissertação - Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

FORSYTHE, W. M. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. **Fitotecnia Latinoamericana**. San Jose, v. 4, n. 2, 1967.

FRANCO, A. A. Nutrição nitrogenada da cultura do feijoeiro. **Informações Agrônomicas**, n. 70, p. 4-5, dez. 1995.

FREIRE, J.R.L.; KOLLING, J. Alguns tópicos sobre o manejo para a maximização do N₂ pela simbiose *Rhizobium*-leguminosas. In: REUNIÃO LATINA AMERICANA DE *Rhizobium*, 12, 1986, Campinas. **Anais...** Instituto Agrônomo, 1986. p.461-481.

FRIEDLER, E.; JUANICO, M. **Treatment and storage of wastewater for agricultural irrigation**. Tel-Aviv, Israel, 1996. Agritech/1996 (Agronitech Technology Ltda.).

GARCIA, G.O. **Alterações químicas, físicas e mobilidade de íons no solo decorrente da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos de cafeeiro canilon.** 2003. 100f. (Dissertação - Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol comum (*Phaseolus vulgaris* L.).** Cali: Ciati, 1982. 10p. (mimeogr.).

GOMES, S. B. V. **Utilização de lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho: efeitos no solo e na planta.** 2004. 54 f (Dissertação – Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004.

GONÇALVES, A. C. A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo de irrigação.** 1997. 118p. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- universidade de São Paulo, Piracicaba.

GRANT, C. A., LAFOND, G. P. the effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, n. 2, p. 223-32, 1993.

GUIMARAES, E. C. **Variabilidade especial de atributos de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional.** 2000. 90 f (Tese - Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINE, H.; BLANCO, H. G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantina**, v. 26, n. 30, p. 380-391, 1967.

HADLEY, P.; ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J. A quantitative model of reproductive development (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in relation to photoperiod and temperature, and implications for screening germoplasm. **Annals of Botany**, v.51, p.531-543, 1983.

HALLIWELL, D.J.; BARLOW, K.M.; NASH, D.M. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. **Australian Journal of Soil Research**, v.39, p. 1259-1267, 2001.

HESPANHOL, I. Guidelines and integrated measures for public health protection in agricultural reuse systems. **Journal Waster STR – Aqua**, Genebra, v.39, n.4, p. 237-249, 1990.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água.** Barueri: 2003.

HILLEL, D. Environmental soil physics. New York: Academic Press, 1998. 771p.

HOOK, J. E. Movement of phosphorus and nitrogen in soil following application of municipal wastewater. In: NELSON, D. W.; ELRICK, D. E.; TANJI, K.K. (Eds.) **Chemical mobility and reactivity in soil systems**. Madison: Soil Science Society of America, 1981. p.241-255.

HOOK, J. E.; KARDOS, L. T. Nitrate leaching during long-term spray irrigation for treatment of secondary sewage effluent on woodland sites. **Journal of Environmental Quality**, v. 7, p. 30-34, 1978.

HORTESTINE, C. C. Chemical changes in the soil solution from a Spodosol irrigated with secondary-treated sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p.335-338, 1976.

HUSSAIN, G.; AL-JALOUD, A. A. Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of barley in Saudi Arabia. **Agricultural Water Management**, v.36, p.55-70, 1998.

HUSSAIN, G.; AL-JALOUD, A. A.; KARIMULLA, S. Effect of treated effluent irrigation and nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of wheat. **Agricultural Water Management**, v. 30, p. 175-184, 1996.

INGLÉS, A.; GÓMEZ, M.; NOGALES, R. Efecto del riego con aguas residuales urbanas depuradas sobre la disponibilidad de metales pesados para la planta. **Suelo y Planta**, v.2, p. 703-712, 1992.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface drip of residential effluent: soil chemical characteristics. **Transaction ASAE**. St. Joseph. V.44, n.5, p.1159-1165, 2001b.

JOHN, G. G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. I. Field evaluation of effect on plant nutrients and additional elements in leaf, pulp and soil. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p. 1601 – 1617, 1994a.

JOHN, G. G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effects on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p. 1619 – 1638, 1994b.

JORDAN, D. C. Family III. Rizobeaceae Conn, 1938, 32 AL. In: KRIEG, N. R.; HOLT, J. G. (Eds.). **Bergerj's manual of systematic bacteriology**. London: William and Willians, 1984. v.1, p.234-256.

JORDAN, M.J.; NADELHOFFER, K. J.; FRY, B. Nitrogen cycling in forest and grass ecosystems irrigated with ¹⁵N-enriched wastewater. **Ecological Applications**, v. 7, p. 864-881, 1997.

JUCKEN, C. R. **Avaliação do reúso de efluentes tratados das agroindústrias de leite e carne sobre a produção da cultura da alface (*Lectuca sativa L.*) fertirrigada.** 2000. 73f. (Dissertação – Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2000.

KARDOS, L.T.; HOOK, J.E. Phosphorus balance in sewage effluent treated soils. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p.269-273, 1976.

JÚNIOR, R., J., I. **Análises estatísticas no SAEG** – Viçosa: UFV, 2001. 301p.

KARLEN, D.L.; VITOSH, M.L.; KUNZE, R.J. Irrigation of corn with simulated municipal sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p.262-273, 1976.

KOURAA, A.; FETHI, F.; FAHDE, A.; LAHLOU, A.; QUAZZANI, N. Reuse of urban wastewater treated by a combined stabilization pond system in Benslimane (Morocco). **Urban Water**, v. 4, p. 373-378, 2002.

LATTERELL, J.J.; DOWDY, R.H.; CLAPP, C.E.; LARSON, W.E.; LINDEN, D.R. Distribution of phosphorus in soils irrigated with municipal waste-water effluent: a 5-year study. **Journal of Environmental Quality**, v.11, p. 124-128, 1982.

LEITE, M.L.; RODRIGUES, J.D.; VIRGENS FILHO, J.S. Avaliação de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*) quanto à produtividade e componentes de produtividade, sob condições de estufa plástica. **Revista de Agricultura**, v.72, n.3, p.375-385, 1997.

LÉON, S. G.; CAVALINNI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias industriais.** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 110p.

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

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água nos solos de tabuleiro. In: Araújo, Q.R. de. (Org.). **500 anos de uso do solo no Brasil.** Ilhéus: Uesc, 2002. p. 581-596.

LINDASY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society American Journal.** 42: 421-428, 1978.

LITTLETON, E.J.; DENNET, M.D.; MONTEITH, J.L.; ELSTON J. The growth and development of cowpeas (*Vigna unguiculata*) under tropical field conditions. 2. Accumulation and partition of dry weight. **Journal of Agricultural Science**, v.93, p.309-320, 1979.

LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, v.3, p.67-72, 1963.

MAFRA, R. C.; VIEIRA, C.; BRAGA, J. M.; SIQUEIRA, C. BRANDES, D. Efeito da população de plantas e da época de semeadura no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*). IV. Absorção de nutrientes. **Experientiae**, v.17, n.9, p. 217- 239, 1974.

MAFRA, R.C. O feijoeiro “Caupi” (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) componente do sistema da agricultura no trópico semi-árido. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v.2, n.2, p. 176-186, 1978.

MAIA, F. M. M. **Composição e caracterização nutricional de três cultivares de Vigna unguiculata (L.) Walp: EPACE-10, Olho de ovelha e IPA-206**. 1996. 87f. (Dissertação - Mestrado) - Universidade Federal de Ceará, Fortaleza, 1996.

MALAVOLTA, E.; LIMA FILHO, O.F. Nutrição e adubação do feijoeiro. In FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: Esalq, 1997. p.22-51.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. São Paulo: Manole, 2003. 576p.

MARINHO, F. J. L. **Avaliação da tolerância a salinidade de cultivares e/ou linhagens de feijão caupi**; projeto de tese. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2000 127p.

MARQUES, M. O.; CORAUCI FILHO, B.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T. Uso de esgotos tratados em irrigação: aspectos agronômicos e ambientais. In: Bastos, R. K. X. (Coord.) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: Abes, 2003. p. 61-116.

MARQUES, J. D. O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na Região Amazônica. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 2, p. 145 – 154, 2004.

MASS, E. V. Crop tolerance to saline sprinkling water. **Plant and Soil**. v. 89, p. 273-284, 1985.

MATOS, A. T. Aproveitamento de efluentes líquidos domésticos e agroindústrias na agricultura. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 3 2003, Viçosa, 2003. 392p.

MEDEIROS, S. de S. **Alteração física e química do solo e estado nutricional do cafeeiro em resposta a fertirrigação com água residuária de origem doméstica**. 2005 114f. (Tese - Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

MEDEIROS, S. de S.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, J. A. A. Avaliação do manejo de irrigação no perímetro irrigado de Pirapora, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 80 - 84, 2003.

MELI, S. et al. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean conditions. **The Science of the Total Environment**, v. 285, p. 69-77, 2002.

MENEZES, J. R. de. Manejo da cultura de feijão: enfoque sistêmico. In: SIMPÓSIO DA CULTURA DO FEIJOAO IRRIGADO., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Esalq, Departamento de Produção Vegetal, 2001. p. 35-42.

MILLO, J. L.; CUNHA, J. B. **Manual do Sistema de Irrigação Xiquexique (Elaboração e Implantação de Projetos)**. Recife, Minter, Sudene, Seplan, CNPq, 1982. p. 144.

MIRANDA, T. L. G. **Reúso de efluente de esgoto doméstico na irrigação de alface (*Lactuca sativa* L.)** 1995, 109f. (Dissertação - Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

MIRANDA, P.; COSTA, A. F. da; OLIVEIRA, L.R.; TAVARES J.A.; PIMENTEL, M.L.; LINS, G.M.L. Comportamento de cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. nos sistemas solteiro e consorciado. I-Tipo ramador. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.23, n.1/2. p. 9-19, junho/dezembro, 1992.

MONTE, H. M.; SOUZA, M. S. Effects on crops of irrigation with facultative pond effluent. **Water Science and Technology**, v.26, n. 7-8, p. 1603-1613, 1992.

MARECOS DO MONTE, M.H.F. Major benefits and minor disadvantages of crop irrigation with pond effluent: a case study. In: IAWQ INTERNATIONAL SPACIALIST CONFERENCE ON WASTE STABILIZATION PONDS, 3, João Pessoa, 1995. **Proceedings...** João Pessoa: International Association on Water Quality, 1995.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, H.R.; SILVA, W.L.C **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1986. 12p.

MORAES, J. F. V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1988. p. 261-301.

MOTA, S. Aplicação de esgoto doméstico em irrigação. In: _____ (Org.). **Reúso de águas: a experiência da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, 2000. 276p

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C. ; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 385-392, 2004.

NEILSEN, G. H.; STEVENSON, D. S.; FITZPATRICK, J. J.; BROWNLLE, C. H. Yield and plant nutrient content of vegetable trickle-irrigated with municipal wastewater. **HortScience**, v.24, n.2, p. 249-252, 1989.

NOGUEIRA, M. L. V. Caracterização do sistema de lagoas de estabilização da estação de tratamento de esgotos do parque fluminense, em Fortaleza, Ceará. In: **Reúso de águas: a experiência da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza: Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, 1999. 276p.

OLITTA, A. F. L. **Os Métodos de irrigação**. São Paulo, Nobel, 1986, p. 267

OLIVEIRA, I.P. de; CARVALHO, A. M. de. A cultura do caupi nas condições de clima e solo dos trópicos úmidos e semi-áridos do Brasil. In: ARAÚJO, J.P.P. de; WATT, E.E. **O caupi no Brasil**. Brasília: Embrapa, Departamento de Publicações, 1988. p. 65-96.

OLIVEIRA, I. P. de; THUNG, M. D. T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1988. p. 175-212.

ORON, G. Soil as complementary treatment component for simultaneous wastewater disposal and reuse. **Water Science & Technology**, v. 34, p. 243 – 252, 1996.

ORTEGA-LARROCEA, M. P. et al. Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of Mexico. **Applied Soil Ecology**. v. 16, p. 149-157, 2001.

OVERMAN, A. R.; NGUY, A. Growth response and nutrient uptake by forage crops under effluent irrigation. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, p. 81-93, 1975.

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície**. São Paulo. Aesabesp, 232p. 1997.

PAGANINI, W.S. Reúso da água na agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. **Reúso de água**. Barueri, São Paulo: Manole, 2003.

PATERNIANI, J. E.; ROSTON, D. M.; PAULA JÚNIOR. D. R.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R.; RIBEIRO, T. A . P. **Diagnóstico da qualidade da água de pequenas propriedades produtoras de hortaliças da Região de Campinas, SP**. Campinas; Faculdade de Engenharia Agrícola. Unicamp, 1992.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 521-529, 2001.

PERES, J. R. R.; SUHET, A. R.; MENDES, I. C.; VARGAS, M. A. T. Efeito da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada em sete cultivares de feijão em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, n.3, p. 415-520, 1994.

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: FAO, 1992, 125p. (Irrigation and Drainage Paper, 47).

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2ª edición, 471p, 1990.

PHOGAT, B.S.; SINGH, D.P.; SINGH, P. Responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and Mung Bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) to irrigation. II. Effects on CO₂ exchange, radiation characteristics and growth. **Irrigation Science**, v.5, p.61-72, 1984.

POLGLASE, P. J.; TOMPKINS, D.; STEWART, L. G.; FALKINER, R. A. Mineralization and leaching of nitrogen in an effluent-irrigated pine plantation. **Journal of Environmental Quality**, v. 24, p. 911-920, 1995.

QUIN, B. F. Irrigation with sewage effluent. **New Zealand Journal of Agriculture**, v.5, p.30-32, 1978.

QUIN, B. F.; WOODS, P. H. Surface irrigation of pasture with treatedsewage affluent. III. Heavy metal content of sewage effluent, sludge, soil and pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.21, p.435-442, 1978.

QUIN, B. F.; WOODS, P. H. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent. I. Nutrient status of soil and pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 21, p.419-426, 1978.

QUIN, F. M. Introduction. In: SING, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIEL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Eds.) **Advances in cowpea research**. Ibadan: IITA-JIRCAS, 1997. p. ix-xv.

REGASAMY, P.; OLSSON, K.A. Sodicity and soil structure. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.29, p. 935-952, 1991.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4 ed. Rev. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445 p.

RESENDE, A.A.P. **Fertirrigação do eucalipto com efluente tratado de fábrica de celulose. Kraft Branqueada**. 2003. 152f. (Tese - Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ROSOLEM, C. A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: Potafos, 1987. 93p.

ROSSINI, J. B. Manejo da água de irrigação da Alfafa num Latossolo Vermelho Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.4, p. 503-507, 2002.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 699-707, 1998.

SANDRI, D.; VALENTIM, M. A. A.; ROSTON, D. M.; MATSURA, E. E.; MAZZOLA, M. Tratamento e aplicação de água residuária na irrigação: implantação de um protótipo experimental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 29, 2000, Fortaleza: UFC, 2000. CD-ROM.

SANTOS, A. P. R. dos. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com capim-Tufton 85**. 2004, 95f. (Dissertação - Mestrado).- Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

SANTOS, D. **Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo em Cambissolo distrófico (Epiálico) dos campos da Mantiqueira**. 1993, 99f. (Dissertação - Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1993.

SCALOPPI, E. I.; BAPTISTELLA, M. J. R. Considerações sobre a aplicação de efluentes ao solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12, 1986 , Anais... Brasília, 1986. p.1049-1067.

SCHALSHA, E. B.; VERGARA, I.; SCHIRADO, T.; MORALES, M. Nitrate movement in a Chilean agricultural area irrigated with untreated sewage water. **Journal of Environmental Quality**, v.8, p. 27-30, 1979.

SCHIPPER, L. A.; WILLIAMSON, J.C.; KETTLES, H. A.; SPAEIR, T. W. Impact of land applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. **Journal of Environmental Quality**, v.25, p.1073-1077, 1996.

SEGARRA, E.; DARWISH, M.R.; ETHRIDGE, D.E. Returns to municipalities from integrating crop—production with wastewater disposal. **Resources, Conservation & Recycling**, v.17, p.97-107, 1996.

SETTI, A. A.; LIMA, J. A. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. de C. Introdução ao gerenciamento dos recursos hídricos. 3. ed. Brasília: Aneel, 2002.

SEYBOLD, C.A.; HERRICKK, J.E.; BREJA, J. J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, p. 224 - 234, 1999.

SILVA, I. P. da; SILVA, J. A. A. da **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária**. Recife – PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco, p.305, 1999.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. **A new version of the Assistat-Statistical Assistance Software**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: Anais... Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p. 393-396.

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS. 2ª Edição. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p. 2006.

SINGLETON, P. W.; TAVARES, J.W. Inoculation responses of legumes in relation to the number and effectiveness of indigenous *Rhizobium* populations. **Applied Environmental Microbiology**, v.51, p. 1013-1018, 1986.

SOLOMON, E.B.; POTENSKI, C.J.; MATTHEWS, K. R. Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* 0157:h7 on lettuce. **Journal of Food Protection**, v.65, p.673-676, 2002.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p.367-372, 1997.

SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; CALDAS, R. C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. In: Cintra, F. L. D.; Anjos, J. L. dos; Ivo, W. M. P. de M. (eds.) **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**, Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 169-190.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARAES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um solo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 699-797, 2001.

SMITH, C. J.; HOPMANS, P.; COOK, F.J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn, and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.94, p. 317-323, 1996.

SPEIR, T.W.; VAN SCHAİK, A. P.; KETTELS, H. A.; VICENT, K. W.; CAMPBELL, D. J. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation into steeply sloping land. **Journal of Environmental Quality**, v.28, p. 1105-1114, 1999.

STAMFORD, N. P. ; FREITAS, D. S.; MONTENEGRO, A.; SANTOS, C. E. R. S. Nitrogen fixation and growth of cowpea (*Vigna unguiculata*) yam bean (*Pachyrhizus erosus*) in a sodic as affected by gypsum and sulphur inoculated with *Thiobacillus* and rhizobial inoculation. **Tropical Grasslands**, v. 37, p. 11-19, 2003.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. Seleção de estirpes de *Rhizobium* para caupi resistentes a temperaturas elevadas. **Caderno Ômega**, Série Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, v. 1, p. 61-73, 1985.

STEELE, W.M.; MEHRA, K.L. Structure, evolution, and adaptation to farming systems and environments in *Vigna*. In: SUMMERFIELD, R.J.; BUNTING, A.H. (Eds.). **Advances in legume science**. Kew: Royal Botanic Garden, 1980. p.393-404.

STEWART, H.T.L.; HOPMANS, P.; FLINN, D. W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.63, p. 155-177, 1990.

STONE; L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.395-401, 2001.

SUMMER, M.E. Sodic soils: new perspectives. **Australian Journal of Soil Research**, v. 31, p. 683-750, 1993.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular do milho (*Zea Mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 725-730, 2001.

THIES, J.E.; SINGLETON, P.W.; BOHLOOL, B.B. Influence of size of indigenous rhizobial populations on establishment and symbiotic performance of introduced rhizobial on field-grown legumes. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 57, p.19-28, 1991.

TOMÉ Jr, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TRENTIN, C. V. **Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de água residuárias para irrigação, nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba-PR**. 2005. 112f. (Dissertação - Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

TRINIDAD, J. G., GONZÁLES, J. A. D.; LUJAN, A. V. Recuperación y reutilización de las aguas residuales en la producción agrícola y pecuaria de las zonas áridas. XI CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN. México: 2001. Disponível em: <http://www.chapingo.mx/anei/xicongreso/Doc/S90106.pdf> Acesso em; 20 dez. 2005.

TSUTIYA, M. T. Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, **Anais...** São Paulo, Abes, 1978. p. 1-16.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis** Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1977.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2003.

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsolo at several soil moisture conditions. **Soil & Tillage Research**, v. 61, p. 193-202, 2001.

VAN GENUTCHEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated conditions. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, p. 892-8, 1980.

VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. **Water Science & Technology**, v. 33, p.355-362, 1996.

VIEIRA DE AZEVEDO, C. A. **Processos analíticos e gráficos para dimensionamento de laterais e terciárias no sistema de irrigação localizada com tubos perfurados (Sistema Xiquexique)**. 1984. 204f. (Dissertação - Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande 1984.

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n. 7, p. 873-882, jul. 1995.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo roxo em Campinas (SP). **Bragantina**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 181-190, 1997.

VIGNOLI FILHO, O. A saúde no uso e reúso da água: conflito e solução. **Jornal da Abes-MG**, v.8, n.30, p.7, mar/2000.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998. p. 655-675.

XU, D.; MERMUOUD, A. Topsoil properties as affected by tillage practices in North China. **Soil & Tillage Research**, v. 60, p. 11 – 19, 2001.

WARRICK, A.W. Spatial variability. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1988. p.655-675.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FRANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A; SAKAI, E.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular dos feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 621-633, 2000.

ZOLDOSKE, D. F. **Subsurface Drip Irrigation (SDI) on Turfgrass: a university experience**. Fresno: Center for Irrigation Technology, 1995.-

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)