



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



**ASPECTOS SANITÁRIOS DE UM SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO, EM ESCALA PILOTO, UTILIZANDO
ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO**

Mestrando: Mauro Floriano de Sousa Cartaxo
Orientador: Prof. Dr. Mário Takayuki Kato
Co-orientadora: Profa. Dra. Maria de Lourdes Florencio dos Santos

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Recife, Estado de Pernambuco
março, 2003



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, Área de Concentração em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

ASPECTOS SANITÁRIOS DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO, EM ESCALA PILOTO, UTILIZANDO ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

Mestrando: Mauro Floriano de Sousa Cartaxo
Orientador: Prof. Dr. Mário Takayuki Kato
Co-orientadora Profa. Dra. Maria de Lourdes Florencio dos Santos

Recife, Estado de Pernambuco
março, 2003

ASPECTOS SANITÁRIOS DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO, EM ESCALA PILOTO, UTILIZANDO ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

Mauro Floriano de Sousa Cartaxo

Dissertação defendida e aprovada em 11 (onze) de março de 2003 pela banca examinadora composta pelos professores doutores abaixo assinados:

.....
Mario Takayuki Kato (Ph.D.)
Orientador

.....
Maria de Lourdes Florencio dos Santos (Ph.D.)
Co-orientadora

.....
Beatriz Suzana Ovruski de Ceballos (Dsc.)
Examinadora

.....
Bruno Coraucci Filho (Dsc.)
Examinador

Recife, 11 de março de 2003

“PREÇO DA LUZ

Aprende com a pedra a lição do fogo: sem profunda fricção não irrompe das entranhas a luz!”

Dom Hélder Câmara.

DEDICATÓRIA

Ao meu irmão e primeiro professor de saneamento, **Mário Fabiano**, com muita saudade, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Aos meus orientadores, Mário Kato e Lourdinha Florencio, pelo apoio recebido. Registro também, o reconhecimento da imensa dedicação que devotam ao ensino e à busca da melhoria qualitativa das pesquisas, demonstrando honestidade e compromisso, com o aluno e a Universidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que colaboraram para a realização deste trabalho, inclusive aos que atuaram no anonimato. Em especial, registro a minha gratidão aos que, ao meu lado, compartilharam momentos determinantes para a sua feitura e que, das formas mais diversas, contribuíram para a realização desta obra:

- **professores do mestrado:** Mário Kato, Lourdinha Florencio, Maria do Carmo, Suzana Montenegro, Mariano Aragão e Sílvio Campelo;
- **amigos e também professores da UFPE:** Carlos Guedes, Paulo Tadeu e Edmilson Lima;
- **funcionários do Departamento de Engenharia Civil:** Laudenice Bezerra (secretária) e Ronaldo Fonseca (técnico do laboratório);
- **prestador de serviço lotado na ETE Mangueira:** Edmilson Silva;
- **bolsistas lotados no laboratório:** Maribel, Elizabeth, Marielda, Ana Délia, Luíza, Viviam, Taciana, Cinthia, Luana, Solange, Juliana, Juilma, Jâmisson, Saulo, George e Givanildo;
- **colegas de mestrado:** Rosângela, Ester, Denise, Aparecida, Clara, Ana Maria, Penha, Keila, Petronildo, André Felipe, André Luiz e Valmir;
- **amigos de outros órgãos ou instituições:** Paulo de Dutra (Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco), Bárbara Kreuzig (FIDEM), Vicente de Paula e Guilherme Cordeiro (UFRPE).

Sou grato também ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, à Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, ao CNPq, à CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (patrocinadores da pesquisa) e à COMPESA (operadora da ETE Mangueira).

A Aucélia (minha esposa), Marina, Bruno e Nara (meus filhos), além de agradecer a compreensão e o apoio recebido, peço também perdão pelos momentos de ausência que, apesar de irrecuperáveis, foram fecundos.

Por fim, externo a minha imensa gratidão ao Criador, pela oportunidade de crescimento que me foi facultada e aos meus orientadores espirituais pela presença constante, me transmitindo coragem, determinação, serenidade, discernimento, paciência e principalmente, a sensação de estar acompanhado e amparado, especialmente nos momentos de solidão e desânimo.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE QUADROS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	v
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS DA PESQUISA	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 REÚSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA IRRIGADA	5
3.1.1 IRRIGAÇÃO COM ESGOTO - SITUAÇÃO MUNDIAL	7
3.1.2 EXPERIÊNCIA BRASILEIRA NA IRRIGAÇÃO COM ESGOTO	8
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS	13
3.3 ASPECTOS DE SAÚDE PÚBLICA	16
3.3.1 MICROORGANISMOS VEICULADOS NO ESGOTO	17
3.3.1.1 Classificação dos Microorganismos.	17
3.3.1.2 Infecções Humanas com Microorganismos Patogênicos de Origem Fecal	19
3.3.1.3 Efeito do Solo sobre os Microorganismos	37
3.3.1.4 Contaminação das Águas Subterrâneas	41
3.3.1.5 Poluição do Ar com Aerossóis Contaminados	43
3.3.1.6 Contaminação de Culturas Irrigadas com Esgoto	44
3.3.2 PROPAGAÇÃO DE INSETOS QUE PODEM TRANSMITIR DOENÇAS	46
3.3.3 SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS PERIGOSAS PARA A SAÚDE	48
3.3.3.1 Conceito de Metal Pesado	50
3.3.3.2 Acúmulo de Metais Pesados em Vegetais	52
3.3.3.3 Intoxicação Humana com Metais Pesados	54
3.3.4 RISCOS À SAÚDE DECORRENTES DO REÚSO DE ÁGUA	56
3.3.4.1 Riscos de Infecção – Real e Potencial	57
3.3.4.2 Grupos de Riscos	59
3.3.4.3 Medidas de Proteção Sanitária	60
3.4 PADRÕES MICROBIOLÓGICOS DO ESGOTO USADO NA IRRIGAÇÃO	63
3.4.1 PADRÕES MICROBIOLÓGICOS REFERENCIAIS	64
3.4.2 PADRÕES MICROBIOLÓGICOS BRASILEIROS	66
3.5 REFLEXÕES SOBRE O REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA NO BRASIL	68
4. MATERIAIS E MÉTODOS	69
4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	69
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	69
4.3 ETE MANGUEIRA	73
4.3.1 PARÂMETROS BÁSICOS	75
4.3.2 GRADE DE BARRAS	75
4.3.3 CAIXA DE AREIA	75
4.3.4 UASB	75
4.3.5 LEITOS DE SECAGEM	75
4.3.6 LAGOA DE POLIMENTO	76
4.4 UNIDADE PILOTO DE REÚSO HIDROAGRÍCOLA - UPRH	76
4.5 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	77
4.6 CARACTERIZAÇÃO DAS PLANTAS CULTIVADAS	80
4.7 AMOSTRAGEM E ANÁLISES REALIZADAS	81
4.7.1 MAPEAMENTO DA ÁREA DE COLETA	82
4.7.2 PARÂMETROS MONITORADOS	82

4.7.3	PROCEDIMENTOS DE CAMPO E LABORATORIAIS	84
4.7.4	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES	84
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
5.1	COMENTÁRIOS INICIAIS	86
5.2	EFICIÊNCIA DA LAGOA DE POLIMENTO DA MANGUEIRA	86
5.2.1	REMOÇÃO DE COLIFORMES	87
5.2.1.1	Regime de Escoamento	87
5.2.1.2	Eficiência Esperada e Padrões Recomendados	87
5.2.1.3	Fatores Relevantes na Discussão dos Resultados	88
5.2.1.4	Resultados Analíticos e Observações de Campo	88
5.2.1.5	Análises Críticas dos Resultados	97
5.2.2	REMOÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS	101
5.2.3	METAIS DETECTADOS NO EFLUENTE DA LAGOA	103
5.2.4	RISCOS DE SAÚDE IMPOSTOS PELO SISTEMA	109
5.3	QUALIDADE DO LÍQUIDO PERCOLADO NA UPRH	110
5.3.1	PARÂMETROS PESQUISADOS	111
5.3.1.1	Potencial Hidrogeniônico - pH	111
5.3.1.2	Temperatura	113
5.3.1.3	Materiais Sedimentáveis	113
5.3.1.4	Óleos e Graxas	113
5.3.1.5	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	113
5.3.1.6	Indicadores de Contaminação Fecal	116
5.3.1.7	Metais Pesados e Outros	118
6.	CONCLUSÕES	121
6.1	ADEQUABILIDADE DO EFLUENTE DA LAGOA AO USO AGRÍCOLA	121
6.2	POTENCIAL POLUIDOR DO LÍQUIDO PERCOLADO	123
6.3	ASPECTOS GERAIS DO REÚSO	123
7.	RECOMENDAÇÕES	125
7.1	MEDIDAS DE PROTEÇÃO SANITÁRIA	125
7.2	PRÁTICAS AGRÍCOLAS QUE OTIMIZAM O USO DO EFLUENTE	126
7.3	MELHORIAS A SEREM INTRODUZIDAS NA ETE MANGUEIRA	126
8.	SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS	128
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
10.	APÊNDICE	134
11.	CURRICULUM VITAE	171

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Composição dos esgotos sanitários	13
Figura 3.2	Classificação e tamanho dos sólidos presentes nos esgotos domésticos	14
Figura 3.3	Fotografias de bactérias mostrando os seus diversos formatos	21
Figura 3.4	Esquema de uma célula bacteriana e seus elementos constituintes	22
Figura 3.5	Fotomicrografias ao microscópio ótico de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas	24
Figura 3.6	Desenhos e fotomicrografias eletrônicas de alguns tipos de vírus	25
Figura 3.7	Fotomicrografia eletrônica de um bacteriófago T ₄	26
Figura 3.8	Fotomicrografia eletrônica mostrando a introdução do DNA viral numa bactéria	26
Figura 3.9	Ciclo reprodutivo do bacteriófago T ₄ em <i>Escherichia coli</i>	26
Figura 3.10	Desenhos de protozoários em escalas variadas	28
Figura 3.11	Fotos de Planárias em diferentes escalas	30
Figura 3.12	<i>Schistosoma mansoni</i>	31
Figura 3.13	Caramujo da família Planorbidae preferido como hospedeiro intermediário do <i>Schistosoma mansoni</i>	31
Figura 3.14	<i>Taenia saginata</i>	32
Figura 3.15	Escólex (cabeça da tênia)	32
Figura 3.16	<i>Ascaris lumbricoides</i>	34
Figura 3.17	<i>Ancylostoma duodenale</i>	35
Figura 3.18	<i>Enterobius vermiculares</i>	36
Figura 3.19	Percentual de sobrevivência de algumas bactérias em amostras de água de chuva estocada a 10 ⁰ C	42
Figura 3.20	Tabela Periódica - classificação dos elementos químicos, segundo suas características físicas	50
Figura 3.21	Riscos de transmissão de doenças através da irrigação com esgoto tratado	57
Figura 3.22	Diagrama de avaliação de riscos de saúde e medidas de proteção para trabalhadores e consumidores de produtos irrigados com esgoto	61
Figura 4.1	Mapa de Localização da ETE Mangueira na Região Metropolitana do Recife	70
Figura 4.2	Desenho Esquemático – Área do Projeto Piloto de Reúso Hidroagrícola	71
Figura 4.3	Vista da unidade meteorológica da ETE Mangueira	72
Figura 4.4	Fotografias da ETE Mangueira em vários ângulos	74
Figura 4.5	Fotografia da Unidade Piloto de Reúso Hidroagrícola - UPRH	76
Figura 4.6	Fotografias de detalhes do sistema de irrigação implantado na Unidade Piloto de Reúso Hidroagrícola - UPRH	77
Figura 4.7	Fotografias do sistema de irrigação localizada	78
Figura 4.8	Caixa de distribuição situada a montante do bloco A e ponto de amostragem A ₁	79
Figura 4.9	Detalhe do orifício de distribuição de esgoto - duto de irrigação. Blocos A e B	79
Figura 4.10	Fotografias mostrando o sistema de irrigação por sulcos de infiltração	79
Figura 4.11	Fotografias do milharal 90 dias após o plantio	80
Figura 4.12	Fotografias de plantas e frutos produzidos na UPRH	81

Figura 5.1	Gráficos comparativos das concentrações de coliformes e eficiência da lagoa da Mangueira	90
Figura 5.2	Fotografias da lagoa mostrando a deposição de lodo em épocas diferentes	91
Figura 5.3	Concentração de sólidos no afluente da lagoa	93
Figura 5.4	Gráficos do pH na lagoa da Mangueira	94
Figura 5.5	Gráficos da temperatura na lagoa da Mangueira	94
Figura 5.6	Chuvas registradas na área da Mangueira durante o experimento	95
Figura 5.7	Histograma comparativo entre as vazões médias medidas na ETE Mangueira e a vazão média de projeto	96
Figura 5.8	Gráfico relacionando temperatura e eficiência da lagoa	97
Figura 5.9	Gráfico mostrando a influência dos sólidos suspensos totais na eficiência da lagoa	98
Figura 5.10	Gráfico relacionando a precipitação pluviométrica na área da pesquisa e as relações percentuais SSF/SST e SSV/SST no efluente do UASB	100
Figura 5.11	Gráfico relacionando valores de pH e eficiência da lagoa	100
Figura 5.12	Representação gráfica das concentrações de ovos de helmintos na lagoa da Mangueira	103
Figura 5.13	Diagrama de Classificação das Águas para Irrigação	107
Figura 5.14	Diagrama de avaliação de riscos de saúde e medidas de proteção para trabalhadores e consumidores de produtos irrigados com esgoto	109
Figura 5.15	Gráficos comparativos: pH do líquido percolado na UPRH	112
Figura 5.16	Gráficos comparativos: DBO ₅ ²⁰ na UPRH	114
Figura 5.17	Gráficos comparativos: Coliformes fecais na UPRH	118
Figura 7.1	Fotografias de pessoas com animais praticando atividades recreativas de contato primário na lagoa da Mangueira	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Fatos relevantes sobre a aplicação de esgoto sanitário na irrigação	6
Quadro 3.2	Áreas irrigadas com águas residuárias – Situação Mundial	7
Quadro 3.3	Produtividades em áreas irrigadas com esgoto – Peru.	8
Quadro 3.4	Qualidade bacteriológica de águas usadas para irrigação de hortaliças	9
Quadro 3.5	Qualidade microbiológica de hortaliças comercializadas em São Paulo	9
Quadro 3.6	Principais tipos de microrganismos presentes nos esgotos domésticos brutos	14
Quadro 3.7	Principais parâmetros físico-químicos de caracterização dos esgotos domésticos brutos	15
Quadro 3.8	Nutrientes presentes nos esgotos domésticos brutos, que eutrofizam os corpos d'água	16
Quadro 3.9	Doenças humanas importantes causadas por bactérias presentes nas excretas	24
Quadro 3.10	Doenças humanas importantes de origem viral, relacionadas com esgoto sanitário	27
Quadro 3.11	Classes de protozoários e seus mecanismos de locomoção	28
Quadro 3.12	Doenças humanas causadas por protozoários e relacionadas com esgoto doméstico	29
Quadro 3.13	Doenças humanas importantes causadas por helmintos relacionadas ao reúso de águas residuárias	37
Quadro 3.14	Concentração de bactérias indicadoras de contaminação fecal e de outros microrganismos patogênicos - Fazenda Werribee – Austrália	40
Quadro 3.15	Fatores que influenciam na sobrevivência de vírus e bactérias no solo	40
Quadro 3.16	Fatores que influenciam a movimentação de vírus nos solos saturados	41
Quadro 3.17	Capacidade de deslocamento e tempo de sobrevivência de bactérias nas zonas saturadas do solo	43
Quadro 3.18	Concentração de coliformes aspergidos a diferentes distâncias, a favor do vento	44
Quadro 3.19	Contaminação de culturas irrigadas com esgoto	45
Quadro 3.20	Classificação dos Coeficientes de Correlação (r)	46
Quadro 3.21	Concentração de pesticidas em animais aquáticos	49
Quadro 3.22	Características químicas de metais pesados, comumente encontrados em efluentes de fontes poluidoras	51
Quadro 3.23	Concentrações máximas recomendadas para os metais pesados nas águas residuárias utilizadas na irrigação	53
Quadro 3.24	Agrupamento de legumes e verduras de acordo com suas capacidades de acumular metais pesados	54
Quadro 3.25	Zinco e níquel, provenientes de lodo de esgoto, acumulados em milho e sorgo	54
Quadro 3.26	Concentração de metais pesados poluentes em biossólidos de várias ETE's do Brasil	55
Quadro 3.27	Sobrevivência de microrganismos patogênicos excretados, no solo e nas superfícies das plantas (caule, folhas, frutos, etc.), sob temperatura ambiente (20 a 30 °C)	58
Quadro 3.28	Padrões mínimos exigidos para as águas residuárias utilizadas na irrigação e nos ambientes (lagos) de recreação aquática – Califórnia - E.U.A	64
Quadro 3.29	Diretrizes sobre a qualidade microbiológica das águas residuárias utilizadas na agricultura irrigada, formuladas pela Organização Mundial da Saúde	65
Quadro 3.30	Classificação das águas brasileiras em função dos usos preponderantes segundo a Resolução CONAMA N° 20/86	66

Quadro 3.31	Parâmetros microbiológicos estabelecidos na Resolução CONAMA N° 20/86, para as diversas classes de água, quando essas forem usadas para irrigação	67
Quadro 4.1	Precipitações pluviométricas na área da ETE Mangueira – dez/2001 a ago/2002	72
Quadro 4.2	Parâmetros estudados, periodicidade das análises e métodos utilizados	83
Quadro 5.1	Concentrações de coliformes na lagoa da Mangueira e sua eficiência na remoção destes microorganismos	89
Quadro 5.2	Concentrações de SST em efluentes de UASB's e de lagoas de polimento, operando em série	92
Quadro 5.3	pH em efluentes de UASB's e lagoas de polimento operando em série	92
Quadro 5.4	Temperatura na lagoa da Mangueira	92
Quadro 5.5	Vazões recalçadas para a ETE medidas na Calha Parshall - Ponto P ₂	96
Quadro 5.6	Composição percentual dos sólidos afluentes à lagoa	99
Quadro 5.7	Concentração de ovos de helmintos na entrada e saída da lagoa da Mangueira	102
Quadro 5.8	Eficiência de lagoas de polimento na remoção de ovos de helmintos	103
Quadro 5.9	Metais e substâncias importantes, identificados na lagoa da Mangueira	105
Quadro 5.10	Classificação da água quanto ao risco de salinização	106
Quadro 5.11	Classificação do efluente da Mangueira quanto à capacidade de salinização do solo	107
Quadro 5.12	Tolerância de culturas relativa à salinidade nas águas de irrigação	108
Quadro 5.13	Valores médios, extremos e referenciais do pH, na UPRH	111
Quadro 5.14	Valores médios, extremos e referenciais da DBO ₅ ²⁰ , na UPRH	113
Quadro 5.15	Concentrações de coliformes totais na UPRH e valores referenciais	117
Quadro 5.16	Concentrações de coliformes fecais na UPRH e valores referenciais	117
Quadro 5.17	Metais e substâncias importantes, identificados no líquido percolado	119

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Símbolo químico do alumínio
A _n , B _n , C _n , D _n e P _n	Pontos de amostragem
As	Símbolo químico do arsênio
Be	Símbolo químico do berílio
CA	Caixa de areia
Ca ⁺⁺	Símbolo químico do íon cálcio
CaCO ₃	Fórmula química do carbonato de cálcio
CB	Casa de bombas
Cd	Símbolo químico do cádmio
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CF	Coliformes fecais
CI	Caixa de inspeção
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa
Co	Símbolo químico do cobalto
CO ₂	Fórmula química do gás carbônico
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CP	Calha Parshall
Cr	Símbolo químico do cromo
CT	Coliformes totais
CTC	Capacidade de troca de cátions
Cu	Símbolo químico do cobre
DBO ou DBO ₅ ²⁰	Demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C)
DHS	Despoluição hídrica com solo
DNA	Ácido desoxirribonucléico
DQO	Demanda química de oxigênio
EEE	Estação elevatória de esgoto
E.U.A.	Estados Unidos da América
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
EXTRABES	Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários
F	Símbolo químico do flúor

FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe	Símbolo químico do ferro
Fe ⁺² ; Fe ⁺³	Símbolo químico dos íons do ferro
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GB	Grade de barras
INAMPS	Instituto Nacional de Assistência Médica e Previdência Social
LE	Lagoa de estabilização
Li	Símbolo químico do lítio
LP	Lagoa de polimento
Mg ⁺⁺	Símbolo químico do íon magnésio
Mn	Símbolo químico do manganês
Mo	Símbolo químico do molibdênio
Na ⁺	Símbolo químico do íon sódio
NaCl	Fórmula química do cloreto de sódio
NH ₃	Fórmula química da amônia
Ni	Símbolo químico do níquel
NMP	Número mais provável
NO ₂ ⁻	Símbolo químico do íon nitrito
NO ₃ ⁻	Símbolo químico do íon nitrato
NTK	Nitrogênio total Kjeldhal
OMS	Organização Mundial da Saúde
Pb	Símbolo químico do chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PV	Poço de visita
R	Coefficiente de determinação
r ²	Coefficiente de correlação
RAS	Relação de adsorção de sódio
RMR	Região Metropolitana do Recife
RNA	Ácido ribonucléico
SDF	Sólidos dissolvidos fixos
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SDV	Sólidos dissolvidos voláteis
Se	Símbolo químico do selênio
SEMAE	Serviços Municipais de Água e Esgoto de Piracicaba
Sn	Símbolo químico do estanho
SSF	Sólidos suspensos fixos
SST	Sólidos suspensos totais
SSV	Sólidos suspensos voláteis
ST	Sólidos totais
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
Ti	Símbolo químico do titânio
TSC	Tratamento secundário convencional
UASB	Upflow anaerobic sludge blanket (reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente).
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba

UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UPRH	Unidade Piloto de Reúso Hidroagrícola
URB	Empresa de Urbanização do Recife
V	Símbolo químico do vanádio
W	Símbolo químico do tungstênio
Zn	Símbolo químico do zinco

RESUMO

A quantidade de água doce existente no planeta, própria para o consumo humano, vem diminuindo a cada dia, devido ao aumento da demanda e em face da poluição ambiental. Essa tendência à exaustão dos mananciais se reveste de particular importância nas regiões semi-áridas do Brasil, onde o homem precisa conviver com a escassez de recursos hídricos e as adversidades climáticas, caracterizadas por longos períodos de estiagem. Tal realidade sugere que se agregue valor ao esgoto sanitário, através de tratamento adequado, transformando-o em insumo utilizável na fertirrigação ou em outras atividades produtivas, ao invés de considerá-lo como despejo.

Este trabalho, elaborado com esse enfoque, foi desenvolvido utilizando o efluente de um sistema de tratamento composto por um reator UASB e uma lagoa de polimento, na busca dos seguintes objetivos: 1º- avaliar a adequabilidade do efluente da lagoa, ao reúso controlado, na agricultura irrigada; 2º- avaliar, em função de três formas diferentes de irrigação, o potencial poluidor do líquido percolado no solo, após irrigar uma área de 640 m², semeada com milho e acerola. O caso estudado foi abordado quanto aos aspectos sanitários, com ênfase na saúde pública, que talvez sejam os que mais provocam polêmicas, quando o tema em discussão é a utilização de esgoto na irrigação.

A pesquisa experimental, que durou nove meses (3/12/2001 a 27/08/2002), demandou a realização de análises químicas e exames físicos, bacteriológicos e parasitológicos, bem como a identificação de metais pesados. Os resultados obtidos revelaram:

- o uso do efluente estudado é próprio para irrigar soja, abacaxi, acerola, mamoeiro, arroz, cana-de-açúcar, girassol, mamona, milho, alfafa, capim Buffel, capim Mimoso, etc. Todavia, é restritivo para irrigar culturas sensíveis a sais e pode prejudicar os solos que apresentam baixa drenagem interna, em função da elevada condutividade elétrica e da presença de sódio, no esgoto sanitário;
- o efluente sob análise é inadequado, sanitariamente, para irrigar culturas a serem ingeridas cruas (hortaliças e outras), campos de esportes e parques públicos;
- o percolado é capaz de impor riscos sanitários, evidenciados pela presença dos indicadores de contaminação bacteriana.

Adicionalmente, verificou-se que o reúso indireto de água é uma realidade na horticultura brasileira, apesar dos problemas ambientais e de saúde, que pode estar causando. Este fato não deve ser desconsiderado e precisa ser enfrentado, através de soluções tecnicamente adequadas, submetidas a uma legislação específica, ainda não existente no país, de forma que o reaproveitamento das águas residuárias, permita a liberação dos corpos de água, para usos mais exigentes e contribua para a preservação do meio ambiente.

Assim, a irrigação com esgoto doméstico tratado, feita de forma controlada, representa uma alternativa de reúso sanitariamente segura e ambientalmente sustentável. Agrega qualidade de vida para a população e pode se tornar economicamente viável, pois também gera riquezas.

ABSTRACT

Appropriate water sources in quantity and quality for drinking purposes in the Earth is decreasing every day due to the increasing demand and the environmental pollution. The scarcity of water sources is particularly dramatic in semi-arid regions of Brazil, since the population has to survive with a shortage of water resources and the climatic adversities, which are frequently characterized by long periods of drought. Such situation suggests that domestic sewage, instead of waste, may be considered for reuse after adequate treatment, resulting in a product that can be used in irrigation or other productive activities.

Using the effluent of a full-scale treatment system composed by a UASB reactor and a polishing pond, this research was developed under such approach. The objectives were: (i) to assess the feasibility of applying the pond effluent in irrigation of corn and *acerola* cultures, under controlled water reuse; (ii) to assess the remaining potential pollution of the soil leachate after water reuse in a 640 m² pilot area using three different types of irrigation. The assessment emphasized the sanitary aspects, especially the public health subjects, since they are probably considered the most polemic when the discussion is related to the reuse of domestic sewage in agriculture.

The experimental field and laboratory works lasted 9 months, from December 2001 to August 2002, and the results were based on chemical, physical, bacteriological and parasitological analyses, including identification of heavy metals. The main conclusions were:

- The used effluent should be used in irrigation of cultures like soy-bean, pineapple, *acerola*, papaya, rice, sugar-cane, sunflower, *castor-oil plant*, corn, alfafa, Buffel grass, Mimoso grass, etc. However, it should be restricted only for irrigation of certain cultures not sensible to salt and not applied to soil with low internal drainage, due to its high electrical conductivity and content of sodium, in the effluent.
- the used effluent is not adequate for irrigation of cultures that can be consumed raw like the vegetables, in sport fields and public parks.
- The leachate is potentially a sanitary risk since it still contains bacteriological contaminants.

Additionally, it was verified that occurring the indirect water reuse in the horticulture is a brazilian reality, despite the health and environmental problems that it may cause. This fact has to be considered and must be faced by using appropriated technical solutions, under specific legislation, though not existent yet in the country.

The adequate reuse of domestic sewage is an option to minimize the pollution of water bodies, thus, allowing them to be used in more noble purposes like drinking water and consequently, help the environmental protection. Therefore, the controlled irrigation of treated domestic sewage represents a sanitarily safe, economically feasible and environmental sustainable alternatives. The result can be in a higher quality of life to the population, and it also generates wealthy.