



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE**

**FUED ABRÃO JÚNIOR**

**REÚSO DE ESGOTO TRATADO PARA FIM AGRÍCOLA: EFEITOS SOBRE O  
SOLO E A PRODUÇÃO DE BATATA DOCE [*Ipomoea batatas (L) Lam*]**

**PALMAS  
Março – 2006**

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

**FUED ABRÃO JÚNIOR**

**REÚSO DE ESGOTO TRATADO PARA FIM AGRÍCOLA: EFEITOS SOBRE O SOLO E A PRODUÇÃO DE BATATA DOCE [*Ipomoea batatas (L) Lam*]**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente.

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Líliliana Pena Naval  
**Co-Orientador:** Dr. Daniel Vidal Pérez

**PALMAS**  
**Março – 2006**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

FUED ABRÃO JÚNIOR

**REÚSO DE ESGOTO TRATADO PARA FIM AGRÍCOLA: EFEITOS SOBRE O  
SOLO E A PRODUÇÃO DE BATATA DOCE [*Ipomoea batatas (L) Lam*]**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no curso de Pós-graduação em Ciências do Ambiente, da Universidade Federal do Tocantins, pela seguinte banca examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Liliana Pena Naval (UFT)

---

D.Sc. Daniel Vidal Pérez (EMBRAPA SOLOS)

---

Prof Dr Waldecy Rodrigues (UFT)

Palmas, 08 de março de 2006

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A161r Abrão Júnior, Fued

Reúso de esgoto tratado para fim agrícola: efeitos sobre o solo e a produção de batata-doce (*Ipomoea batatas*). / Fued Abrão Júnior. – Palmas : UFT, 2006. 87 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Tocantins, Curso de Pós-Graduação em Ciência do Ambiente, 2006.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liliana Pena Naval.

1. Reúso agrícola. 2. Águas residuárias. 3. Química do solo. 4. Batata doce.  
I. Título.

**CDU 504**

Bibliotecário: Paulo Roberto Moreira de Almeida  
CRB-2 / 1118

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

Aos meus amores, Anaídes, Patrícia e Danielle.

## **AGRADECIMENTOS**

A professora Dr.<sup>a</sup>, Liliana Pena Naval, pela confiança em mim depositada, paciência e amizade ao longo dos últimos seis anos.

Ao Dr. Daniel Vidal Pérez pela parceria e o grande apoio dado na realização do trabalho.

Ao pesquisador Wesley Santana pela condução das atividades de campo, e pelo inquestionável compromisso.

À futura engenheira ambiental Aline Alencar pelo auxílio dado, e pela grande amizade.

Aos estagiários do laboratório de Saneamento da UFT, futuros engenheiros ambientais, pelo convívio e coleguismo.

Aos professores do Curso de Mestrado em Ciências do Ambiente pelos ensinamentos e incentivos.

À inseparável companheira e engenheira ambiental Danielle Soares Magalhães, pelo incentivo e amor.

Aos meus familiares, em especial minha avó e minha mãe pelo amor e confiança.

A todos meus amigos e profissionais engenheiros ambientais que tanto lutam pela realização profissional e pelas questões relacionadas ao meio ambiente.

## RESUMO

A quantidade hídrica demandada pela agricultura, aliada a poluição orgânica e química dos mananciais de abastecimento contribuem diretamente para o problema da escassez de água que se alastra pelo mundo. Nesse sentido, o uso de efluente tratado de esgoto municipal na agricultura representa uma oportunidade na conservação desse recurso. Contudo, ocorre um elevado interesse público com respeito ao potencial de contaminação, para saúde humana e para o meio ambiente, principalmente no que diz respeito aos aspectos relacionados à segurança alimentar e à sustentabilidade das terras agrícolas. Nesse contexto, existe uma grande preocupação com a possibilidade de transferência de elementos traços potencialmente tóxicos, tais como o Cd, Cu, Pb, Ni e Zn, através do sistema solo-planta. A cidade de Palmas –TO possui potencial para a prática do reuso de esgotos tratados na agricultura, uma vez que dispõem de condições edafo-climáticas favoráveis, bem como a oferta de águas de esgoto tratadas. O presente trabalho teve como objetivos: (i) empregar o reuso de esgoto tratado proveniente de um sistema anaeróbio da cidade de Palmas – TO para fim agrícola; (ii) avaliar os efeitos dessa fonte alternativa de água e nutrientes aos componentes do solo, e a produtividade da olerícola cultivada. O estudo foi desenvolvido no Campus da Universidade Federal do Tocantins, seguindo o delineamento fatorial inteiramente casualizado com dez repetições. O efluente foi aplicado em vasos contendo amostras de solo e duas ramas de batata doce [*Ipomoea batatas (L) Lam*] Após 170 dias fez-se a colheita das cultivares, bem como análises químicas no solo. Os dados obtidos no ensaio de vasos indicaram que a aplicação do efluente tratado contribuiu para um aumento dos teores de macro e micronutrientes, bem como de metais potencialmente tóxicos como o chumbo, embora, no caso destes últimos, em baixas concentrações. Contudo, mesmo tendo sido observada a melhoria das condições nutricionais do solo que recebeu o efluente, a produção de tubérculos foi maior na testemunha, provavelmente, devido ao melhor balanço nutricional.

## ABSTRACT

The water amount demanded for agriculture, allied to the organic and chemical pollution of the supplying sources, contributes directly for the water shortage problem that is spreading over the world. In that way, the use of treated effluent of the municipal wastewater in agriculture represents a chance in this resource conservation. However, there are a strong public interest about the potential of human health and environmental contaminaton, mainly of which concerns the aspects related to the alimentary security and to the agricultural lands sustainability. In this context, there are a great preoccupation with the potential of possibly toxic traces elements, such as Cd, Cu, Pb, Ni and Zn, transference across the soil-plant-animal system. The city of Palmas - TO has a good potential for the practical of the reuse of treated municipal wastewater in agriculture, because of its favorable soil-plant-climatic conditions, as well as its treated wastewater offer. The present work had as objective: (i) to use agricultural reuse of treated wastewater proceeding from an anaerobic system of the city of Palmas - TO; (ii) to evaluate the effects of this alternative water and nutrients source to the soil chemical components and to the cultivated vegetable productivity. The study was developed in the Federal University of the Tocantins, following the randomized complete design with three treatments and ten replications. The effluent was applied in vases contends samples of soil and part of potatoes. Past 170 days, the harvest and the soil chemical analyses were done. The essay results indicated that the irrigation with treated wastewater contributed to an increasement of macro and micronutrients accumulation, as well as off the trace metals. However, the sweet potatoes production was significantly higher in the control, it was probably due to a better nutrient balance.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>03</b>
2.1 CONSUMO ATUAL DE ÁGUA E PERSPECTIVAS FUTURA.....	03
2.2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS POR ESGOTOS SANITÁRIOS .....	06
2.3 CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS.....	08
2.3.1 <b>Físico-química.....</b>	<b>08</b>
2.3.2 <b>Biológica.....</b>	<b>09</b>
2.4 PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA.....	10
2.5 REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	12
2.6 ASPECTOS LEGAIS DO REUSO.....	12
2.6.1 <b>Estados Unidos.....</b>	<b>13</b>
2.6.2 <b>União Européia.....</b>	<b>14</b>
2.6.3 <b>Brasil.....</b>	<b>14</b>
2.7 FORMAS DE REUSO.....	14
2.8 REUSO URBANO E INDUSTRIAL.....	16
2.9 REUSO AGRÍCOLA.....	17
2.9.1 <b>Vantagens do Reuso Agrícola.....</b>	<b>18</b>
2.9.1.1 <i>Benefícios econômicos.....</i>	<i>19</i>
2.9.1.2 <i>Benefícios ambientais e de saúde pública.....</i>	<i>19</i>
2.9.2 <b>Implicações do Reuso Agrícola.....</b>	<b>21</b>
2.9.2.1 <i>Risco Biológico.....</i>	<i>22</i>
2.9.2.2 <i>Risco de Salinização e Sodicidade.....</i>	<i>24</i>
2.9.3. <b>Risco químico.....</b>	<b>28</b>
<b>3 MATERIAS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	33
3.1.1 <b>Material de origem.....</b>	<b>33</b>
3.1.2 <b>Solo.....</b>	<b>33</b>
3.1.3 <b>Pedregosidade e Rochosidade.....</b>	<b>33</b>
3.1.4 <b>Relevo e Declividade.....</b>	<b>34</b>
3.1.5 <b>Drenagem e Erosão.....</b>	<b>34</b>
3.1.6 <b>Cobertura vegetal original e a atual.....</b>	<b>34</b>
3.1.7 <b>Clima.....</b>	<b>34</b>
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	35
3.3 CARACTERISICAS DA ETE BREJO COMPRIDO E DO EFLUENTE.....	36
3.3.1 <b>Determinações analíticas efetuadas no esgoto.....</b>	<b>36</b>
3.3.2 <b>Caracterização físico química do esgoto.....</b>	<b>37</b>
3.4 LÂMINA DE EFLUENTE APLICADA NO PERÍODO EXPERIMENTAL.....	37
3.5 CARACTERÍSTICAS DO SOLO ESTUDADO.....	39
3.5.1 <b>Determinações analíticas efetuadas no solo.....</b>	<b>40</b>
3.5.1.1 <i>pH (Embrapa, 1997).....</i>	<i>40</i>
3.5.1.2 <i>Capacidade de Troca Catiônica – CTC (Embrapa, 1997).....</i>	<i>40</i>
3.5.1.3 <i>Carbono Orgânico – C org. (Embrapa, 1997).....</i>	<i>41</i>
3.5.1.4 <i>Nitrogênio Total – N total (Embrapa, 1997).....</i>	<i>41</i>
3.5.1.5 <i>Fósforo Assimilável – P (Embrapa, 1997).....</i>	<i>41</i>

3.5.1.6	<i>Granulometria –Determinação dos Teores de Argila, Silte e Areia (Embrapa, 1997)</i> .....	42
3.3.1.7	<i>Extração e Determinação de Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu) e Metais Pesados (Cr, Cd, Pb, Ni) no Solo</i> .....	42
3.5.1.8	<i>Características Químicas e Físicas do Solo Utilizado no Estudo</i> .....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
4.1	PROVÁVEL APORTE DE NUTRIENTES E DE METAIS AO SOLO.....	47
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	47
4.3	EFEITOS DO EFLUENTE NO SOLO.....	49
4.3.1	<b>pH</b> .....	49
4.3.2	<b>Carbono</b> .....	49
4.3.3	<b>Cálcio, potássio e sódio</b> .....	49
4.3.4	<b>CTC</b> .....	50
4.3.5	<b>Fósforo e nitrogênio</b> .....	51
4.3.6	<b>Manganês, ferro e cobre</b> .....	52
4.3.7	<b>Zinco, níquel, chumbo, cádmio e cromo</b> .....	53
4.5.8	<b>Sodicidade ao solo</b> .....	55
4.6	EFEITO DO EFLUENTE NA PRODUTIVIDADE VEGETAL.....	55
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	58
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	59
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60
	<b>ANEXOS</b> .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Países com estresse de água ou escassez de água em (1990 – 2025).....	04
Tabela 2	Distribuição regional dos recursos hídricos renováveis.....	05
Tabela 3	Distribuição regional da extração de água.....	05
Tabela 4	Relação dos recursos hídricos do Brasil por superfície e população.....	06
Tabela 5	Características físico-químicas dos esgotos domésticos.....	08
Tabela 6	Características microbiológicas dos esgotos domésticos.....	09
Tabela 7	Opções de reúso em áreas urbanas.....	16
Tabela 8	Opções de reúso na indústria.....	17
Tabela 9	Opções de reúso na agricultura.....	18
Tabela 10	Risco associado ao reúso de esgoto doméstico.....	23
Tabela 11	Critérios microbiológicos para uso de águas residuárias na agricultura.....	23
Tabela 12	Diretrizes quanto a concentração de CE e STD para águas de irrigação.....	26
Tabela 13	Classificação de culturas quanto a tolerância a sais.....	26
Tabela 14	Critérios de qualidade de água quanto a prevenção da salinização.....	27
Tabela 15	Concentrações máximas recomendadas para oligoelementos de águas de irrigação.....	32
Tabela 16	Composição química média do efluente proveniente da Estação de Tratamento Brejo Comprido (TO).....	37
Tabela 17	Condições climáticas registradas no período experimental.....	38
Tabela 18	Estimativa da lâmina de água a ser aplicada e valor real da aplicação.....	39
Tabela 19	Descrição morfológica do solo experimental.....	40
Tabela 20	Características químicas e físicas do Latossolo Vermelho Amarelo utilizado no experimento.....	43
Tabela 21	Características químicas do adubo mineral e do calcário utilizados no experimento.....	43
Tabela 22	Características químicas do adubo orgânico utilizado no experimento.....	44
Tabela 23	Níveis de fertilidade para a interpretação de micronutrientes em análises de solo para a região dos cerrados.....	46
Tabela 24	Taxas de aplicação do efluente de esgoto tratado e provável aporte de nutrientes nas amostras de solo, durante o período experimental.....	47
Tabela 25	Taxas de aplicação do efluente de esgoto tratado e provável aporte de metais nas amostras de solo, durante o período experimental.....	47
Tabela 26	Avaliação estatística dos resultados obtidos.....	48
Tabela 27	Características químicas e físicas do Latossolo Vermelho Amarelo submetido a três tipos de combinação, entre irrigação e adubação, ao término do experimento.....	51
	Produção de tubérculo (MVT), de matéria seca da parte	

Tabela 28	aérea(MSA), da matéria verde da parte aérea (MVA) em função dos três tipos de combinação, entre irrigação e adubação.....	52
Tabela 29	Produção de tubérculo (MVT) e da matéria verde da parte aérea (MVA) em função das 10 variedades de batata doce cultivadas.....	53
Tabela 30	Produção de tubérculo (MVT) em função da interação entre os três tipos de combinação, entre irrigação e adubação, e as 10 variedades de batata doce.....	53

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1	Evolução do uso de fertilizantes e produção agrícola na Ásia, Estados Unidos, Europa e América Latina.....	21
Figura 2	Volume total precipitado e evaporado durante o período experimental.....	38
Figura 3	Perfil do solo empregado no experimento.....	40
Figura 4	Teores de Ferro, Manganês e Cobre.....	53
Figura 5	Teores de Zinco nas amostras do solo.....	54
Figura 6	Teores de Ni, Cd e Pb nas amostras do solo.....	54
Figura 7	Comportamento do solo frente ao RAS.....	55
Figura 8	Produção de tubérculo e parte área.....	57

**LISTA DE ABREVIATURAS**

CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CE	Condutividade Elétrica
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
MAS	Matéria Seca Parte Aérea
MVA	Matéria Verde Parte Aérea
MVT	Matéria Verde Tubérculo
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCZ	Ponto de Carga Zero
PNUMA	Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
RHIR	Recursos Hídricos Internos Renováveis
ST	Sólidos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SEPLAN	Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente
USEPA	Agência de Proteção Ambiental Americana
USEPP	AUSTRALIAN: ENVIRONMENT PROTECTION POLICY

## 1 INTRODUÇÃO

A expansão da população urbana seguida por um maior consumo de águas de abastecimento, permitiu um grande aumento no volume dos efluentes domésticos gerados. Dada a corrente preocupação com a saúde humana e ambiental, em consequência da adição de poluentes em águas naturais, uma conscientização da necessidade de dispor esses efluentes de maneira segura e benéfica vêm se firmando em todo o mundo (PESCOD, 1992).

Nesse sentido, e considerando a quantidade hídrica exigida pela irrigação agrícola, o reuso planejado de águas pode ser uma importante alternativa para o suprimento dessas demandas principalmente para aquelas economias baseadas na agricultura, e para regiões áridas e semi-áridas (POLLICE et al, 2003). Isso corrobora com o preconizado por Postel e Vickers (2004), os quais alegam que elevar a prática de reuso agrícola é crucial para o atendimento das necessidades alimentares das pessoas à medida que o estresse hídrico vem aumentando em diferentes partes do globo.

De acordo com *World Resources Institute* (WRI, 2000), quase a metade da população mundial enfrenta problemas de escassez de água, principalmente no que se refere à disponibilidade de fontes superficiais. Em se tratando de Brasil, estima-se que 70% da água utilizada seja destinada à irrigação agrícola. Nesse contexto, o reúso de águas pode representar uma alternativa para minimização desse consumo, que teve, em termo de áreas irrigadas, um aumento de aproximadamente 45 vezes entre o período de 1950 a 1998 (LIMA et al., 1999).

Estudos desenvolvidos em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente com o emprego de esgotos tratados (BRAATZ, S.; KANDIAH, 1996; HESPANHOL, 2003). Contudo, Bartone e Arlosoroff (1987) destacam que o aumento de produtividade não é, entretanto, o único benefício do reuso, uma vez que se torna possível ampliar a área irrigada dada a disponibilidade de água e, quando as condições climáticas permitem, efetuar colheitas múltiplas praticamente ao longo de todo o ano.

Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2003), o total de áreas com solos irrigados com esgoto concentrado ou diluído é estimado em 20 milhões

de hectares distribuídos em 50 países, o que representa aproximadamente 10% das áreas irrigadas em países em desenvolvimento.

A cidade de Palmas - TO apresenta boas condições para práticas de reuso na agricultura, uma vez que possui um potencial para gerar águas de esgoto da ordem de 32.000 m<sup>3</sup>/dia, e dispõe de condições climáticas e edáficas favoráveis. Nesse contexto, empregar esses efluentes em culturas de hortaliças, como a batata-doce, pode se mostrar viável desde que estudos científicos comprovem os possíveis benefícios de tal prática aos componentes químicos do solo, bem como a espécie vegetal cultivada. Para isso, faz-se necessário, entre outras coisas, conhecer o comportamento do solo e da produção vegetal (biomassa) frente a esse tipo de atividade.

Os objetivos do presente trabalho foram: (i) empregar o reuso de esgoto tratado proveniente de um sistema anaeróbio da cidade de Palmas – TO para fim agrícola; (ii) avaliar os efeitos dessa fonte alternativa de água e nutrientes aos componentes do solo, e a produtividade da olerícola cultivada.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CONSUMO ATUAL DE ÁGUA E PERSPECTIVAS FUTURAS

Atualmente muitos países não têm água suficiente para atender à demanda e, conseqüentemente, é comum o esgotamento dos aquíferos devido à extração excessiva. Além disso, a escassez de água é acompanhada por uma deterioração de sua condição de qualidade devido à poluição e à degradação ambiental (PNUMA, 2004).

Para Brown (2003), o mundo caminha para um déficit hídrico generalizado, onde a irrigação é uma grande contribuinte dessa realidade, dado o aumento e a evolução tecnológica das formas de captação de água (bombas elétricas e combustíveis fósseis de grande potência) ocorrida no último meio século. Essa afirmação corrobora com Câmara e Santos (2002), que além de ratificar que a irrigação é a atividade humana que mais consome água, estima um valor da ordem de 80% para o total da demanda mundial.

Segundo Mastny e Cincotta (2005), mais de trintas países, a maioria na África e Oriente Médio, já caíram abaixo do referencial mais conservador de escassez de água doce renovável (1.000 m<sup>3</sup>/hab/ano). Para a FAO (2000), essa cifra é de 2.000 m<sup>3</sup>/hab/ano. Gleyk (1993) *apud* Rebouças (2002) elaborou uma listagem (Tabela 1) de países que atualmente sofrem com o problema estresse hídrico ou escassez hídrica.

No que se refere à América Latina e Caribe, estes dispõem de 13.429km<sup>3</sup> de recursos hídricos internos renováveis (Tabela 2). Em relação ao consumo, 73% do total de água extraída é destinada à agricultura (Tabela 3 e Anexo II), valor esse semelhante à média mundial (71%) (Anexo I). No Brasil, como pode ser observado (Tabela 3), a extração de água para fins agrícolas representa 61% do total de água consumida no país.

Segundo o PNUMA (2004), as perspectivas para os próximos anos no que se refere à água e alimentos não se mostram favoráveis e nem tão pouco otimistas. O crescimento populacional e econômico tende a provocar um aumento no consumo de água em todos os cenários. Estima-se que na África a extração de água se

uplicará e o número de pessoas que vivem em regiões com grave déficit hídrico aumentará em 40 %.

**Tabela 1** - Países com estresse de água ou escassez de água em (1990 – 2025)

País	Per capita m <sup>3</sup> /ano 1990	Per capita m <sup>3</sup> /ano 2025
<b>África</b>		
Argélia	750	380
Burundi	660	280
Cabo Verde	500	220
Camarões	2.040	790
Dijibuti	750	270
Egito	1.070	620
Etiópia	2.360	980
Quênia	590	190
Lisoto	2.220	930
Líbia	160	60
Marrocos	1.200	680
Nigéria	2.660	1.000
Ruanda	880	350
Somália	1.510	610
África do Sul	1.420	790
Tanzânia	2.780	900
Tunísia	530	330
<b>América do Norte e Central</b>		
Barbados	170	170
Haiti	1.690	960
<b>América do Sul</b>		
Peru	1.790	980
<b>Ásia e Oriente Médio</b>		
Chipre	1.290	1.000
Irã	2.080	960
Israel	470	310
Jordânia	260	80
Kuwait	<10	<10
Líbano	1.600	960
Oman	1.330	370
Qatar	50	20
Arábia Saudita	160	50
Singapura	220	190
Emirados Árabes	190	110
Iêmen	240	80

Fonte: Gleyk (1993) *apud* Rebouças (2003).

**Tabela 2** - Distribuição regional dos recursos hídricos renováveis

Região	Precipitação anual		Recursos Hídricos Internos Renováveis	
	mm	km <sup>3</sup>	km <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> por hab. (1997)
Brasil	1758	15026	5418	33097
A. Latina e Caribe	1556	31816	13429	27673
Mundo	-	110000	41022	6984
*AL e C (%)		29	33	

Fonte: FAO (2000) - AL e C indica os valores da \*América Latina e Caribe em relação aos do Mundo

**Tabela 3** - Distribuição regional da extração de água

Região	Extração de água por setores									
	Agrícola		Doméstico		Industrial		Extração total			
	Km <sup>3</sup>	Total (%)	Km <sup>3</sup>	Total (%)	Km <sup>3</sup>	Total (%)	Km <sup>3</sup>	AL e C (%)	Hab. (m <sup>3</sup> )	RHIR (%)
Brasil	33.4	61	11.6	21	9.9	18	54.9	21	335	1.0
AL e C.	1927	73	47.0	18	22.9	9	262.8	100	540	2.0
Mundo	23105	71	290.6	9	652.2	20	3253.3	-	564	8.0
AL e C (%) <sup>1</sup>	8.3		16.0		3.5		8.1			

Fonte: FAO (2000) – Total (%) representa a porcentagem do uso do setor em relação ao valor total de extração da região; AL e C (%) representa a porcentagem da extração relação à extração na América Latina e Caribe (AL e C) e (1) indica a extração da América Latina e Caribe em relação ao Mundo; RHIR (%) representa a porcentagem extraída em relação aos RHIR de cada região (Tabela 2).

Na Ásia e Pacífico, o aumento populacional e a demanda por mais áreas agricultáveis contribuirá diretamente para supressão de florestas naturais e a conseqüente desregulação do ciclo natural das águas. Segundo *Stockholm Environment Institute* (SEI, 2002) e *United Nations Development Programme* (UNDP, 2002), os conflitos entre os usos agrícolas e industriais já são visíveis em toda a China, onde a agricultura coexiste com ameaças de poluição urbana e industrial, e a indústria é limitada pela falta de segurança hídrica, uma vez que a maior parte da água é destinada à agricultura. Esse conflito esta se aguçando e pode levar grandes áreas a insustentabilidade agrícola e/ou industrial, com efeitos diretos na economia e política.

Até 2050, segundo Brown (2003), a Índia deverá ter um acréscimo populacional de 563 milhões. O Paquistão, um dos países mais áridos do mundo, deverá crescer 200 milhões, aumentando dos 141 milhões atuais para 344 milhões. Egito, Irã e México têm um aumento populacional projetado em mais 50%, ou mais, até 2050. Segundo o autor, nesses e em outros países com déficits hídricos, o crescimento populacional continuado está condenando centenas de milhões de pessoas à pobreza hidrológica (Tabela 1).

Quanto ao Brasil, no que se refere aos problemas internos de escassez, estes ocorrem em função da má localização natural desse recurso e a distribuição espacial da população que se concentra em determinadas áreas (HIRATA, 2000; DNAEE, 1992) (Tabela 4).

**Tabela 4** - Relação dos recursos hídricos do Brasil por superfície e população

Região	Recursos hídricos (%)	Superfície (%)	População (%)
Norte	68,50	45,30	6,98
Centro-Oeste	15,70	18,80	6,41
Sul	6,50	6,80	15,05
Sudeste	6,00	10,80	42,65
Nordeste	3,30	18,30	28,91
Total	100,00	100,00	100,00

Fonte: DNAEE, 1992.

## 2.2 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS POR ESGOTOS SANITÁRIOS

De acordo Mastny e Cincotta (2005), os recursos hídricos já escassos podem ser ainda mais degradados ou exauridos, o que aliado a condições de superpopulação e insalubridade pode causar epidemias mortais. Além disso, os esforços para expandir a produção de alimentos tornam-se limitados, uma vez que a baixa qualidade das águas – seja causada por poluição de esgotos e pesticidas ou níveis excessivos de sal, nutrientes ou sólidos em suspensão – as torna inadequada para consumo humano, industrial e agrícola (BROWN, 2003; WOLF et al., 2005).

O termo esgoto é empregado para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso humano (BRAGA *et al.* 2002; PESSOA e JORDÃO, 1995), os quais podem originar resíduos líquidos concentrados ou diluídos em águas (METCALF e EDDY, 1991), que necessariamente devem ser coletados e processados (ou tratados) em sistemas de tratamento (USEPP, 1999).

Embora a NBR 9648 (1986), defina esgoto sanitário como o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária, Pessoa e Jordão (1995) consideram essa definição aplicável apenas a aquela parcela de esgotos provenientes de residências, comércios e instituições públicas.

Nesse âmbito, têm-se os esgotos domésticos que são aqueles gerados a partir das águas utilizadas para higienização pessoal e de alimentos, descarga sanitária, lavagens de roupas e utensílios, e demais atividades relacionadas (DIAS 2003; PESSOA e JORDÃO, 1995; NBR 9648/1986).

Por apresentarem uma grande quantidade de matéria orgânica (MOTA, 1995), assim que são lançados em um corpo d'água, os esgotos domésticos ocasionam uma série de problemas relacionados à química e a biologia desse meio (TUNDISI *et al.*, 2000). Nesse contexto, o teor de oxigênio é diretamente afetado, uma vez que o crescimento de bactérias que degradam a matéria orgânica aerobicamente ocasiona a sua redução (SPERLING, 2005).

Quando esses teores se tornam baixos ou nulos, os processos metabólicos anaeróbios se tornam predominantes ocasionando uma oxidação incompleta da matéria orgânica (BRANCO, 1986). Dessa forma, os resíduos orgânicos acumulados no fundo do sistema aquático sofrem degradação, provocando a morte da fauna e o desprendimento de gases tóxicos, o que inviabiliza o uso da água para fins mais nobres como abastecimento público, dessedentação de animais e irrigação (METCALF e EDDY, 1991; SPERLING, 2005).

Como agravante, o lançamento, em corpos d'água, de efluentes de atividades antrópicas, como esgotos domésticos, dejetos industriais e águas de campos agrícolas provocam o processo de eutrofização (TUNDISI *et al.*, 2000).

A eutrofização é um processo de crescimento excessivo de plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água (THOMANN e MUELLER, 1987).

Para Esteves (1998) e Reis (1995), a eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, que quando presentes em corpos aquáticos em concentrações superiores a  $0,30 \text{ mg.L}^{-1}\text{N}$  e a  $0,01 \text{ mg.L}^{-1}\text{P}$ , resultam no desenvolvimento abundante de algas e de plantas.

Uma das características importantes do aumento da quantidade de nutrientes nas águas é o seu efeito cumulativo, uma vez que a maior parte dessas substâncias ficam retidas nos vários níveis tróficos do ecossistema aquático, propiciando o incremento gradual no teor de matéria orgânica (WETZEL 1993 *apud* JUREIDINI, 1987).

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS

### 2.3.1 Físico-química

Em média, a composição do esgoto doméstico é de 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos, sendo que cerca de 75% desses sólidos são constituídos de matéria orgânica em processo de decomposição (NUVOLARI, 2003). Embora Hillman (1988) *apud* Pescod (1992) tenha chamado atenção para o particular acúmulo de substâncias tóxicas fixadas, principalmente de metais pesados, nota-se, de acordo com a Tabela 5, que as concentrações destes em esgotos domésticos é baixa, o que está de acordo com Hespanhol (2003). Nesse sentido, os principais agentes poluidores das águas receptoras de esgotos domésticos são a matéria orgânica e seus constituintes, em atenção o nitrogênio, o fósforo e os microrganismos patogênicos (HIRATA, 2000; SPERLING, 2005).

**Tabela 5** - Características físico-químicas dos esgotos domésticos

Parâmetro	Contribuição per capita		Tipo de Esgoto		
	Faixa	Típico	Faixa	Bruto	<sup>1</sup> Secundário (Filtro Anaer.)
	-----g/hab.dia-----		-----mg.L <sup>-1</sup> -----		
Sólidos Totais	120-220	180	700-1350	1100	-
Em suspensão	35-70	60	200-450	350	32
• Fixos	7-14	10	40-100	80	-
• Voláteis	25-60	50	165-350	320	-
Dissolvidos	85-150	120	500-900	700	646
• Fixos	50-90	70	300-550	400	-
• Voláteis	35-60	50	200-350	300	-
Sedimentáveis	-	-	10-20	15	-
Matéria orgânica					
DBO <sub>5</sub>	40-60	50	250-400	300	82
DQO	80-120	100	450-800	600	212
DBO última	60-90	75	350-600	450	
Nitrogênio total (N)	6,0-10,0	8,0	35-60	45	35
Nitrogênio Org.	2,5-4,0	3,5	15-25	20	17
Amônia (NH <sub>3</sub> )	3,5-6,0	4,5	20-35	25	16
Nitrito (NO <sub>2</sub> -)	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	-
Nitrato	0,0-0,2	≈ 0	0-1	≈ 0	2
Fósforo (P)	0,7-2,5	1,0	4-15	7	14
Fósforo orgânico	0,2-1,0	0,3	1-6	2	-
Fósforo inorgânico	0,5-1,5	0,7	3-9	5	-
Potássio	-	-	-	-	32
Sódio	-	-	-	-	129
Cálcio	-	-	-	-	55

**Tabela 5 (Continuação)** - Características físico-químicas dos esgotos domésticos

Parâmetro	Contribuição per capita		Tipo de Esgoto		
	Faixa	Típico	Faixa	Bruto	<sup>1</sup> Secundário
	-----g/hab.dia-----		-----mg.L <sup>-1</sup> -----		
Magnésio	-	-	-	-	35
RAS	-	-	-	-	6,2
pH	-	-	6,7-8,0	7,0	6,6
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> )	20-40	30	100-250	200	303
Compostos org.tóxicos	≈ 0	≈ 0	traços	traços	-
Metais pesados	≈ 0	≈ 0	traços	Traços	-
Cádmio	-	-	-	-	<2,0
Zinco	-	-	-	-	30
Níquel	-	-	-	-	190
Cobre	-	-	-	-	<10 <sup>1</sup> 00
Chumbo	-	-	-	-	24,3
Cromo	-	-	-	-	<20

**Fonte:** Sperling (2005); Marecos do Monte et al.(1989) *apud* Bastos (1999) <sup>1</sup> referente a efluente secundário (Filtro anaeróbio)

### 2.3.2 Biológica

Por estarem presentes em grande número no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, e por serem eliminadas juntamente com as fezes, as bactérias do grupo coliforme constituem o indicador de contaminação fecal mais utilizado em todo o mundo, sendo empregado como parâmetro bacteriológico básico no monitoramento de padrões de qualidade de água para o consumo humano (NUVOLARI, 2003).

A quantidade desses organismos presentes em esgotos domésticos, bem como a contribuição por habitante pode ser observada na Tabela 6.

**Tabela 6** - Características microbiológicas dos esgotos domésticos

Tipo	Organismo	Contribuição per capita (org./hab.dia)	Concentração (org/100mL)
Bactéria	Coliforme totais	$10^9 - 10^{13}$	$10^6 - 10^{10}$
	Coliformes fecais (termotolerantes)	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
	E.coli	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
	<i>Cloristridium perfringens</i>	$10^6 - 10^8$	$10^3 - 10^5$
	Enterococos	$10^7 - 10^8$	$10^4 - 10^5$
	Streptococos fecais	$10^7 - 10^{10}$	$10^4 - 10^7$
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$10^6 - 10^9$	$10^3 - 10^6$
<i>Shigella</i>	$10^3 - 10^6$	$10^0 - 10^3$	

**Tabela 6 (Continuação)** - Características microbiológicas dos esgotos domésticos

Tipo	Organismo	Contribuição per capita (org./hab.dia)	Concentração (org/100mL)
Protozoários	<i>Salmonela</i>	$10^5-10^7$	$10^2-10^4$
	<i>Cryptosporidium parvum</i> (oocistos)	$10^4-10^6$	$10^1-10^3$
	<i>Entamoeba histolytica</i> (cistos)	$10^4-10^8$	$10^1-10^5$
	<i>Giardia lamblia</i> (cistos)	$10^4-10^7$	$10^1-10^4$
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	$10^1-10^6$	$10^2-10^3$
Vírus	Vírus entérico	$10^6-10^7$	$10^3-10^4$
	Colifagos	$10^6-10^7$	$10^3-10^4$

Fonte: Sperling (2005); Nuvolari (2003)

## 2.4 PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA

Notadamente, a água como elemento estratégico, sempre preponderou nas tomadas de decisões que objetivassem o desenvolvimento econômico e cultural. Ela também constitui parte fundamental nos processos de disposição dos resíduos gerados pela atividade humana, sendo de grande importância o conhecimento antecipado dos tipos e magnitude dos danos que o despejo de cargas poluidoras podem causar (EIGER, 2003).

No Brasil e em países em desenvolvimento, a poluição de rios e córregos por compostos orgânicos se dá majoritariamente pelo lançamento de esgotos sanitários (PESSOA e JORDÃO, 1995; CÂMARA e SANTOS, 2002). Embora tenha observado nos últimos anos um aumento dessa poluição, o PNUMA (2004) considera que se adotados controles fiscais quanto ao uso das águas naturais, bem como a democratização do saneamento, desenvolvimento tecnológico e biotecnológico das atividades agrícolas e industriais, além da adoção de políticas eficazes de mudança dos hábitos de uso e ocupação dos recursos naturais, esse problema pode ser amenizado.

Nesse sentido, têm-se observado em todo o mundo uma crescente preocupação com a questão da escassez relacionada à poluição (PNUMA 2004). Isso reflete, entre outras coisas, no desenvolvimento de legislações mais restritas quanto à qualidade das águas destinadas ao consumo humano e a proteção ambiental (VAZQUEZ-MONTIEL et al., 1996). Embora essa afirmação seja verdadeira deve-se considerar que a poluição das águas por esgotos é há tempos conhecida e combatida em menor ou maior grau pelas populações urbanas. De

acordo com Wolman (1977) *apud* Vazquez-Montiel (1996), a prerrogativa de disposição de esgotos no solo ao invés de águas superficiais, surgiu na Europa há muitos séculos atrás, quando a poluição de alguns rios atingiu níveis inaceitáveis. Entretanto, a primeira expressão moderna oficial desta concepção aplicada ao esgoto doméstico foi promulgada no relatório da Primeira Comissão Real de Disposição de Água de Esgoto na Inglaterra de 1865 o qual declarou: “o *caminho certo para dispor o esgoto urbano está em aplicá-lo continuamente no solo sendo que por meio dessa aplicação é que a poluição dos rios pode ser evitada*”. Esta importante e precoce estratégia de disposição de esgoto Britânica enfatizou mais propriamente aspectos de controle da poluição das águas que os benefícios da conservação (SHUVAL, 1992).

Siebe (1996) acrescenta que a disposição no solo de efluentes sanitários não tratados é praticada em toda parte do mundo, uma vez que as vantagens econômicas oferecidas em comparação a outros tipos de tratamento/disposição são maiores. Diante disso, a disposição controlada de águas residuárias no solo pode ser empregada com uma alternativa de pós-tratamento com finalidade de equivaler ao nível secundário dos sistemas convencionais, ou como polimento de efluentes secundários (CORAUCCI FILHO et al., 2001). Segundo Reddy et al., (1981) *apud* Coraucci Filho et al. (2003), a depuração dos esgotos pode ser conseguida provocando a sua infiltração e percolação através do solo. Nesse caso, o solo e os microrganismos atuam na remoção da carga poluidora, enquanto a vegetação, se existente, cumpre a função de retirar do solo os nutrientes, evitando concentrações excessivas e inconvenientes desses elementos. Contudo, dado que a maioria dos solos do Brasil são bastante intemperizados (Resende et. al, 2002), o que impede a adsorção de substâncias alóctones, essa prerrogativa deve ser avaliada com critérios, uma vez que a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas e superficiais é relativamente grande.

Para Lucas Filho et al. (2001), a aplicação de esgotos sanitários no solo constitui o método mais simples e um dos mais eficientes de disposição final e de tratamento de efluentes líquidos através de processos naturais. Entretanto, como salientado pelo autor, mesmo com seu grande potencial e elenco de vantagens, tal processo tem sido pouco utilizado no país, embora Sperling (2005) observa uma crescente tendência de utilização desta importante alternativa no Brasil.

## 2.5 REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Como demonstrado anteriormente (Item 2.1), muitas comunidades em toda parte do mundo estão atingindo, ou já alcançaram, os limites de suprimento de água disponível. Além do mais, a poluição ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos em águas naturais tende a acelerar esse processo de escassez. Diante disso, a reciclagem e reuso de água vem se tornando quase que uma necessidade para a conservação e manutenção das fontes naturais ainda existentes (USEPA, 2004), uma vez que essa prática permite a substituição dos métodos de disposição de águas residuárias, promovendo a redução da poluição por meio do desvio da descarga de efluentes em corpos hídricos superficiais, e a otimização dos usos de um mesmo volume captado.

Para Beecher et al. (2001) a conservação de água pode ser definida como práticas, técnicas e tecnologias que aperfeiçoam a eficiência do uso desse recurso e previnam contra poluição. Segundo Leeuwen (1995), essas tecnologias e práticas aplicadas à minimização da poluição por esgotos, resultam numa alta qualidade dos efluentes, os quais devem ser recuperados ao invés de descartados, e encarados como uma possibilidade de fonte alternativa de água para suprimento da demanda de usos específicos. Isso configura uma prática de reuso, que para Lavrador Filho (1987), pode ser definido como o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Brega Filho e Mancuso (2003) designam reuso como as descargas de efluentes que são subseqüentemente utilizados por outros usuários.

## 2.6 ASPECTOS LEGAIS DO REUSO

Segundo Rodrigues (2005), os regulamentos e diretrizes sobre reuso, surgem com a necessidade de adequar as práticas que já ocorrem, ou ainda prevendo sua ocorrência em futuro próximo, de maneira a considerar, principalmente, a saúde humana e ambiental.

Os primeiros padrões (diretrizes microbiológicas) de referência desenvolvidos quanto ao reuso de águas, foram elaborados pelo departamento de Saúde Pública

do Estado da Califórnia -EUA ainda em 1918, sendo modificado e tornado mais restrito em 1948 (ONGERTH e JOPLING, 1977 *apud* SHUVAL, 1992).

Esses padrões foram copiados por muitos países de zonas áridas em todo o mundo que tão necessitavam e necessitam de água adicional para aumentar a produção agrícola. Entretanto, desde que aqueles padrões muito restritivos passaram a exigir a construção de plantas de tratamento muito caras e tecnologicamente avançadas, poucos países poderiam na prática encontrar-se dentro dos padrões estabelecidos.

Na atualidade, como veremos em alguns países, não há um modelo rígido que deva ser implementado em qualquer lugar do mundo, seja com relação às questões institucionais, seja com as questões legais, visto que as experiências internacionais são semelhantes em alguns aspectos e distintas em outros (RODRIGUES, 2005).

### **2.6.1 Estados Unidos**

Nos Estados Unidos existem poucas leis federais ou regulamentos referindo-se diretamente ao reuso de águas residuárias (USEPA, 1992 *apud* FINK e SANTOS, 2003). Nesse sentido, há aqueles estados que desenvolvem seus próprios regulamentos, e outros que não têm nenhum regulamento ou qualquer diretriz relacionada diretamente ao reuso (RODRIGUES, 2005). E em nenhum deles há previsão, em regulamento, de todos os potenciais usos das águas de reuso, e poucos apresentam regulamentação para o potável (CROOK, 1998 *apud* RODRIGUES, 2005).

Como mencionado anteriormente (Item 2.6), o Estado da Califórnia foi pioneiro na regulamentação do reuso no país. Posteriormente, a Agência de Proteção do EUA (US Environmental Protection Agency – USEPA), publicou em 1992 suas diretrizes, a fim de propiciar um direcionamento adequado aos estados que não possuíam regulamentação. Como bem destacado pelo documento, que foi recentemente revisado (USEPA, 2004), as diretrizes elaboradas não impõe obrigações legais, uma vez que são unicamente informativas.

### 2.6.2 União Européia

Na união européia a única referência ao reuso é feita no artigo 12 do Diretivo Europeu sobre Águas Residuárias (91/271/EEC), que diz: “*as águas residuárias tratadas devem ser reusadas sempre que apropriado*” (BONTOUX, 1998).

### 2.6.3 Brasil

Embora ainda não exista nenhuma legislação relativa ao reuso, e nenhuma menção tenha sido feita sobre o tema na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997), em 1992, quando da Conferência Interparlamentar sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, houve a recomendação de institucionalizar a reciclagem e reuso sempre que possível, e promover o tratamento e a disposição de esgotos de maneira a não poluir o meio ambiente (HESPANHOL, 2002)

Recentemente (DOU 09/03/2006) foi aprovada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), uma Resolução (54 de 28/11/2005) que dispõe sobre o reuso direto não potável de água, a qual define e estabelece as diretrizes legais para a prática.

## 2.7 FORMAS DE REUSO

De acordo com Organização Mundial de Saúde (OMS, 1973), o reuso de água pode ocorrer da seguinte forma:

- Reuso indireto: Ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- Reuso direto: Uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável.

Lavrador Filho (1987), por sua vez, atribui, a partir, dessa sistematização as seguintes terminologias:

- Reuso não planejado: Quando não são traçadas estratégias de correto tratamento de esgotos, prevenção contra outras fontes poluidoras e aplicação intencional dos efluentes já diluídos por um corpo receptor.

- Reuso planejado: Quando o reuso é resultado de uma ação humana consciente, onde pressupõe a adoção de medidas de controle quanto à qualidade dos efluentes tais como sistemas de tratamento de esgotos que atendam aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso destinado a água.

Considerando as definições anteriores e as completando, têm-se, de acordo com o mesmo autor, as seguintes formas de reuso:

- Reuso indireto não planejado: Ocorre quando a água já utilizada descarregada a montante de um corpo receptor, é captada a jusante e utilizada de forma não intencional e controlada. Nota-se que nesse caso há uma distância entre captação e a efetiva disposição dada ao efluente, de maneira a permitir uma diluição e depuração pelo corpo receptor.
- Reuso indireto planejado: Ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusantes em sua forma diluída e de maneira controlada, num intuito de algum uso benéfico.

Brega Filho e Mancuso (2003) destacam que esse tipo de reuso pressupõe que, além do controle feito a montante, na descarga, e de jusante, na captação, exista também um controle das eventuais descargas efluentes nesse percurso, de forma a garantir que, além das ações naturais do ciclo hidrológico, o efluente tratado esteja sujeito apenas a eventuais misturas com outros efluentes lançados no corpo d'água.

- Reuso direto planejado: Ocorre quando os efluentes, após devidamente tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, sendo que no percurso recebem tratamento adicional, mas não são, em momento algum, dispostos num corpo receptor natural.

Rodrigues (2005) coloca que dadas às diversas possibilidades de uso de águas residuárias é possível ainda classificar reuso de acordo com o fim que se destina. Nesse sentido, de acordo com Westerhof (1984) *apud* Brega Filho e Mancuso (2003), o reuso de águas pode ter dois fins: potável e não potável. O primeiro pode ser entendido como aquele destinado às atividades humanas cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos do efluente devam atender a padrões pré-estabelecidos (padrões de potabilidade) quanto ao não

oferecimento de riscos à saúde (MS, 2004). O segundo, refere-se aos usos que não oferecem riscos direto à saúde humana.

Nesse contexto, e aplicando essas definições pode-se empregar o reuso nas seguintes opções (SHUVAL, 1992; HESPANHOL, 2003a; USEPA, 2004):

## 2.8 REUSO URBANO E INDUSTRIAL

O reuso urbano possui inúmeras possibilidades, sendo que cada uma delas requer padrões de qualidades específicas, e conseqüentemente tratamentos apropriados, para atender um fim potável ou não potável. A Tabela 7 apresenta algumas opções de reuso em áreas urbanas.

**Tabela 7** - Opções de reuso em áreas urbanas

Classificação	Aplicação
Não potável	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Irrigação de parques públicos e centros recreativos, campos esportivos (golf, atletismo, futebol entre outros), jardins escolares, áreas públicas paisagísticas;</li> <li>• Irrigação de áreas verdes no entorno de residências familiares ou multifamiliares;</li> <li>• Irrigação de áreas verdes paisagísticas em áreas comerciais e industriais;</li> <li>• Lavagem de veículos, ruas, pátios, vidraças, monumentos;</li> <li>• Mistura em herbicidas, pesticidas e fertilizantes;</li> <li>• Manutenção de fontes ornamentais de água;</li> <li>• Umidificação de pistas e produção de concreto;</li> <li>• Uso em banheiros comerciais e industriais para descarga de mictórios.</li> </ul>
Potável	<p>Nesse caso, o esgoto é tratado com técnicas avançadas e reutilizado no sistema de água potável (ABS, 1992 <i>apud</i> Brega Filho e Mancuso 2003). Muito embora a USEPA (2004) de diretrizes para instalação de sistemas públicos conjugados de águas potáveis e não potáveis, e a OMS, não recomende a conexão direta de efluentes de uma estação de tratamento de esgotos a uma estação de tratamento de águas e, em seguida, ao sistema público de distribuição.</p>

De acordo com USEPA (2004), o reuso industrial tem aumentado substancialmente desde o início dos anos 90 por razões semelhantes a aquelas observadas no reuso urbano: escassez de água e aumento populacional, particularmente em áreas secas.

FIESP/CIESP (2004) *apud* Rodrigues (2005), afirma que o reuso pode ser realizado através do aproveitamento na própria indústria, com ou sem tratamento, configurando a reciclagem, reuso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição (LAVRADOR FILHO, 1987), ou pela utilização dos esgotos tratados provenientes das companhias de saneamento, o que configura um reuso direto planejado, podendo ter fins potáveis ou não.

Entre as várias opções de reuso na indústria, a Tabela 8 traz alguns exemplos.

**Tabela 8** - Opções de reuso na indústria

<b>Classificação</b>	<b>Aplicação</b>
Não potável	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torres de resfriamento;</li> <li>• Lavagem de pátios e equipamentos;</li> <li>• Caldeiras; Processos Industriais.</li> <li>• Obras civis;</li> </ul>
Potável	Dependendo do processo industrial envolvido, há a necessidade de águas de excelente qualidade. Numa indústria alimentícia, por exemplo, caso haja o reuso no processo, este pode ser classificado como potável.

## 2.9 REUSO AGRÍCOLA

De acordo com Shuval (1992), após a segunda Guerra Mundial, houve um dramático interesse na estratégia de reciclagem/reuso de esgoto. Isso se deu em função principalmente de recursos adicionais de água para áreas com escassez hídrica dos países desenvolvidos e países situados em zonas áridas. Contudo como destacado pelo autor, os novos projetos agrícolas em desenvolvimento naquela época visando fornecer alimento à população em crescente aumento, acompanhada pela expansão dos centros urbanos, não foram os motivadores desse interesse.

Estes foram decorrentes das necessidades econômicas, seguidas pelas necessidades sociais.

A partir daí, e mais recentemente durante as duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou significativamente, em razão dos seguintes fatores (PAGANINI, 2003; HESPANHOL, 2003a):

- Dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação;
- Custo elevado de fertilizantes;
- A segurança de que os riscos a saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas são efetivamente tomadas;
- Os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para a descarga em corpos receptores;
- Aceitação sócio-cultural da prática do reuso agrícola;
- O reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

Segundo Brega Filho e Mancuso (2003), a maioria dos autores classifica o reuso não potável de acordo com o tipo de cultura que o utiliza. Nesse sentido, a Tabela 9 apresenta algumas opções de reuso agrícola.

**Tabela 9** - Opções de reuso na agricultura

<b>Classificação</b>	<b>Aplicação</b>
Não potável	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Irrigação de plantas não comestíveis – pastagens, fibras e sementes.</li> <li>• <sup>1</sup>Irrigação de plantas a serem consumidas cozidas</li> <li>• Mistura em herbicidas, pesticidas e fertilizantes</li> </ul>
Potável	Irrigação de hortaliças a serem consumidas cruas.

<sup>1</sup> Conforme a classificação de Westerhoff (1984) *apud* Brega Filho e Mancuso (2003).

### 2.9.1 Vantagens do Reuso Agrícola

Uma vez que apropriadamente planejado, o reuso de esgotos domésticos alivia os problemas de poluição de águas superficiais, o que não só permite a

conservação das fontes naturais, mas também o bom desenvolvimento de plantas cultivadas, uma vez que os nutrientes presentes se tornam a elas disponíveis. Esses nutrientes, principalmente o fósforo e o nitrogênio, uma vez fornecidos, reduzem ou eliminam a necessidade de adição de fertilizantes comerciais (PESCOD, 1992). Isso contribui para o desenvolvimento da produção agrícola em regiões que tem pouca ou nenhuma disponibilidade hídrica (FAO, 2003), e a minimização dos impactos ambientais oriundos da mineração voltada para agricultura (rochas fosfatas, por exemplo) e dos problemas hídricos decorrentes do carreamento de insumos agrícolas para corpos d'água.

Marques et al. (2003) e Bernardes et al.(1999) *apud* Coraucci Filho et al. (2003) afirmam que uma vez no solo, os esgotos provocam rápidas alterações em seus parâmetros físicos, uma vez que os resíduos orgânicos adicionais tendem a diminuir a densidade do solo, aumentar o estado de agregação das partículas e melhorar as condições de aeração. Alterações químicas também são esperadas em função da adição, via esgoto, de nutrientes mineralizados.

#### *2.9.1.1 Benefícios econômicos*

O aumento das terras cultivadas e da produtividade agrícola são mais significativos em áreas onde se depende apenas da irrigação natural, proporcionada pelas águas de chuvas. De acordo com HESPANHOL, (2003a), estudos desenvolvidos em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em sistemas de irrigação com esgotos adequadamente administrados; e que quando as condições climáticas permitem, é possível efetuar colheitas múltiplas praticamente ao longo de todo ano (BARTONE e ARLOSOROFF, 1987 *apud* HESPANHOL, 2003a).

#### *2.9.1.2 Benefícios ambientais e de saúde pública*

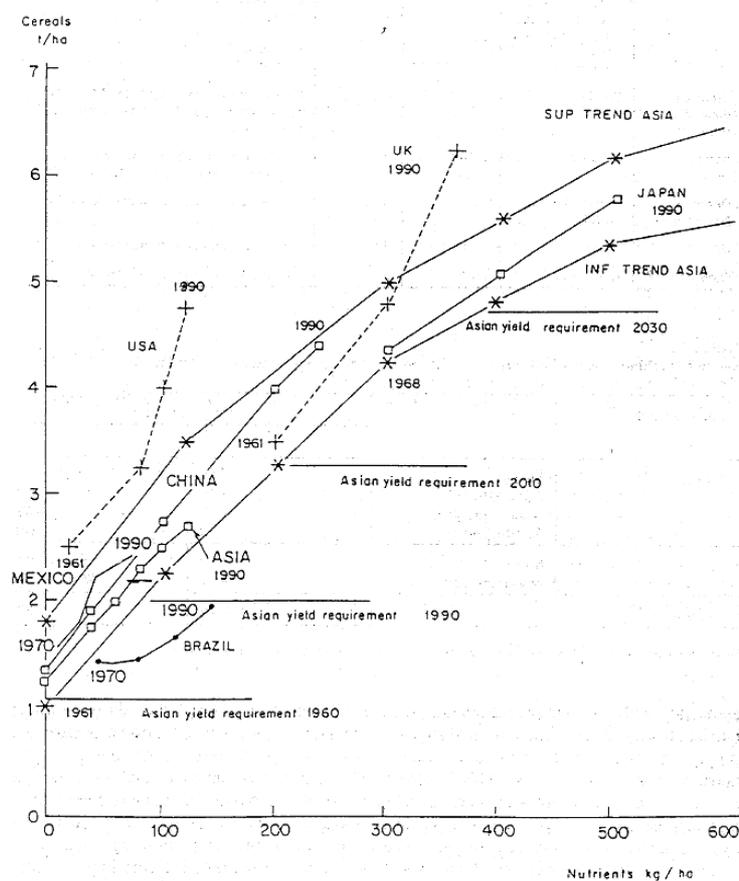
No que se refere aos benefícios ambientais pode ser destacado a redução substancial ou eliminação da necessidade do emprego de fertilizantes comerciais, os quais embora estejam em crescente expansão (Figura 1), são mais empregados para garantir teores mínimos de produtividade do solo frente aos diversos tipos de

perdas (erosão, degradação, entre outros), que a própria demanda das culturas (JULY, 1993 *apud* ONGLEY, 1996). Em adição, além dos nutrientes e dos micronutrientes não disponíveis na maioria dos fertilizantes químicos de menor custo disponíveis no mercado, a aplicação de esgotos proporciona a elevação da matéria orgânica, que age como condicionador do solo, aumentando a sua capacidade de retenção hídrica (MARQUES et al., 2003). Somadas a estas vantagens, ainda têm-se:

- Prevenção dos recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aquíferos provoca intrusão de cunha salina;
- Conservação do solo, pela acumulação de húmus e nutrientes, e aumento da resistência à erosão;

Quanto aos benefícios à saúde pública, o reuso possibilita a minimização das descargas de esgotos em corpos de água. Conseqüentemente ocorre a redução das doenças de veiculação hídrica provocadas por patógenos e substâncias químicas presentes nestes efluentes. E uma vez integrado ao sistema de coleta, tratamento, o reuso agrícola, permite a otimização em termos de transporte do efluente e disposição (PESCOD, 1992).

Além do mais, o reuso contribui, principalmente em áreas carentes, para o aumento da produção de alimentos, elevando, assim, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações.



**Figura 1:** Evolução do uso de fertilizantes e produção agrícola na Ásia, Estados Unidos, Europa e América Latina.  
**Fonte:** Joly (1993) *apud* Ongley (1996)

### 2.9.2 Implicações do Reuso Agrícola

Em geral, os aspectos que devem ser considerados no reuso de águas residuárias para fins agrícolas não são diferentes daqueles aplicados a fontes de águas naturais. Contudo, a preocupação tende a aumentar quanto à observância de determinados agentes infectantes e poluentes, uma vez que os elevados riscos associados ao uso de esgotos domésticos para fins potáveis, exigem cuidados extremos para assegurar proteção efetiva e permanente dos usuários (HESPANHOL, 2002). Segundo Siebe (1996), os riscos a saúde humana, como infecções parasitárias e acúmulo de metais pesados no organismo transferidos pela cadeia alimentar, representam a maior limitação do reuso na agricultura. Contudo, a FAO (2003), destaca que esses riscos em sua maioria são decorrentes de tratamentos insuficientes das águas residuárias, o que expõe a saúde dos trabalhadores envolvidos na irrigação e os consumidores dos alimentos.

Além disso, quando praticado de maneira inadequada, o reuso agrícola de esgotos pode trazer sérios problemas, como o acúmulo de sais, diminuição da capacidade de infiltração da água, a acumulação de fosfato ou a lixiviação de nitratos (PAGANINI, 2003; MARQUES et al., 2003).

### *2.9.2.1 Risco Biológico*

De acordo com Shuval (1992), a maior restrição para o reuso de águas residuárias esta relacionada à presença de microrganismos patogênicos – vírus, protozoários e helmintos. Muitos destes patógenos estão presentes em elevadas concentrações, e podem sobreviver por dias, semanas e até alguns meses no esgoto, em solos umedecidos ou em cultivos com ele irrigados. Isso oferece risco potencial à saúde de trabalhadores e de moradores de áreas onde as atividades de reuso de águas são desenvolvidas, bem como ao público que consome plantas irrigadas com esgotos ou utilizam áreas recreativas (campos ou lagos) que recebem esse tipo de água.

Shuval et al. (1986), desenvolveram uma classificação relacionada à presença de microrganismos patogênicos de acordo com sua probabilidade de impor riscos atribuíveis à irrigação com esgotos domésticos (Tabela 10).

Contudo, deve-se considerar como bem salientado por Hespanhol (2003), que a mera presença de organismos patogênicos em esgotos, solo ou culturas não significa deterministicamente, a transmissão de doenças. Isso se deve

as barreiras protetoras, providenciadas por fatores característicos dos microrganismos (dose efetiva, persistência, carga residual, latência etc.), dos hospedeiros (imunidade natural ou adquirida, idade e sexo, condições gerais de saúde) e outros fatores, que fazem com que o risco real de provocar doenças seja, geralmente, muito inferior ao risco potencial, caracterizado pela mera constatação da presença de organismos patogênicos” (HESPANHOL, 2003).

Considerando que a prerrogativa acima esteja correta, é importante destacar que embora as incertezas quanto à taxa de exposição sejam reais (Cardoso, 2005), é importante estabelecer critérios mínimos para prevenção quanto a doenças infecciosas. Nesse sentido, conforme sistematizado na Tabela 11, Shuval et al.

(1986); OMS (1989) e USEPA (1992; 2004) recomendam critérios de qualidade microbiológica para a utilização de águas residuárias na irrigação.

**Tabela 10** - Risco associado ao reuso de esgoto doméstico

Risco	Organismo
Alto risco	Helminhos, nematóides intestinais humanos ( <i>A. lumbricoides</i> , <i>Trichuris trichiura</i> , <i>N. americanus</i> e <i>A. duodenale</i> ).
Médio risco	Bactérias ( <i>V. cholerae</i> , <i>S. tyhi</i> e <i>Shigellae</i> ssp.) e protozoário ( <i>E. histolytica</i> , <i>Giardia sp.</i> e <i>Cryptosporidium</i> ssp.)
Baixo risco	Vírus (enterovírus e vírus da hepatite)

Fonte: Adaptado de Shuval (1986)

**Tabela 11:** Critérios microbiológicos para uso de águas residuárias na agricultura

Tipo de irrigação e cultura	Qualidade microbiológica do efluente	Fonte
Culturas alimentícias não processadas comercialmente e potencialmente consumidas cruas	<b>Coliformes fecais (org/100mL) <sup>1</sup></b>	
	ND	USEPA (1992)
	<1.000	OMS (1989); Shuval et al (1986)
	ND	USEPA (2004)
	<b>Nematóides intestinais (ovos/L)<sup>2</sup></b>	
	ND	USEPA, (1992)
	<1	OMS (1989); Shuval et al (1986)
	ND	USEPA (2004)
	Culturas alimentícias processadas comercialmente	<b>Coliformes fecais (org/100mL)</b>
≤200/100mL		USEPA, (1992)
SR		OMS (1989); Shuval et al (1986)
<200/100mL		USEPA (2004)
<b>Nematóides intestinais (ovos/L)</b>		
SR		USEPA, (1992)
<1		OMS (1989);
ND		Shuval et al (1986) USEPA (2004)
Culturas não alimentícias		<b>Coliformes fecais (org/100mL)</b>
	≤200/100mL	USEPA, (1992)
	Não aplicável	OMS (1989);
	<200/100mL	Shuval et al (1986) USEPA (2004)
	<b>Nematóides intestinais (ovos/L)</b>	
	SR	USEPA, (1992)
	Não aplicável	OMS (1989);
	SR	Shuval et al (1986) USEPA (2004)

Fonte: Shuval et al. (1986); OMS (1989); USEPA (1992; 2004). <sup>1</sup> média de amostragem de sete dias consecutivos; <sup>2</sup> *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator* e *Anncylostoma* – média aritmética durante o período de irrigação; SR – sem recomendação; ND - não detectável.

### 2.9.2.2 Risco de Salinização e Sodicidade

Para Papadopoulos (1999), os esgotos domésticos apresentam teores de macro e micro nutrientes satisfatórios para a demanda da maioria das culturas. Porém, a presença de sais e sólidos dissolvidos fixos deve ser vista com atenção, já que tais características podem gerar efluente salino, impróprio para irrigação afetando diretamente a nutrição vegetal. Embora haja um número conhecido de culturas tolerantes a salinidade. Shannon et al. (1997) destacam a grande necessidade de monitorar e administrar a irrigação e considerar a sustentabilidade do sistema como um todo.

Shannon et al. (1997) considera que o maior fator de degradação quanto ao reuso de águas na agricultura é a elevada concentração de íons, que quando do aumento da salinidade, podem se tornar tóxicos ou interferir na absorção de outros nutrientes, uma vez que seu acúmulo eleva o potencial osmótico oposto ao da extração das plantas, e desestruturar o solo. Por sua vez, para compensar essa variação, a planta usa uma parcela grande de sua energia para ajustar a concentração de sal dentro de seu tecido a fim obter a água adequada, o que resulta em menos energia disponível (USEPA, 2004).

#### Salinidade

O risco potencial de salinização do solo é avaliado com base na salinidade da água de irrigação (MARQUES et al. 2003). Para USEPA (2004), este é um dos parâmetros mais importantes a ser determinado com vistas à garantia de sustentabilidade do sistema (água, solo e planta).

A salinidade é determinada a partir da condutividade elétrica (CE) e/ou os sólidos totais dissolvidos (STD). A primeira representa a capacidade da água em transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, principalmente inorgânicas, que se dissociam em cátions e ânions (ESTEVES, 1998). Logo, quanto maior a concentração de íons, maior a capacidade de transmitir corrente e, conseqüentemente, maior a condutividade. O segundo está diretamente ligado à primeira, uma vez que determina diretamente a concentração de constituintes inorgânicos que são mensurados indiretamente pelo condutivímetro.

Para USEPA (2004), os interesses com salinidade relacionam-se aos possíveis impactos relacionados a (ao):

- Potencial osmótico do solo;
- Toxicidade específica do íon; - Blum (2003) destaca que os íons mais importantes considerados, quando se utiliza água tratada de esgotos são, o sódio, boro e cloretos;
- Degradação das condições físicas do solo.

Pair et al (1987) *apud* Blum (2003) definem quatro níveis de salinidade de águas para irrigação agrícola em razão da tolerância de plantas e Gheyi et al. (1999) *apud* Marques et al. (2003), apresentam critérios usualmente empregados para avaliar a qualidade de esgotos para fins de irrigação (Tabela 12):

- **Salinidade adequada a plantas sensíveis** (Tabela 13) – Salinidade baixa o suficiente para ser utilizada na irrigação da maioria das plantas, na maioria dos tipos de solo, sem que ocorra aumento na salinidade natural do meio (solo), mesmo sem lixiviação;
- **Salinidade adequada a plantas moderadamente sensíveis** (Tabela 13) – Águas que podem ser utilizadas com níveis moderados de lixiviação do solo. Plantas com tolerância moderada a sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem necessidade de medidas especiais;
- **Salinidade adequada a plantas moderadamente tolerantes** (Tabela 13) – A água não se presta para irrigação sob condições normais, mas pode ser utilizada ocasionalmente sob condições muito especiais. O solo deve ser permeável e bem drenado, e a água deve ser aplicada em altas taxas para permitir o arraste dos sais. Nesse caso, é recomendado o plantio espécies de plantas tolerantes.
- **Salinidade adequada a plantas tolerantes** (Tabela 13) – A água não se presta para irrigação sob condições normais, mas pode ser empregada em condições especiais. As considerações sobre o solo são as mesmas apresentadas para “salinidade adequada para plantas moderadamente tolerantes”.

**Tabela 12** – Diretrizes quanto à concentração de CE e STD para águas de irrigação

Parâmetro	Unidade	Restrição de uso		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Salinidade (fator limitante da disponibilidade de água para a cultura)				
CE	dS/m	<0,7	0,7-3,0	>3,0
STD	mg.L <sup>-1</sup>	<450	450-2.000	>2.000

Fonte: Gheyi et al. (1999) apud Marques et al. (2003).

**Tabela 13** - Classificação de culturas quanto a tolerância a sais

Sensível			Moderadamente sensível			Moderadamente tolerante			Tolerante		
Cultura	(1)	(2)	Cultura	(1)	(2)	Cultura	(1)	(2)	Cultura	(1)	(2)
Ameixa	1,5	18	Arroz	3,3	13	Abobrinha	4,7	9,4	Algodão	7,7	5,2
Feijão	1,0	19	Alface	1,3	13	Soja	5,0	20	Aspargo	4,1	2,0
Laranja	1,7	16	Berinjela	1,1	6,9	Sorgo	6,8	16	Cevada	8,0	5,0
Pêssego	1,7	33	Brócolis	2,3	9,2	-	-	-	Tâmara	4,0	3,6
-	-	-	Milho	1,7	12	-	-	-	-	-	-
-	-	-	Tomate	2,5	9,5	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Ghey et al (1999) apud Marques et al (2003) e Tanji (1990) apud Blum (2003) – (1) indica o nível de salinidade da zona radicular tolerável pelas plantas (salinidade limiar) medida em dSm<sup>-1</sup>; (2) indica a redução em porcentagem (%) da produtividade relativa em função do aumento da unidade de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

### Sodicidade

O sódio excessivo na água da irrigação (quando o sódio excede o cálcio por mais do que uma relação de 3:1) contribui para a dispersão dos minerais de argila em partículas finas, que passam a ocupar muito dos espaços de poros menores, ou se movimentam descendentemente (eluviação), selando a superfície e reduzindo extremamente as taxas de infiltração da água (MARQUES et al. 2003; AWWA, 1997 apud USEPA, 2004).

Nesse contexto, o crescimento vegetal é afetado por uma indisponibilidade de água no solo, e não pela interferência na absorção destas pelas plantas (Tanji, 1990 apud USEPA, 2004).

Com respeito à estrutura do solo, os íons de cálcio e magnésio agem como estabilizadores, em contrastes com o íon desestabilizador sódio, uma vez que no

intercâmbio de cátions, a tendência é do Mg e Ca substituírem o Na (MARQUES et al., 2003). Nesse sentido, o efeito potencial do sódio para os solos pode ser avaliado através de uma relação entre os três elementos (Na: Ca: Mg), expressa pela razão de adsorção de sódio (RAS), conforme segue (MARQUES et al., 2003; BLUM, 2003):

(1.0)

$$RAS = Na^+ / [(Ca^{++} + Mg^{++}/2)]^{1/2}$$

Onde:

**Na** = Teor de sódio na água de irrigação (meq/L);

**Ca** = Teor de cálcio na água de irrigação ou em equilíbrio na solução do solo (meq/L);

**Mg** = Teor de magnésio na água de irrigação (meq/L)

Uma vez que o risco de salinização, associado ao uso de águas com baixa qualidade, requerem seleção de culturas com apropriada tolerância a sais, melhoras na administração da irrigação e manutenção da estrutura e permeabilidade do solo, alguns critérios de qualidade devem ser observados quando do planejamento do reuso na irrigação (Tabela 14).

**Tabela 14:** Critérios de qualidade de água quanto a prevenção da salinização

Constituinte	Limite recomendado	Efeitos
pH	6.0	A maioria dos efeitos do pH sobre o desenvolvimento de plantas é indireto.
TDS	500 – 2.000 mg.L <sup>-1</sup>	Abaixo de 500 mg.L <sup>-1</sup> não efeito nocivo notado. Entre 500 e 1.000 mg.L <sup>-1</sup> , TDS em águas de irrigação podem afetar sensivelmente as plantas. De 1.000 a 2.000 mg.L <sup>-1</sup> , podem afetar muitas plantas e práticas cuidadosas devem ser seguidas. Acima de 2.000 mg.L <sup>-1</sup> a água pode ser usada somente em plantas tolerantes e em solos bem permeáveis.
Cloro Residual Livre	<1 mg.L <sup>-1</sup>	Concentrações maiores que 5 mg.L <sup>-1</sup> causam severas prejuízos a maioria das plantas. Algumas espécies mais sensíveis podem ser afetadas com níveis abaixo de 0,05 mg.L <sup>-1</sup> .

**Tabela 14 (Continuação):** Critérios de qualidade de água quanto a prevenção da salinização

Constituinte	Limite recomendado	Efeitos
Cloretos	100-350	Teores abaixo de 100 mg.L <sup>-1</sup> não acarretam Nenhum efeito prejudicial. Acima de 100 podem causar problemas de adsorção foliar e, em menor grau, de adsorção pela raiz. Acima de 350, podem acarretar problemas graves.
Sódio – foliar	Max.70	Concentrações superiores a 70 mg.L <sup>-1</sup> podem acarretar prejuízos à planta em razão da adsorção foliar.
Sódio-Absorção pela Raiz	SAR 3-9	Valores de SAR inferiores a 3 não causam nenhum prejuízo; entre 3 e 9, podem ocorrer prejuízos moderados, e acima de 9, esses prejuízos podem ser graves.

**Fonte:** Rowe e Abdel-Magid, (1995) *apud* USEPA (2004); USEPA (1999); Crook (1993) *apud* Blum (2003).

### 2.9.3. Risco Químico

Embora as frações de metais sejam pequenas em esgotos domésticos (PAGANINI, 2003), a segurança quanto a sua presença em atividade de irrigação deve ser garantida (Tabela 15), uma vez que cada efluente e solo possuem características particulares. Esta prerrogativa deve prevalecer, e ainda considerar, o exposto por Amaral Sobrinho et al. (1992), que ressaltam que o aumento do teor de elementos traço no solo pela aplicação de fertilizantes pode levar décadas e que não só a concentração do elemento no insumo, mas também a dose aplicada deve ser levada em consideração quando se pretende calcular a carga de elemento traço adicionado ao solo.

De acordo com Wild (1993), o termo metal pesado refere-se a metais com uma densidade maior que certo valor, em geral 5 ou 6 g.cm<sup>-3</sup>. Segundo, Oliveira (1998) e Mazor (1997), o termo metais traços, ou elementos traços, pode ser utilizado como um termo alternativo e se refere a qualquer elemento presente em quantidades traços, ou seja, abaixo de 100 mg.kg<sup>-1</sup> na natureza. Para Fonseca (1999) e USEPA (2004), os metais pesados conhecidos de maior importância quanto à contaminação são, de acordo com sua solubilidade, Cd>Zn>Ni>Cu>Pb>Cr.

Em se tratando de sua infiltração e percolação no solo, estas são diretamente influenciadas por propriedades do solo, tais como umidade, conteúdo de matéria orgânica, acidez (PAGANINNI 2003; SILVA e FAY, 1997).

Segundo Amaral Sobrinho (1992), a principal fonte de cádmio em solos são os fertilizantes fosfatados, os quais em geral apresentam concentrações de aproximadamente  $7 \mu\text{g.g}^{-1}$  (WILD, 1993). Contudo, segundo o mesmo autor esse valor varia de acordo com a fonte de fosfato rochoso que utilizado no beneficiamento do fertilizante, embora a quantidade de cádmio adicionada ao solo seja maior em uma aplicação de lodo de esgoto industrial que numa aplicação normal de fertilizante (WILD, 1993). Em soluções aquosas, o cádmio é somente fracamente hidrolisado e o íon predominante é  $\text{Cd}^{2+}$ . Em baixas concentrações na solução do solo ele é absorvido por minerais de argila, incluindo os óxidos de alumínio e magnésio. Esse elemento também é fortemente adsorvido por carbonato de cálcio, sendo que na matéria orgânica a intensidade de adsorção é menor que o cobre e chumbo. De maneira resumida, a adsorção desse metal se da em função das propriedades do solo, bem como a espécie da planta e do cultivar (WILD 1993). De acordo com Paganinni (2003), o cádmio é altamente tóxico às plantas e aos animais, e ao lado do mercúrio, é considerado o metal mais tóxico para o ser humano. Sua absorção pelas plantas é maior quanto mais rico for o solo quanto a esse elemento, sendo diminuída com o aumento do pH (WILD 1993). Devido sua similaridade com o zinco, as plantas o absorvem quando presentes em águas de irrigação (BAIRD, 2002). Quanto aos efeitos á saúde humana, Silva et al., (2001) mencionam: câncer, queda da imunidade, aumento da próstata, enfraquecimento ósseo, dores nas articulações, anemia, enfisema pulmonar, osteoporose e perda de olfato.

O zinco é fortemente adsorvido pelos colóides do solo, o que ajuda a diminuir as perdas por lixiviação, aumentando o efeito residual. Por um lado, grandes quantidades de zinco podem ser “fixadas” pela fração orgânica do solo, e imobilizado nos corpos de alguns microorganismos, induzindo a deficiências (LOPES, 1999). Segundo Paganini (2003), a percolação de sais pode carrear o elemento profundamente no perfil do solo, sendo que o contrário ocorre em solos alcalinos ou calcáreos, onde o zinco pode ser retido em grandes quantidades, dada à capacidade de troca catiônica. O zinco é um metal essencial ao organismo humano, animal e vegetal. Porém, dependendo da concentração (500 ppm) presente, pode ser tóxico às plantas (PAGANINI, 2003). Quando afetado, o

organismo humano pode apresentar sensações de como: paladar adocicado e secura na garganta, tosse, fraqueza, dor generalizada, arrepios febre, náuseas, vômitos (SILVA et al., 2001).

O níquel tem como principal origem geoquímica, as rochas magmáticas que contém até  $3600 \text{ mg.kg}^{-1}$  do elemento. Já rochas alcalinas e sedimentares apresentam baixos teores do metal (REIS, 2002). No caso de solos agrícolas, sua presença esta associada ao uso de fertilizantes, os quais representam a principal fonte antropogênica desse elemento (AMARAL SOBRINHO, 1992). Segundo Saubeck e Hein (1991) *apud* Reis (2002), o conhecimento sobre o comportamento e adsorção do níquel ainda é relativamente escasso quando comparado a outros metais pesados, sobre tudo considerando-se as diferentes condições de solo, formas químicas em que o metal é adicionado e das espécie vegetais presentes. O níquel apresenta níveis tóxicos para algumas plantas a partir de concentrações de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  (Tabela 15). No que se refere à saúde humana, o níquel pode causar: câncer, dermatite de contato, gengivite, erupções na pele, estomatite, tonturas, dores articulares, osteoporose e fadiga crônica (SILVA et al., 2001).

Segundo ADRIANO (1986), a concentração média mundial de cobre nos solos é de  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  numa amplitude média entre 2 e  $250 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Paganini (2003), ressalta que contaminação antrópica por esse elemento é rara, exceto quando se faz disposição de efluentes de atividades agrícolas, onde esse elemento é largamente utilizado como fungicida. No solo, o cobre pode formar complexos tão estáveis com a matéria orgânica que somente pequenas quantidades são disponíveis para as plantas (LOPES, 1999). Quando nessa forma de complexo orgânico, o cobre move-se vagorosamente, permanecendo nas camadas superficiais (PAGANINI, 2003). Por outro lado, em solos arenosos e com baixa quantidade de matéria orgânica, esse metal tende a ser lixiviado (LOPES, 1999). O cobre pode ser altamente tóxico às plantas e aos animais quando na forma iônica, e muito menos quando na forma orgânica (SILVA et al., 2001).

Segundo Baird (2002), geralmente o chumbo não constitui um problema ambiental até que venha dissolver e produzir a forma iônica. O mesmo autor ressalta que, embora a concentração desse elemento esteja crescendo em algumas partes do planeta, as aplicações que resultam em sua dispersão descontrolada vêm sendo bastante reduzidas nas últimas duas décadas em muitos países ocidentais, o que conseqüentemente implica em sua substancial diminuição no meio ambiente.

Embora as plantas não transportem consideráveis quantidades de chumbo para suas partes superiores (raramente concentrações acima de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ ), em contraposição ao acumulado nas raízes (centenas de  $\text{mg.L}^{-1}$ ), a presença desse elemento pode inibir o crescimento celular. Muito embora não tenha sido observado efeitos fitotóxicos em concentrações de até 200 ppm de chumbo solúvel acrescido ao solo (PAGANINI, 2003). No organismo humano, o chumbo permanece, podendo ser acumulado, por vários anos. Contudo sua toxicidade é proporcional à quantidade presente nos tecidos macios, e não à quantidade que se encontra no sangue ou nos ossos (BAIRD, 2002).

**Tabela 15:** Concentrações máximas recomendadas para oligoelementos de águas de irrigação

Elemento	Limite PC <sup>1</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )*	Limite PL <sup>2</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	Observações
Al - Alumínio	5.0	20.0	Solos ácidos (pH < 5.5) podem se tornar improdutivos; porém em solos com pH>5,5, o Al precipita eliminando a fitotoxicidade.
Cd - Cádmio	0.01	0.05	Tóxico para feijões, beterraba e nabo em concentrações da ordem de 0,1 mg.L <sup>-1</sup> , em soluções nutritivas; trata-se de elemento perigoso que pode se acumular em plantas e animais.
Co - Cobalto	0.05	5.0	Tóxico para tomateiros em solução nutritiva de 0.1 mg.L <sup>-1</sup> . Tende a ser inativado por solos neutros e alcalinos.
Cr - Cromo	0.10	1.0	Reconhecido por ser um elemento não essencial para o crescimento. Sua conservação em valores baixos é recomendado por haver pouco conhecimento sobre sua toxicidade.
Cu - Cobre	0.20	5.0	Tóxico a plantas entre 0.1 to 1.0 mg.L <sup>-1</sup> em soluções nutritivas de fertirrigação
Fé - Ferro	5.0	20.0	Não é tóxico a plantas em solos bem aerados, contudo pode contribuir para acidificação e perda de elementos essenciais disponíveis como fósforo e molibdênio.
Mn - Manganês	0.20	10.0	A toxicidade em algumas culturas pode ocorrer desde alguns décimos a uns poucos mg.L <sup>-1</sup> em solos ácidos
Ni - Níquel	0.20	2.0	Níveis entre 0,5 e 1,0 mg.L <sup>-1</sup> podem causar toxicidade em certas plantas. Essa toxicidade é reduzida com o pH neutro ou alcalino.
Pd - Chumbo	5.0	10.0	Em altas concentrações pode inibir o crescimento celular.
Zn - Zinco	2.0		Níveis tóxicos variam amplamente. Sua toxidade é reduzida em pH>6 em solos de textura argilosa

**Fonte:** Gleyi et al (1999) *apud* Marques et al. (2003); Rowe and Abdel-Magid, (1995) *apud* USEPA (2004).<sup>1</sup> Limite PC refere-se aos teores limites para irrigação em períodos curto, abaixo de 20 anos. <sup>2</sup> Limite PL refere-se aos teores limites para irrigação em períodos longos, acima de 20 anos.

### **3 MATERIAS E MÉTODOS**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O presente estudo foi desenvolvido na Estação Experimental do Campus Universitário da Universidade Federal do Tocantins (UFT), localizada na cidade de Palmas – TO sob as seguintes coordenadas: S 10° 10' 42,1" W 48° 21' 22,6". A altitude da área é de 236m, e apresenta as seguintes características ambientais, detalhadas de acordo com as recomendações de Santos et al. (2005).

##### **3.1.1 Material de origem**

Como o próprio termo indica, representa o material primitivo que deu origem ao solo. O solo da área em questão teve sua origem em Sedimentos aluvionares do Quaternário (Ranzani, 2002).

##### **3.1.2 Solo**

Na área ocorrem solos do Grupo Latossolos, que são caracteristicamente profundos, bem acentuadamente drenados, muito permeáveis e porosos, em avançado estágio de intemperização (RANZANI, 2002; RESENDE et al., 2002).

##### **3.1.3 Pedregosidade e Rochosidade**

A pedregosidade refere-se à proporção relativa de calhaus e matacões sobre a superfície do solo. Os levantamentos na área permitiram classificá-la como não pedregosa.

Já a rochosidade indica a proporção relativa de exposição de rochas do embasamento, na superfície do solo. Na área em questão não há a ocorrência de afloramentos do substrato rochoso nem de matacões.

### **3.1.4 Relevo e Declividade**

O relevo está intimamente ligado ao fator tempo na gênese dos solos (RESENDE et al., 2002). Pelo próprio tipo de solo, Latossolo, que representa a classe de solos mais antiga do país (EMBRAPA, 1999), era de esperar um relevo mais suave e estabilizado. Nesse sentido, o relevo predominante na área estudada é plano.

A declividade do terreno é inferior a 3% (Ranzani, 2002).

### **3.1.5 Drenagem e Erosão**

Refere-se ao tempo de permanência ou retirada de água do perfil do solo. De acordo com as classes de drenagem (SANTOS et al. 2005), a área apresenta-se bem drenada, uma vez que a água é removida do solo com facilidade, porém não rapidamente.

A erosão, no sentido geral, refere-se a remoção ou perda de solo superficial ou subsuperficial. De acordo com as classes de erosão (SANTOS et al. 2005), a área onde os estudos se desenvolveram apresenta uma erosão laminar (remoção mais ou menos uniforme, sem o aparecimento de sulcos) ligeira (remoção menor que 25% dos primeiros 25cm superficiais).

### **3.1.6 Cobertura vegetal original e a atual**

De acordo com o projeto RADAMBRASIL (1981), a vegetação local da área pode ser classificada como Savana Arbórea Aberta sem Floresta-de-Galeria, Campo ou Cerrado Ralo conforme Ribeiro e Walter (1998).

Atualmente a vegetação é composta por pastagem e espécies vegetais empregadas em experimentos agronômicos.

### **3.1.7 Clima**

Devido sua continentalização, seu aspecto geográfico e a constância da massa de ar sobre a região, o Município de Palmas encontra-se em pleno domínio

da zona climática tropical (RANZANI, 2002). De acordo com SEPLAN (2003) a região de Palmas apresenta a classificação C2wA'a' – clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1500mm, distribuindo-se no verão em torno de 420mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental escolhido foi o fatorial (3x10) inteiramente casualizado com 10 repetições. O experimento foi, então, montado em casa de vegetação de 25 x 4m, sem controle de umidade e temperatura, coberta por polietileno transparente, sendo usados vasos com capacidade de 14 L., que foram completados com uma camada de 0 a 15cm de solo seco e destorrado. Embora haja a existência de uma variedade de tipos de solos, o escolhido para o experimento foi o Latossolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 1999), uma vez que em se tratando da região dos Cerrados, e também do Brasil, essa é a classe predominante (COELHO et al., 2002).

Os tratamentos foram configurados da seguinte maneira: T1 – irrigação com esgoto, em solo de pH corrigido por calagem; T2 – irrigação com esgoto, em solo de pH corrigido por calagem e adubação completa; T3 – irrigação com água, em solo de pH corrigido por calagem e adubação completa. Conforme as recomendações de adubação e calagem (RIBEIRO et al., 1999) adaptadas à região, aplicaram-se, em função dos tratamentos mencionados acima, 41,5 g/vaso de calcário dolomítico, 15,0 g/vaso de fertilizante mineral (4-14-8) e 150,0 g/vaso de fertilizante orgânico. Posteriormente realizou-se a seleção de 10 variedades de batata doce [*Pomoea batatas* (L) Lam], sendo sete clones (C08, C48, C58, C100, C106, C112, C114) e 3 variedades comerciais (Palmas, Brasilândia Roxa e Branca). Essa olerícola foi escolhida por ser bem adaptada às condições locais, além de servir como alimento e matéria prima para a produção de álcool.

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o programa SAS for Windows versão 8. Quando a análise de variância indicava significância, foi utilizado, para testar as diferenças de médias, o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os estudos se iniciaram em agosto de 2004, e se findaram em fevereiro de 2005 quando da colheita da cultivar.

### 3.3 CARACTERISICAS DA ETE BREJO COMPRIDO E DO EFLUENTE

A estação de tratamento de esgotos Brejo Comprido (ETE Brejo Comprido) é composta por:

**a) Tratamento preliminar:**

- i) Grade e caixa de areia;

**b) Elevatória de esgoto bruto:**

**c) Tratamento primário:**

- i) Reator anaeróbio de fluxo ascendente – RAFA

**d) Tratamento secundário:**

- i) Filtro anaeróbio de fluxo ascendente

**e) Desidratação do lodo digerido do RAFA em leitos de secagem.**

#### 3.3.1 Determinações analíticas efetuadas no esgoto

Para a determinação dos sólidos, demanda bioquímica de oxigênio e a alcalinidade, adotou-se o preconizado pela APHA (1998). No primeiro caso (sólidos) foi utilizada a filtragem em membrana de fibra de vidro e cadinhos de porcelana com posterior secagem em estufa a 105°C. Os macronutrientes (N e P) foram determinados com espectrofotômetro DR/4000 U da Hach utilizando sachês de pó de reagentes (Kit de teste padrão), também da Hach. A DBO estimada foi a de cinco dias, por meio da leitura do oxigênio dissolvido no primeiro e quinto dia em frascos de 300mL devidamente lacrados. A alcalinidade foi realizada por titulação ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0,02 mol.L<sup>-1</sup>) usando como indicador a fenolftaleína. Os metais e micronutrientes foram determinados de acordo com Embrapa (1997) conforme descrição apresentada adiante (Item 3.5.1)

### 3.3.2 Caracterização físico química do esgoto

Para a caracterização do efluente da ETE Brejo Comprido adotou-se para alguns parâmetros (os que indicam desvio padrão na Tabela 16), uma campanha de monitoramento quinzenal ao longo do experimento. Para os demais, por não se esperar uma variação significativa em seus teores, não se empregou um monitoramento constante.

**Tabela 16.** Composição química média do efluente proveniente da Estação de Tratamento Brejo Comprido (TO).

Variável	Efluente ETE	DP	Variável	Efluente ETE
pH	6,5	-	Na (mg L <sup>-1</sup> )	45,0
Sólidos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	247	49	S (mg L <sup>-1</sup> )	18,0
Sólidos Solúveis Totais (mg L <sup>-1</sup> )	49	17	Cu (mg L <sup>-1</sup> )	0,04
Sólidos Dissolvidos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	202	58	Fe (mg L <sup>-1</sup> )	0,38
N <sub>AMONIAL</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	22	4	Mn (mg L <sup>-1</sup> )	0,06
N <sub>ORGÂNICO</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	8	2	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	0,06
N <sub>TOTAL</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	30	4	Ni (mg L <sup>-1</sup> )	0,04
P (mg L <sup>-1</sup> )	5	2	Cr (mg L <sup>-1</sup> )	0,12
K (mg L <sup>-1</sup> )	12,0	-	Pb (mg L <sup>-1</sup> )	0,02
Ca (mg L <sup>-1</sup> )	16,0	-	Cd (mg L <sup>-1</sup> )	0,03
Mg (mg L <sup>-1</sup> )	3,0	-	-	-
Alcalinidade (mg L <sup>-1</sup> )	116	15	B (mg L <sup>-1</sup> )	0,05
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	36	16	Co (mg L <sup>-1</sup> )	0,03

DP – desvio padrão para os parâmetros que foram monitorados quinzenalmente ao longo do experimento

### 3.4 LÂMINA DE EFLUENTE APLICADA NO PERÍODO EXPERIMENTAL

Como pode ser observado na Tabela 17, a precipitação foi menor nos dois primeiros meses e maior nos meses subsequentes, seguindo as estações climáticas do Estado (seca, de maio a setembro, e chuvosa, de outubro a abril).

**Tabela 17:** Condições climáticas registradas no período experimental

Ano	Mês	<sup>(1)</sup> Vento	<sup>(2)</sup> Vento	<sup>(3)</sup> UR	<sup>(4)</sup> TA	<sup>(5)</sup> RG	<sup>(6)</sup> Precip	<sup>(7)</sup> Evap
2004	Agosto	165,6	1,4	55,7	27,3	245,5	22,0	283,1
	Setembro	156,2	1,4	53,9	28,8	260,9	0,5	322,7
	Outubro	167,1	1,1	73,7	27,6	208,3	190,9	138,7
	Novembro	172,6	1,2	75,1	27,7	221,7	176,1	122,6
	Dezembro	172,5	1,2	77,2	27,1	197,9	179,4	105,0
2005	Janeiro	172,6	1,2	78,8	27,3	205,3	190,7	93,6
	Fevereiro	168,0	1,2	79,0	27,6	219,8	255,8	84,8

**Fonte:** Laboratório de Meteorologia e Climatologia, Universidade Federal do Tocantins/ Campus de Palmas; Instituto Nacional de Meteorologia.

<sup>(1)</sup> Vento: Direção do Vento em graus

<sup>(2)</sup> Média: Velocidade Média em m/s

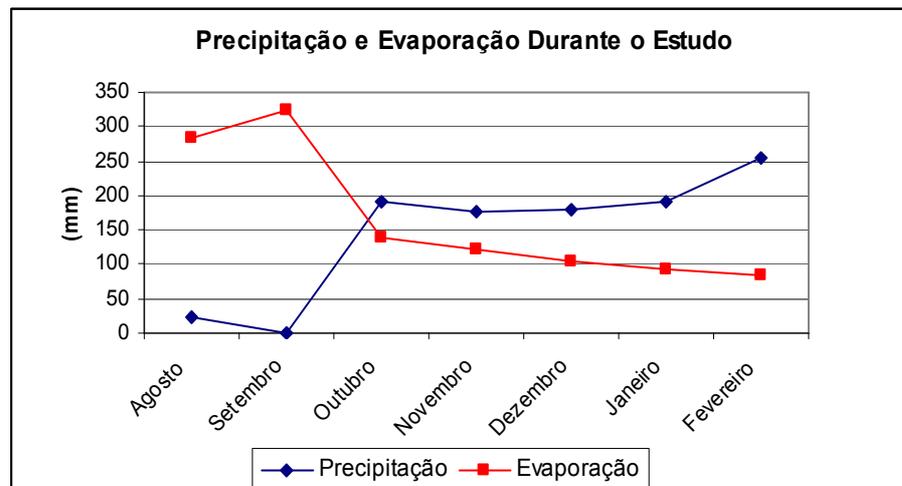
<sup>(3)</sup> Média: Umidade Relativa Média do ar em %

<sup>(4)</sup> Média: Temperatura Média diária em °C

<sup>(5)</sup> Média: Radiação Solar Global média diária em cal/cm<sup>2</sup>.min

<sup>(6)</sup> Precipitação: precipitação total em mm

<sup>(7)</sup> Evaporação total em mm



**Figura 2** - Volume total precipitado e evaporado durante o período experimental.

Para estimar a lâmina de água no experimento foi empregado o método descrito por Papadopoulos (1999). Nesse método, a quantidade de água a ser usada é determinada pela evapotranspiração potencial. Para os cálculos da Tabela 18 foram utilizados os valores apresentados na Tabela 17

**Tabela 18:** Estimativa da lâmina de água a ser aplicada e valor real da aplicação

Variáveis	Mês						
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Chuva (mm)	22,0	0,5	190,9	176,1	179,4	190,7	255,8
Epan (mm) <sup>(1)</sup>	283,1	322,7	138,8	122,6	105,0	107,2	93,6
Chuva de Epan (mm) <sup>(2)</sup>	261,1	322,2	52,1	53,5	74,4	83,5	162,2
Fração de Epan <sup>(3)</sup>	0,4	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
Estimativa de irrigação (mm)*	104	290	42	43	52	58	113
Efluente real aplicado (mm)	113	166	153	166	153	146	53

<sup>(1)</sup> Evaporação do tanque evaporimétrico; <sup>(2)</sup> Obtido pela subtração da segunda linha pelo valor da primeira; <sup>(3)</sup> Exigência de água da cultura, valores tabelados (PAPADOUPOLOS, 1999); \* a estimativa de irrigação é obtida pela multiplicação da chuva de Epan pela Fração de Epan.

Como a área irrigada foi de 15 m<sup>2</sup> empregou-se, de acordo com a equação (2.0), um volume de 1.700 L em agosto, 2.500L em setembro, 2.300 L em outubro, 2.500 L em novembro, 2.300 L em dezembro, 2.200 L em janeiro e 800L em fevereiro.

O efluente foi coletado diariamente na Estação de Tratamento e conduzido até a área experimental.

(2.0)

$$V = a.h$$

Onde:

**V** – Representa o volume de água (m<sup>3</sup>);

**a** – Área irrigada em (m<sup>2</sup>);

**h** – Altura da lâmina d'água (m).

### 3.5 CARACTERÍSTICAS DO SOLO ESTUDADO

Conforme apresentado na Figura 3 e Tabela 19, o solo ocorrente na área é que serviu ao estudo possui um horizonte A de aproximadamente 21cm. A camada removida para ser disposta nos vasos correspondeu aos primeiros 15 cm.



**Figura 3** - Perfil do solo empregado no experimento

**Tabela 19:** Descrição morfológica do solo experimental

<b>Classificação</b> (LVAdf) – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	
<b>Horizonte</b>	<b>Descrição</b>
<b>A:</b> 0-21 cm	bruno claro acinzentado (10YR 6/3 seco); franco argilo arenoso; maciço; duro; firme; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição gradual, plana.
<b>B:</b> 21-50 cm	amarelo avermelhado (7.5YR 6/8 seco); argilo arenoso; fraco, maciço, friável, plástico, ligeiramente pegajoso.

### 3.5.1 Determinações analíticas efetuadas no solo

#### 3.5.1.1 pH (Embrapa, 1997)

A acidez ativa, do solo e do lodo, foi determinada através da medição do potencial, por meio de eletrodo combinado em suspensão solo:líquido (relação solo água 1:2.5).

Nas amostras da solução do solo extraídas o pH foi determinado através de potenciômetro com microeletrodo combinado (vidro/Ag-AgCl).

#### 3.5.1.2 Capacidade de Troca Catiônica – CTC (Embrapa, 1997)

Foi determinada pela soma de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{K}^{+1}$  e  $\text{H}^{+}$  obtidos das extrações discriminadas a seguir:

- a)  $\text{Ca}^{2+}$  +  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídos com solução de KCl  $1 \text{ mol.L}^{-1}$  (relação solo-solução de 1:10). Os dois primeiros foram determinados por espectrometria de absorção atômica (PE, Analyst 200). O  $\text{Al}^{3+}$  foi determinado por titulação com NaOH  $0,025 \text{ mol.L}^{-1}$  na presença do indicador azul de bromotimol.
- b)  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram extraídos por solução conhecida como Mehlich 1 (HCl  $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$ ) na relação solo-solução, também, de 1:10 e determinados por fotometria de chama em Fotômetro da Digimed modelo DM 61.
- c) A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$  a pH 7,0 (relação solo-solução de 1:15) e determinada por titulação com NaOH  $0,025 \text{ mol.L}^{-1}$  na presença de indicador fenolftaleína.

#### 3.5.1.3 Carbono Organico – C org. (Embrapa, 1997)

Foi determinado por titulação de oxi-redução com sulfato ferroso amoniacal  $0,102\text{M}$  na presença de indicador difenilamina após digestão com solução ácida de dicromato de potássio  $0,0667 \text{ mol.L}^{-1}$ .

O conteúdo de matéria orgânica foi calculado pela expressão  $C_{\text{org.}} 1,724$ .

#### 3.5.1.4 Nitrogênio Total – N Total (Embrapa, 1997)

Foi determinado pelo método de Kjeldahl por câmara de difusão. A relação C  $\text{N}^{-1}$  foi calculada pela expressão  $\%C \ \%N^{-1}$ .

#### 3.5.1.5 Fósforo Assimilável – P (Embrapa, 1997)

Foi determinado por método colorimétrico após formação de complexo fósforo-molibdico de cor azul, obtido pela redução do molibdato com ácido ascórbico, após extração com HCl  $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$  (Mehlich 1), relação solo-solução de 1:10.

### *3.5.1.6 Granulometria – Determinação dos Teores de Argila, Silte e Areia (Embrapa, 1997).*

Foi determinado, com base na Lei de Stokes, após adição de dispersante químico (NaOH) e agitação (dispersão física) de uma suspensão de solo (relação solo-solução de 1:50). O teor de argila foi obtido por densimetria e o de areia com base no material retido em peneira de malha de 0,053 mm.

### *3.5.1.7 Extração e Determinação de Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu) e Metais Pesados (Cr, Cd, Pb, Ni) No Solo*

Foi determinado por espectrometria de emissão por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), após extração com HCl 0,05 mol.L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol.L<sup>-1</sup> (Mehlich 1).

### *3.5.1.8 Características Químicas e Físicas do Solo Utilizado no Estudo*

A partir das análises laboratoriais foi possível obter os respectivos teores de macro e micro nutrientes, bem como de metais (Tabela 20) do solo usado. No caso destes últimos, aproveitou-se também para determiná-los no adubo mineral (Tabela 21) e orgânico (Tabela 22) que, posteriormente foram adicionados ao solo conforme descrito no delineamento experimental.

**Tabela 20:** Características químicas e físicas do Latossolo Vermelho Amarelo utilizado no experimento

Profundidade <sub>cm</sub>	pH	C	N	Ca	Mg	Na	K	Al	CTC	P	Argila	Areia	Silte
	Água	--g kg <sup>-1</sup> --		-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						mg kg <sup>-1</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
0-15	5,4	9,1	0,8	0,5	0,3	0,01	0,18	0,1	4,8	1	220	706	74
Metais													
Profundidade <sub>cm</sub>	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb					
cm	----- mg kg <sup>-1</sup> -----												
	Mehlich <sup>-1</sup> (1)												
0-15	13,7	2,43	0,60	0,25	0,029	0,069	< LD	0,24					
Água Régia (2)													
0-15	22240	43,3	6,07	3,79	21,9	3,47	2,56	1,39					

< LD significa menor que o limite de detecção. (1) Os valores obtidos pelo extrator Mehlich<sup>-1</sup> representam teores trocáveis ou a fração dos elementos que estão disponíveis às plantas (SILVA et al, 2004). (2) Já os valores a partir da Água Régia fornecem estimativas dos Teores totais dos elementos (70 a 90 % do conteúdo total de elementos traços, segundo Ure, 1990, *apud* Jung, 2001)

**Tabela 21:** Características químicas do adubo mineral e do calcário utilizados no experimento.

Profundidade	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb
0-15cm	----- g kg <sup>-1</sup> -----							
NPK	19,6	1,18	5,32	0,19	0,044	< LD	< LD	0,46
Calcário	1,23	0,03	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

< LD significa menor que o limite de detecção

**Tabela 22:** Características químicas do adubo orgânico utilizado no experimento

Adubo Orgânico									
C	N	Ca	Mg	Na	K	P	Al	Fe	S
g kg <sup>-1</sup>							mg.kg <sup>-1</sup>		
45,2	6,23	79,7	7,17	1,22	10,42	17,42	22180	10950	4,75
Metais									
B	Mn	Zn	Co	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb	
mg kg <sup>-1</sup>									
58,2	328	342	*	48,7	12,8	*	1,22	2,05	

\* valores abaixo do limite de detecção

As características químicas do solo, conforme apresentado na Tabela 20, demonstram que o valor do pH é baixo (5,4), caracterizando um solo ácido (Adámoli, 1958).

Quanto à matéria orgânica, esta melhora as condições físicas do solo, aumenta a capacidade de retenção de água e é responsável, em grande parte, pela capacidade de troca de cátions (CTC) (Adámoli et al., 1985; Salomão 1999a). Os teores de carbono, medida indireta do teor de matéria orgânica, são provenientes da decomposição de restos animais e vegetais, águas de esgoto entre outras fontes (Wild, 1993). Como pode ser observado na Tabela 20, o teor de C registrado foi de 9,1 g.kg<sup>-1</sup>.

No que se refere ao fósforo, a concentração desse parâmetro é notadamente baixa nos solos do cerrado (Malavolta e Kliemann, 1985). Como observado na Tabela 20, a concentração detectada foi de 1 mg.kg<sup>-1</sup>. Valor este abaixo do demandando para a maioria das culturas de hortaliças que é de 10 mg.kg<sup>-1</sup> (RIBEIRO et al., 1999).

O nitrogênio pode ocorrer no solo em diversas formas, contudo as inorgânicas como nitrogênio amoniacal (NH<sup>+</sup><sub>4</sub>) e nitrato (NO<sup>-</sup><sub>3</sub>) constituem formas importantes, uma vez que podem ser absorvidas e utilizadas na nutrição das plantas (Coelho, 1973). Entretanto é sabido que estas duas formas iônicas ocorrem em proporções relativamente pequenas, o que passa a ser um fator limitante ao desenvolvimento de espécies vegetais. No contexto do bioma Cerrado admite-se que o teor de nitrogênio total seja de 0,09%, sendo que é aceito que 5% desse valor é mineralizado por ano quando não houver limitação (Malavolta e Kliemann, 1985), sendo que boa parte desta encontra-se na forma orgânica ainda não disponível à absorção vegetal. Como

apresentado na Tabela 20, a concentração do parâmetro nitrogênio total no solo em estudo foi de  $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ .

A concentração de potássio no solo varia muito, mas em média é maior que a do Ca e Mg (Coelho, 1973). Entretanto como observado (Tabela 20), a concentração desse parâmetro foi maior em relação ao primeiro e menor em relação ao segundo. Esse relativo baixo teor de K pode ser explicado pela própria característica do solo que não permite a retenção desse elemento à custa de minerais primários, e a baixa CTC que deve estar contribuindo para a perda por lavagem.

O cálcio tem como fonte primária às rochas e minerais de que o solo foi formado (Coelho, 1973). Quando adsorvido no complexo coloidal do solo, o cálcio é classificado como trocável. Este por sua vez, se comporta, assim como o potássio, magnésio ou qualquer outro cátion, em equilíbrio dinâmico, ou seja, quando retirado (absorvido pela planta ou lixiviado) da solução do solo ocorre uma liberação daquele em favor desta. Assim, o inverso ocorre quando do aumento da concentração de cálcio na solução, em que alguma parte deste tende a ser deslocada para o complexo coloidal. Como observado na Tabela 20, o teor de cálcio foi de  $0,5 \text{ cmol.kg}^{-1}$ , valor esse considerado baixo quando comparado ao mínimo ( $2 \text{ cmol.c.dm}^{-3}$ ) adotado para a maioria dos solos.

O magnésio apresenta um comportamento muito similar ao do cálcio (Malavolta e Kliemann, 1985). O baixo teor desse elemento (Tabela 20) pode ser explicado pelo fato de que a maioria dos solos do Brasil é bem intemperizado, o que favoreceu a lixiviação desse elemento (Coelho, 1987).

O sódio contribui para dispersão dos minerais de argila do solo. Nesse sentido, seu baixo teor é favorável do vista agrônômico (Tabela 20)..

No que se refere aos micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu), o solo experimental de acordo com a Tabela 20, e comparativamente à Tabela 23, apresenta, com exceção do manganês que pode ser classificado com teor médio, baixa disponibilidades destes elementos.

**Tabela 23:** Níveis de fertilidade para a interpretação de micronutrientes em análises de solo para a região dos cerrados

Micronutrientes	Baixo	Médio	Alto
-----mg.dm <sup>-3</sup> -----			
Cobre (Cu)	0 - 0,4	0,5 - 0,8	>0,8
Manganês (Mn)	0 - 1,9	2 - 5	>5
Zinco (Zn)	0 - 1,0	1,1 - 1,6	>1,6
Ferro (Fe)	-	-	-

Fonte: Galvão (1998) *apud* Lopes (1999).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PROVÁVEL APORTE DE NUTRIENTES E DE METAIS AO SOLO

O provável aporte de nutrientes pelo efluente utilizado foi estimado da seguinte maneira: cada vaso, referente aos tratamentos 1 e 2, recebeu, ao término do período experimental 71,5 L. Por meio dos teores da Tabela 16, fez a multiplicação pela quantidade total de esgoto aplicado, e obteve-se a tabela 24 e 25.

Para cálculo do aporte proveniente dos fertilizantes orgânico e químico procedeu-se da mesma maneira que anterior, contudo usando as quantidades de 150 g para adubo orgânico/vaso, e 15 g para adubo químico/vaso. Os teores detectados para cada dos fertilizantes foram apresentados nas Tabelas 21 e 22.

**Tabela 24** - Taxas de aplicação do efluente de esgoto tratado e provável aporte de nutrientes nas amostras de solo, durante o período experimental.

Fonte	Elementos adicionados aos vasos				
	N	P	K	Ca	Mg
	-----g/vaso-----				
Efluente	2,145	0,375	0,858	1,144	0,214
Adubo Químico	0,6	2,1	1,2	*	*
Adubo Orgânico	0,934	2,613	1,563	11,955	1,075

\* elementos não determinados quando da análise laboratorial

**Tabela 25** - Taxas de aplicação do efluente de esgoto tratado e provável aporte de metais nas amostras de solo, durante o período experimental.

Fonte	Constituintes do efluente adicionados às amostras de solo							
	Fe	Mn	Zn	Ni	Cr	Pb	Cd	Cu
	-----mg/vaso-----							
Efluente	27,17	4,29	4,29	2,86	8,58	1,43	2,14	2,86
Adubo Químico	294	17	79	*	0,66	6,9	*	2,8
Adubo Orgânico	1.642	49,20	51,30	*	19,20	0,30	0,18	7,30

\* valor abaixo do limite de detecção para o método empregado

### 4.2 ANALISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

A análise de variância indicou que, para a maioria das variáveis de solo analisadas, somente o tratamento de efluente aplicado exerceu efeito significativo

sobre as variações encontradas (Tabela 26). Nessas situações, o efeito do tratamento foi estudado como se não existisse o efeito dos clones e de sua interação (Gomes, 1982). Em função da variação nas quantidades de efluente e adubo adicionadas ao solo e das condições de realização do experimento, é possível particularizar o efeito de alguns desses fatores sobre os parâmetros de solo estudados.

Quando houve significância estatística pelo Teste F, os resultados obtidos nos vários tratamentos foram confrontados através de um teste de comparação de médias, o Teste de Tukey a 5%. Em alguns casos se fez necessária à transformação dos dados, ou seja, realizou-se a substituição de cada observação por uma simples função de sua magnitude com o objetivo principal de produzir uma distribuição dos erros mais próxima da normal e fazer as variâncias dos erros mais próximas da homogeneidade. A transformação utilizada foi  $\sqrt{x + 1}$  sendo  $x$  o parâmetro analisado e aplicado quando a razão entre o maior e o menor valor do parâmetro analisado foi maior que 20, conforme considerações feitas por FERNANDEZ (1992).

**Tabela 26:** Avaliação estatística dos resultados obtidos

Fonte de Variação	Macronutrientes (Cmol/kg)							
	Ca	Mg	Na	S	K	P	CTC	Mn
Clone	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tratamento	**	**	**	ns	**	**	**	**
Clone x Tratamento	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V%	13	18	34	11	3	83	13	21
Fonte de Variação	Micronutrientes/Metais pesados Melihch 1 - (mg/kg)							
	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb
Clone	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tratamento	**	**	**	**	**	**	**	**
Clone x Tratamento	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V%	22	43	3	2	1	1	1	3

## 4.3 EFEITOS DO EFLUENTE NO SOLO

### 4.3.1 pH

Com respeito ao pH, apesar dos três tratamentos terem contado com a mesma correção (calagem), aquele que recebeu água tratada (T3), ao invés do efluente, foi o que apresentou um valor de pH significativamente maior que os outros 2 tratamentos (Tabela 27). É possível especular que tal resultado esteja relacionado ao elevado poder tampão da matéria orgânica, que se traduz pelo seu Ponto de Carga Zero (PCZ) próximo a 2,0 (UEHARA, 1988) e a elevada carga elétrica de superfície dos colóides orgânicos (SILVEIRA et al., 2003) tende a abaixar o pH. Por outro lado, os valores mais baixos de pH nos tratamentos que empregaram esgoto doméstico (T1 e T2) podem também ser atribuídos à biodegradação da matéria orgânica presente no efluente (Bouwer e Chaney, 1974 *apud* Vazquez-Montiel et al., 1996), a qual disponibiliza frações de nitrogênio, que quando em processo de nitrificação (ESTEVES, 1998), liberam íons  $H^+$  que contribuem para acidificação do sistema.

### 4.3.2 Carbono

Como relatado em alguns trabalhos com reuso agrícola, (Chakrabarti, 1995; Ramirez-Fuentes, 2002), a irrigação com esgoto doméstico promove o incremento de matéria orgânica no solo. Como observado na Tabela 27, os tratamentos T1 e T2, ambos irrigados com o esgoto apresentaram maiores concentrações de C, corroborando com Marques et al. (2003).

### 4.3.3 Cálcio, potássio e sódio

A principal fonte de cálcio, nos três tratamentos de solo estudados, foi o calcário. Mesmo assim, não se pode esquecer a contribuição dos fertilizantes, tanto minerais (Tabela 21), como orgânicos (Tabela 22). Isso corrobora com Coelho (1973), que afirma que as maiores fontes externas de cálcio são provenientes da calagem e adubação. Isso explica o fato do teor de Ca (Tabela 27) em T1 ter sido significativamente menor que os outros.

O resultado de potássio expressa, também, a contribuição do fertilizante, principalmente o de origem mineral. Ou seja, T2 apresentou a concentração significativamente maior (Tabela 27), pois envolveu 2 fontes de K: a principal, oriunda do adubo mineral (NPK), e a secundária do efluente. O T3 apresentou um resultado intermediário, pois só possuía a contribuição do K do fertilizante mineral. Por último, T1 só possuía a contribuição do efluente que, comparativamente, possui menos K. Isso corrobora com os resultados obtidos por Johns e McConchie (1994), onde concluiu-se não ter havido significativa alteração no teor de potássio no solo que recebeu efluente.

É notória a preocupação do aumento da concentração de sódio em solo pelo uso de efluentes (Pescod, 1992), o que, também, se observa no presente estudo (Tabela 27). Ou seja, as maiores concentrações de Na são encontradas nos tratamentos que usaram efluente (T1 e T2), diferindo significativamente do que foi irrigado com água convencional (T3). Isso se deve ao aporte desse elemento pelo efluente (Tabela 16), o que está de acordo com os resultados de Fonseca (2001).

#### **4.3.4 CTC**

O aumento significativo da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) verificado em T1 e T2 está provavelmente relacionado ao incremento, também, significativo do teor de carbono orgânico nesses tratamentos (Tabela 27). A maior influência da matéria orgânica nas propriedades químicas do solo está na alteração do seu complexo coloidal. Ela se reflete, diretamente, na capacidade de troca catiônica do solo (CTC), promovendo o aumento de cargas superficiais negativas e, conseqüentemente, a maior retenção de cátions (Zech et al., 1997; Abreu Jr. et al., 2001). Como em média, os valores de pH mantiveram-se próximos à neutralidade (Tabela 27) e superiores ao valor correspondente à matéria orgânica em seu PCZ, que é de aproximadamente 2,0 (UEHARA, 1988), justificasse o aumento considerável de cargas superficiais negativas (medidas através da CTC) em função da aplicação de efluente em T1 e T2 (Tabela 27).

**Tabela 27** - Características químicas e físicas do Latossolo Vermelho Amarelo submetido a três tipos de combinação, entre irrigação e adubação, ao término do experimento.

Tratamento	pH	C	N	Ca	Mg	Na	K	CTC	P
	Água	--- g kg <sup>-1</sup> ---		----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					mg kg <sup>-1</sup>
T1 <sup>(1)</sup>	6,99 b	10,1 a	0,9 a	3,3 b	1,3 a	0,67 a	0,06 c	6,2 a	9 c
T2 <sup>(2)</sup>	6,93 b	10,0 a	0,9 a	3,9 a	0,9 c	0,63 a	0,15 a	6,2 a	244 a
T3 <sup>(3)</sup>	7,37 a	9,3 b	0,9 a	4,0 a	1,1 b	0,30 b	0,12 b	5,4 b	129 b
CV	5	12	11	13	18	34	3*	13	41*
Tratamento	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb	
-----mg kg <sup>-1</sup> -----									
Mehlich <sup>-1</sup>									
T1	5,8 b	3,7 b	1,6 c	0,19 b	0,030 b	0,050 c	0,001 b	0,12 a	
T2	9,01 a	5,9 a	10,3 a	0,26 a	0,088 a	0,086 a	0,030 a	0,07 b	
T3	6,2 b	6,4 a	7,8 b	0,18 b	0,079 a	0,066 b	0,022 a	0,05 b	
CV	22	21	18*	3*	1*	1*	1*	3*	

(T1) = Efluente + calcário (T2) = Efluente + calcário + adubo (T3) = Água + calcário + adubo Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna significam que são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* Análise de variância calculada com dado transformado por raiz quadrada.

#### 4.3.5 Fósforo e nitrogênio

Apesar de se esperar um maior teor de nitrogênio nos tratamentos que receberam esgoto tratado como fonte de água (Chakrabarti, 1995), observa-se (Tabela 27) que estatisticamente não houve diferenciação para os teores desse elemento entre os tratamentos empregados. Estes resultados estão de acordo com Fonseca (2001), o qual em experimento similar concluiu que os teores de N no solo não foram influenciados pela aplicação do efluente e nem pela fertilização mineral. Esse fato pode ser explicado pelos seguintes argumentos: o N foi perdido por processo de volatilização, o que corrobora com Polglase et al., (1981) citado por Fonseca (2001) que afirma que as perdas nitrogênio pela volatilização de NH<sub>3</sub> em solos irrigados com efluentes têm sido consideravelmente altas; o nitrogênio foi lixiviado (Lopes e Guilherme 1989) ou perdido devido aos processos de denitrificação e nitrificação (Coelho, 1973).

Os resultados de fósforo, assim como os de potássio, também representam a contribuição dos fertilizantes. Vale ressaltar, contudo, que o baixo valor de P obtido

em T1, provavelmente, está relacionado ao não emprego do fertilizante mineral (Tabela 27) e à possibilidade de formação de fosfato de cálcio, que é insolúvel, oriundo da reação de uma fonte extremamente solúvel de P, como é a forma presente no efluente, com o calcário. Isso corrobora com Kiehl, (1999), uma vez que o elemento fósforo possui muita facilidade fixação e/ou insolubilização no solo, principalmente quando estes são ricos em Fe, Al e Mn (MARQUES et al., 2003). Pollice et al., (2003), detectaram baixos teores de fósforo em solo que recebeu esgoto tratado.

#### **4.3.6 Manganês, ferro e cobre**

As maiores concentrações de manganês obtidas em T2 e T3 (Tabela 27) refletem, provavelmente, a elevada contribuição via fertilizante mineral, como se pode constatar pela tabela 21. O aporte desse elemento pelo efluente foi baixo (Tabela 16), dado seu enquadramento nos requisitos de qualidade de água para irrigação (Tabela 15) e pela própria expectativa de baixa influencia no solo (PESCOD, 1992; MARQUES, et al., 2003).

Os resultados de ferro e cobre também refletem a contribuição do fertilizante mineral (Figura 4). Contudo, dessa vez, não se pode descartar a participação do efluente que, embora não seja considerado significativo em efluentes domésticos (Pescod, 1992; Bastos et al., 2003) apresentou teor de  $0,38 \text{ mg.L}^{-1}$  para o Fe e de  $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$  para Cu (Tabela 16), o que não oferece risco quando comparado ao teor recomendado para irrigações em períodos curtos (Tabela 15). No entanto, T2 foi o tratamento que, significativamente, se destacou, pois apresentava as duas contribuições, tanto do fertilizante mineral, quanto do efluente. Já T1 e T3 apresentaram menores valores de Fe, pois tinham somente uma fonte de contribuição.

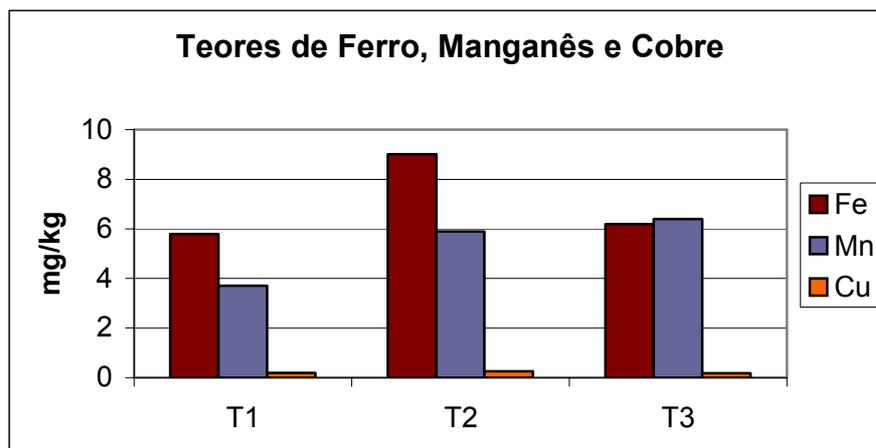


Figura 4 - Teores de Ferro, Manganês e Cobre

#### 4.3.7 Zinco, níquel, chumbo, cádmio e cromo

Embora estudos de longa duração (Siebe 1996; Mireles et al., 2004) tenham demonstrado o acúmulo de metais em solos que receberam efluente doméstico, o resultados obtidos no presente trabalho permitiram constatar que, como exceção do Pb que teve um ligeiro aumento (T1), o efluente não foi o principal responsável pelo aumento em seus teores. No caso do chumbo, aparentemente, existem mais mecanismos envolvidos. Em primeiro lugar, o efluente torna o Pb mais disponível devido a sua facilidade de complexação pela matéria orgânica (Silveira et al., 2003), o que permite a não precipitação do metal mesmo com a elevação do pH (COELHO, 1973). Contudo, o valor de T2 é significativamente menor que o de T1, pois o P, que se apresenta em maior concentração em T2, forma, facilmente, compostos insolúveis com Pb (MELAMED et al., 2003). Yediler et al., (1994) observaram concentrações de 13,40 mg/kg Pb em solos cultivados com arroz que foram irrigados com esgotos doméstico e industrial tratados.

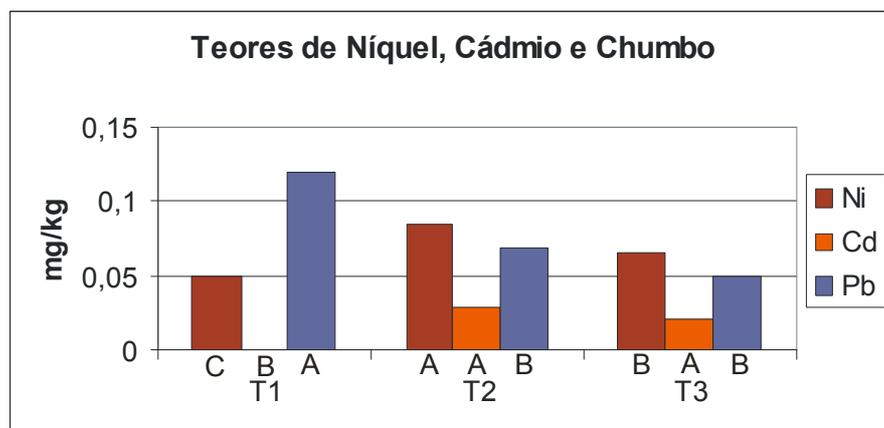
O comportamento do zinco foi similar ao do K e P (Tabela 27), onde houve a contribuição do fertilizante, principalmente o de origem mineral.

Embora não se tenha detectado nem níquel, nem cádmio, nos insumos utilizados (Tabela 21 e 22), pode se supor que os resultados obtidos no solo (Figura 5) reflitam as diferentes contribuições de tais fertilizantes.



**Figura 5** - Teores de Zinco nas amostras do solo

No caso do Ni, que tem no adubo sua fonte principal e no efluente sua fonte secundária (Amaral Sobrinho et al., 1992; Bastos, et al., 2003), T2 apresenta, em ordem decrescente de significância, o maior valor extraído, seguido por T3, aonde só houve a contribuição mineral, e T1, que só possuiu a adição do efluente (Figura 6). Já para o Cd, a principal fonte é o adubo mineral (Amaral Sobrinho et al., 1992; Bastos, et al., 2003). Por isso, T2 e T3 difeririam significativamente de T1 (Figura 6). Quando ao Cr (Tabela 27), embora tenha sido estimado, em relação ao insumo químico empregado (Tabela 25), um significativo potencial de aporte desse elemento pelo efluente, T2 foi o que se destacou seguido pelo T3 e T1. Isso ocorreu principalmente devido ao aporte do fertilizante orgânico (Tabela 22 e 25), e secundariamente pelo efluente.



**Figura 6** - Teores de Ni, Cd e Pb nas amostras do solo. Letras diferentes para o mesmo elemento nos diferentes tratamentos significam que são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

#### 4.5.8 Sodicidade ao solo

Com relação a razão de adsorção de sódio (RAS), calculada a partir da equação 2.0, é notório que os tratamentos que receberam efluente apresentaram valores mais elevados (Figura 7). Embora o efluente esteja em conformidade com a faixa de segurança recomendada para águas de irrigação ( $RAS < 3$ , Tabela 14), observa-se que sua contribuição, embora baixa, foi significativa. O Tratamento 1, por não apresentar adição de fertilizantes minerais e orgânicos, foi diretamente influenciado pela concentração de sódio do efluente (Tabela 16), uma vez não houve aporte suficiente de Ca e Mg para contrabalancear o aumento no teor do sódio no solo (Marques et al, 2003). Contudo, mesmo apresentando um aumento significativo, a RAS está muito abaixo da margem que oferece limitação a produção agrícola.

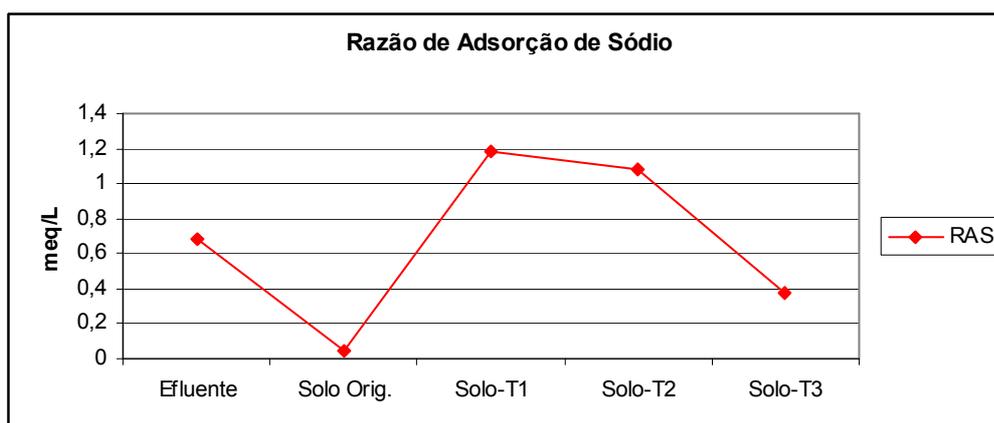


Figura 7 - Comportamento do solo frente ao RAS

#### 4.6 EFEITO DO EFLUENTE NA PRODUTIVIDADE VEGETAL

Dos 4 parâmetros analisados (Tabela 28 e Figura 8), só a produção de tubérculos por vaso (MVT) e a produção de massa verde da parte aérea (MVA) apresentaram resultados significativamente diferentes em função do tipo de variedade de batata doce e do tipo de combinação (adubo/efluente) utilizado. No caso da produção de tubérculos, ainda ocorreu uma significativa interação entre esses 2 fatores. Ou seja, em certos casos, as variedades de batata doce responderam de maneira diferente aos tratamentos de solo utilizados. Nesses casos, avaliações complementares foram, também, descritas, sendo realizados os

desdobramentos da interação dos tratamentos de efluente em cada uma das dez variedades (Zimmermann, 2004).

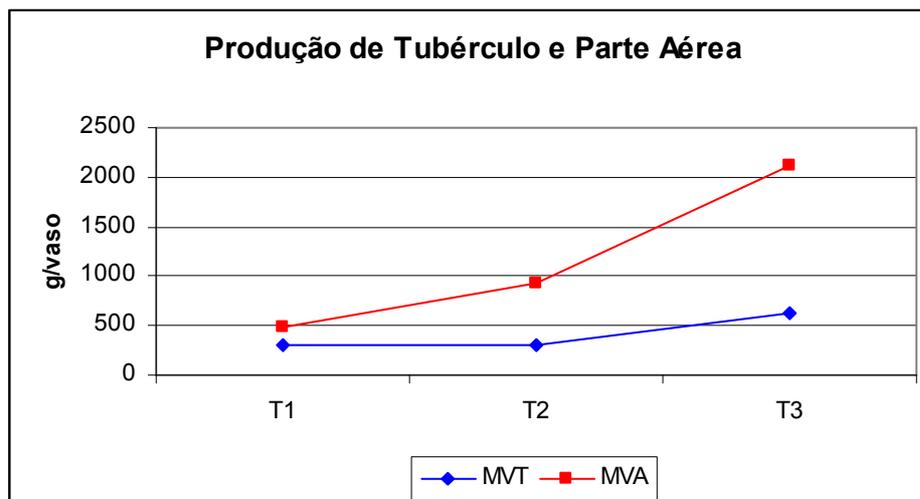
Com respeito ao tratamento de solo, T3 foi o que significativamente apresentou maiores valores de produção de tubérculos e de massa verde da parte aérea por vaso. É possível que o fato desse tratamento apresentar índices de fertilidade intermediários, notadamente, com respeito ao teor de macro e micro nutrientes (Ribeiro et al., 1999), tenha levado a um melhor balanço nutricional, comparado aos outros 2 tratamentos. No que tange às variedades, houve respostas diferenciadas (Tabela 29). Para produção de tubérculos, o clone C48 foi o que se destacou, seguido da variedade Roxa e dos clones C08, C58 e C100. No que tange à massa verde de parte aérea, o clone C114 se destacou, seguido das variedades Branca e Roxa e dos clones C100, C58 e C08. O desdobramento da interação (Tabela 30), somente significativa para a produção de tubérculos, indica que os clones C08, C48 e C58 foram os mais influenciados pelos tratamentos de solo, aonde T3 foi o que mais se destacou. Do ponto de vista comercial, isso é, aparentemente, importante, visto que os clones C08 e C58 se destacaram, em relação às demais, na produção de tubérculos.

Há de se observar, contudo, que os resultados aqui obtidos devem ser analisados com cautela, por se tratar de um experimento de vaso e de curta duração. No entanto, eles nortearão a continuação dos estudos numa fase de campo.

**Tabela 28** - Produção de tubérculo (MVT), de matéria seca da parte aérea (MSA), da matéria verde da parte aérea (MVA) em função dos três tipos de combinação, entre irrigação e adubação.

Tratamento	MVT	MSA	MVA	DC
	----- g/vaso -----			mm
Efluente + calcário (T1)	295,5 b	17,7 a	492 c	9,8 a
Efluente + calcário + adubo (T2)	310,5 b	17,8 a	936 b	10,8 a
Água + calcário + adubo (T3)	630,9 a	19,3 a	2111 a	11,7 a
CV	39*	24	41	35

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna significam que são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.\* Análise de variância calculada com dado transformado por raiz quadrada.



**Figura 8** - Produção de tubérculo e parte área

**Tabela 29** - Produção de tubérculo (MVT) e da matéria verde da parte aérea (MVA) em função das 10 variedades de batata doce cultivadas.

Produção	Branca	Roxa	Palmas	C08	C100	CV
MVT <sub>g/vaso</sub>	322b	624ab	296b	410ab	352ab	39*
MVA <sub>g/vaso</sub>	1978ab	163abc	391cd	962abcd	1571abcd	41*
Produção	C106	C112	C114	C48	C58	CV
MVT <sub>g/vaso</sub>	261b	261b	349b	856a	392ab	39*
MVA <sub>g/vaso</sub>	356d	806abcd	1914a	70bcd	1486ab	41*

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna significam que são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* Análise de variância calculada com dado transformado por raiz quadrada.

**Tabela 30** - Produção de tubérculo (MVT) em função da interação entre os três tipos de combinação, entre irrigação e adubação, e as 10 variedades de batata doce.

Tratamento	Branca	Roxa	Palmas	C08	C100	C106	C112	C114	C48	C58
(T1)	448 a	368 a	240 a	175 b	235 a	352 a	282 a	308 a	362 b	185 b
(T2)	425 a	598 a	98 a	230 b	412 a	178 a	145 a	488 a	620 b	245 b
(T3)	92 a	908 a	550 a	826 a	410 a	252 a	355 a	252 a	1585 a	745 a

(T1) = Efluente + calcário ; (T2) = Efluente + calcário + adubo; (T3) = Água + calcário + adubo  
Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna significam que são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 5. CONCLUSÃO

A adição de efluente não ocasionou o acúmulo de N no solo, não permitindo a completa substituição da adubação mineral nitrogenada.

O mesmo foi observado para o fósforo e potássio que, apesar terem seus teores elevados com o emprego do efluente tratado, não foi suficiente para alcançar as concentrações atingidas com a adubação orgânica e mineral.

O efluente contribuiu para o aumento do teor de Na e conseqüente elevação da sodicidade do solo, embora estes valores estejam bem abaixo daqueles considerados críticos para a maioria das culturas agrícolas.

O efluente não influenciou significativamente no acúmulo da maioria dos metais pesados, com exceção do Pb que teve um ligeiro aumento nas parcelas de solo que o recebeu.

Com respeito à produtividade da batata, aquelas que receberam efluente não foram, com exceção de três clones (C08, C48 e C58), influenciados negativamente quanto seu rendimento. Os demais clones, bem como as variedades comerciais não sofreram interferência do tipo de água, o que permite inferir que o esgoto tratado se mostrou como uma boa fonte alternativa para a irrigação das cultivares estudadas. Contudo, deve-se ter cuidado quanto à extrapolação destes resultados para as condições de campo, uma vez que o experimento foi desenvolvido em vasos.

Embora a aplicação do efluente da ETE Brejo Comprido (TO) tenha causado variações significativas nas propriedades do solo estudado, destacando-se os aumentos nos teores de macro e micronutrientes, notadamente, quando associado as práticas agronômicas da correção da acidez e da correção das deficiências nutricionais, é necessário o desenvolvimento de estudo de maior duração para que se possa melhor avaliar o comportamento do sistema solo-planta-efluente.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o presente trabalho tenha abordado o esgoto como um substituto de água de irrigação, um outro enfoque pode ser dado. Ao invés de substituir, o efluente doméstico tratado pode ser visto como uma fonte auxiliar, sendo diluída na própria água de irrigação. Nesse contexto, o maior ou menor grau de concentração daquele estaria condicionado a duas necessidades fundamentais:

- 1) Redução do consumo hídrico. Nesse caso, o esgoto tratado teria maior proporção na mistura (água e esgoto), o que a tornaria mais concentrada e conseqüentemente reduziria o volume captado de água natural. Assim, uma avaliação econômica poderia ser desenvolvida, considerando aspectos técnicos e legais;
- 2) Atendimento ao princípio de fertirrigação. Nesse caso, o esgoto seria diluído em maior ou menor proporção de acordo com a demanda nutricional da cultivar. Ainda nesse contexto, diferentes dosagens, em diferentes concentrações poderiam ser aplicadas, de maneira a avaliar o comportamento da planta e do solo.

## 7. REFERÊNCIAS

ABREU JR, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, p.813-824, 2001.

ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; MADEIRA NETO, J. Caracterização dos Cerrados.. In: GOEDERT W.J. **Solos dos Cerrados**. Brasília: EMBRAPA/Nobel, 1985. p. 33-73.

ADRIANO, D. C. **Trace Elements in the Terrestrial Environment**. New York: Springer-Verlag Inc., 1986.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.271-276, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. Rio de Janeiro. Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário: NBR 9648. Rio de Janeiro, 1986.

[AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION](#) / AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION / WORLD ECONOMIC FORUM. **Standard methods for the examination of water and wastewater, 20<sup>th</sup> edition**. Washington, 1998.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARTONE, C.R.; ARLOSOROFF, S. **Reuse of pond effluent in developing countries**. *Watersci Technol.* 19(12): 1987. p. 289-297.

BASTOS, R. K. X. Fertirrigação com Águas Residuárias. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 279-291

BASTOS, R.K.X.; ANDRADE NETO, C.O; CORAUCCI F. B.; MARQUES, M.O. Introdução. In: BASTOS, R. K. X. (Org.). **Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura**. Viçosa: ABES/RiMa, 2003a, p. 1-22.

BEECHER, J. A; CHESNUTT, T. W; PEKELNEY D. M. **Socioeconomic impacts of water conservation**. AWWA, 2001.

BERNARDI, C. C. **Reuso de Água para Irrigação**. 2003. Monografia (Pós-Graduação) - ISAE-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003.

BLUM, J.R.C. Critérios e Padrões de Qualidade da Água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Ed). **Reuso de água**. Barueri, SP: Malone, 2003. p. 125 - 126.

BONTOUX, L. The regulatory status of wastewater reuse in the European Union. In: ASANO, T. **Water quality management library**. Pensylvania, USA: Technomic Publication, Volume 10, 1998.

BRAATZ, S.; KANDIAH, A. Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques Unasyuva. **Revista Internacional de silvicultura e industrias forestales**. Roma, Italy, Vol. 47 n. 185, p. – 45 a 52, 1996.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRANCO, S. M. **Hidrologia aplicada à Engenharia Sanitária**. 3º ed. São Paulo, CETESB/ACETESB, 1986.

BREGA FILHO, D; MANCUSO, P. C. S. Conceito de Reuso. In:MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Ed.). **Reuso de água**. Barueri, SP: Malone, 2003. p 21 – 37.

BROWN, L. R. **Eco-Economia: construindo uma economia para Terra** . Salvador: UMA, 2003.

CÂMARA, J. B. D.; SANTOS, T. C. C. (Orgs). **GEO Brasil 2002: perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Brasília: IBAMA, 2002.

CARDOSO, M. R. A. Epidemiologia Ambiental. In: PHILLIPI JR (ed.). **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Baurueri: Malone, 2005. p. 87<sup>-1</sup>16

CASARINI, E.; FOLEGATI, M. V. Aspectos relevantes na fertirrigação de flores e hortaliças. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p 433-438

CHAKRABARTI, C. Residual Effects of long-term land application of domestic wastewater. **Environment Iternational**, Vol. 21, n.3, p 333-339, 1995.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997.

COELHO, F. S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. 2.ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.

COELHO, M.R.; SANTOS, H.G.; SILVA, E.F.; AGLIO, M.L.D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JR, E.; PERES, J.R.R. (Eds.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p.1<sup>-</sup>11.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO TOCANTINS – SANEATINS. Cidades atendidas, 2004. Palmas: 2004. Disponível em <[http:// www.saneatins.com.br](http://www.saneatins.com.br)> . Acesso em: 10 dez. 2005.

CORAUCCI FILHO, B. ; ANDRADE NETO, C. O. ; KATO, M. T. ; CARTAXO, M. F. S. ; FIGUEIREDO, R. F. ; STEFANUTTI, R. ; SILVA, V. P. . Disposição no Solo. In: UFES; UFRN; UFPB; UFSC; UFPE; UFV; EPUSP/USP; UFMG; UFRGS; PUC-PR; UNICAMP. (Org.). **Desinfecção de Efluentes Sanitários**. São Paulo, 2003, v. 01, p. 337-387.

CORAUCCI FILHO, B.; BROLEZE, S. T.; STEFANUTTI, R.; FEIJÓ DE FIGUEREDO, R.; NOUR, E. A. A.; VIEIRA, C. B.; OGAWA, M. R. M.; PIRES, M. S. G.; SIVIERO, A. R. Avaliação da patogenicidade do feno produzido em um sistema de pós-tratamento de efluente anaeróbio por disposição controlada no solo. In: CHERNICARO C. A. L. (coord.). **Pos-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001a. v.2.

CORAUCCI FILHO, B; STEFANUTTI, R.; FEIJÓ DE FIGUEREDO, R; NOUR, E. A; KLUSENER FILHO, L. C.; BRONZELE, S. T. Estudo do sistema de pós-tratamento de efluente anaeróbio pelo método do escoamento superficial no solo: continuidade. In: CHERNICARO C. A. L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. v.2.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - COORDENAÇÃO GERAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Mapa de Disponibilidade hídrica do Brasil**. Brasília, 1992.

DIAS, C. A. B. Tecnologias e gerenciamento de sistemas urbanos de esgotos sanitários. In: BENEŞ W. (coord.). **1ºCiclo de palestras sobre tecnologias ambientais básicas: água e esgoto**. Rio de Janeiro: CERJ, 2003. p. 93<sup>-</sup>124.

EIGER, S. Autodepuração dos cursos d'água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS H. F. (Eds). **Reuso de água**. Barueri, SP: Malone, 2003. p 233 – 259.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 1997.

\_\_\_\_\_. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1999.

AUSTRALIAN: ENVIRONMENT PROTECTION POLICY - ENVIRONMENT ACT. **Wastewater reuse for irrigation.**– USEPP, 1999. Disponível em: [www.act.gov.au/environ](http://www.act.gov.au/environ). Acesso em: 20 nov. 2005.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Liminologia**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, FINEP, 1998.

FERNANDEZ, G. C. J. Residual analysis an data transformations – Important tools in statistical analysis. **Hortscience**, Alexandria, v.27, n. 4, p. 297-300, 1992.

FINK, D. R; SANTOS, H. F. A legislação do reuso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, F. H. (Eds.). **Reuso de águas**. Barueri, SP: Malone, 2003.

FITZPATRICK, E.A. **Suelos, su formación, clasificación y distribución**. México: Compañia Editorial Continental, 1985.

FONSECA, A C. Geoquímica dos solos. In: GUERRA. J. T.; SOARES da SILVA, A.; BOTELHO, R.G.M (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p165-193.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 110 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Roma. **Wastewater treatment and use in agricultura**. Estudio FAO: Riego y drenaje N° 47, 992.

\_\_\_\_\_. Roma. **Informe sobre temas hídricos 20: el riego en la américa latina y el caribe en cifras**. Roma, 2000.

\_\_\_\_\_. Roma. **Agriculture, food and water: a contribution to the world water development report**. Roma, 2003.

GHATE, R.; SONUNE, A. Developments in wastewater treatment methods. **Elsevier Desalination**, 167, p. 55-63, 2004.

GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental**. 10.Ed. Piracicaba, SP: Potafos, 1982.

GUILHERME, L. R. G; MARCHI, G. Metais pesados no solo. **ANDA – Associação nacional para difusão de adubos**: DBO agrotecnológico, s.d. 2p. Disponível em: <http://www.anda.org.br/portug/boletins.aspx>

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico – Uma visão realista. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Orgs). **Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002.

\_\_\_\_\_. Potencial de reuso no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P.C.S.; Santos, H.F. (Eds.) **Reuso da água**. São Paulo: Ed. Malone, 2003. v. 1, p. 37-95.

\_\_\_\_\_. Saúde Pública e reuso agrícola e biossólidos. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (Eds.) **Reuso da água**. São Paulo: Ed. Malone, 2003. v. 1, p. 97-124.

\_\_\_\_\_. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. Salvador, BA: Análise & Dados, v. 13, n. ESPECIAL, 2003.

HIRATA, R. Recursos Hídricos. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

JIMÉNEZ, B. Health risk in aquifer recharge with recycled water. In: AERTGEERTS, R.; ANGELAKIS, A. (Eds). **State of the Art Report Health Risks in Aquifer Recharge Using Reclaimed Water**. WHO: Regional Office for Europe, 2003.

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

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

JUNG, M.C. Heavy metal contamination of soils and wasters in and around the Imcheon Au-Ag mine, Korea. **Appl. Geochem**, 16, p.1369-1375, 2001.

JUREIDINI, P. **A ecologia e a poluição na represa de Barra Bonita no Estado de São Paulo. Botucatu**, 1987. Dissertação (Mestrado) - Instituto Básico de Biologia Médica e Agrícola, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 1987.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Organominerais**. 3.ed. Piracicaba: edição do autor, 1999.

KOURAA, A.; FETHI, F.; FAHDE, A.; LAHLOU, A.; OUZZANI, N. Reuse of urban wastewater treated by a combined stabilization pond system in Benslimane (Morocco). **Urban Water** 4, p 373-378, 2002. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/urbwat>>. Acesso em: 22 nov. 2005.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil.** 1964. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1964.

\_\_\_\_\_. **Contribuição para o entendimento do Reuso planejado das águas e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil.** 1987. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de São Paulo da USP, São Paulo, 1987.

\_\_\_\_\_. Algumas considerações sobre reuso planejado de água para fins industriais na região metropolitana de São Paulo. **Revista Bio**, Rio de Janeiro, n. 31, 1989.

LEEUWEN, J. Van. Reclaimed water – an untapped resource. **Desalination**, n. 106. 1995.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. O Uso da Irrigação no Brasil. In: **Estado das Águas no Brasil – 1999: Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos**, SIH/ANEEL/MME; SRH/MMA, 1999, p. 73-82.

LOPES, A. S. E GUIDOLIN, J.A **Interpretação de Análise de Solo – Conceitos e Aplicações.** 3 ed. Comitê de Pesquisa/ Técnico/ ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos – São Paulo, 1989.

LOPES, A. S. Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. **Boletim técnico**, São Paulo: ANDA – Associação Nacional para difusão de adubos, n. 8, 1999.

LUCAS FILHO, M; ANDRADE NETO, C. O; AÉDA DA SILVA, D.; MELO, H. N. S.; PEREIRA, M. G. Evolução do processo de disposição de esgoto tratado através do escoamento superficial em solo preparado com cobertura vegetal. In: CHERMICHARO C. A. L. (coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos.** Belo Horizonte: [s.n], 2001.

MALAVOLTA, E. KLIEMANN, H. J. **Desordens Nutricionais no cerrado.** Piracicaba: PATAFOS, 1985.

MARQUES, M. O. et al. Uso de esgotos tratados em irrigação: Aspectos agrônômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. (coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura.** Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003. p. 61-116 .

MASTNY, L.; CINCOTTA, R. P. Analisando ligações entre população e segurança. In: LOPES, C (Apresentação); MULLETT, H.; MULLETT C. (Trad.). **Estado do**

**Mundo, 2005: Estado do consumo e o consumo sustentável.** Wordlwatch Institute. Salvador: UMA, 2005.

MAZUR, N. **Níquel, chumbo, zinco e cobre em solos que receberam composto de resíduos sólidos urbanos.** 1997. 129 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.

MELAMED, R.; CAO, X.; CHEN, MING; MA, L.Q. Field assessment of lead immobilization in a contaminated soil after phosphate application. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.305: 117-127, 2003.

MENDONÇA, F. C.; ANTUNES DE LIMA, V. L.; KATO, M. T.; CORUCCI FILHO, B.; SILVEIRA, S. B.; BASTOS, R. K. X.; VAN HAANDEL, A. Aspectos Técnicos relacionados aos sistemas de irrigação com esgotos sanitários tratados. In: BASTOS R. K. X. (coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura.** Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003. p.119-156.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria N.º 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Presidente: Humberto Costa. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil], Brasília, 26 de março de 2004.

MIRELES, A.; SOLÍS, C. ANDRADE, E.; SOLAR-LAGUNAS, M.; PINA, C.; FLOCCHINI, R. G. Heavy metal um plants and soil irrigated with wastewater from México city. **Nuclear Instruments and Methods in Physics research.** Part B 219-220 (2004) 187-190. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/nimb>. Acesso em 09 nov. 2005.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente.** Rio de Janeiro: ABES, 1995.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (NAS). **Use of reclaimed water and sludge in food crop production.** National Academy Press: Academy Press: Washington, DC. 1996.

NUVOLARI, A (coord.). **Esgotos sanitários: coleta, transporte tratamento e reuso agrícola.** São Paulo, Edgard Blucher, 2003.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo num Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** 2000. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, C. **Avaliação do potencial de contaminação de dois solos agrícolas com lodo de esgoto enriquecido com cádmio, chumbo e zinco**. 1998. 191 p. (Tese de Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 1998.

ONGLEY, E. D. **Control of water pollution from agriculture: fao irrigation and drainage**. Rome: FAO, 1996.

PACHECO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

PAGANINI, W. S. Reuso de água na agricultura. In: MANCUSO P. C. S., SANTOS H. F. (Eds). **Reuso de água**. Baureri, SP: Malone, 2003.

PAPADOPOULOS, I. Irrigação/Fertirrigação modeling. In: **Proceedings of the International Conference on "Water management, salinity and pollution control toward sustainable irrigataion in the Mediterranean Region**.Italy, 1997.

\_\_\_\_\_. Used treated wastewater for irrigation: agronomic aspects, and environmental and health impacts. In: **Water Quality management and control of water poluition**. Water report 21. Rome: FAO, 2000. 204p

\_\_\_\_\_. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999.

\_\_\_\_\_. SAWIDES, S. Optimisation of the use of nitrogen in the treated wastewater reused for irrigation. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 3, n. 4, p 217–221, IWA Publishing, 2003.

PESCOD, M.B.**Wastewater treatment and use in agriculture** . Roma: FAO. 1992.

POLLICE A., LOPEZ A ,LAERA G, RUBIDO P, LONIGRO A. Tertiary filtered municipal wastewater as alternative water source in agriculture: a field investigation in Southern Italy. **Science of the total environment**, Elsevier, 2003. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/scitotenv> . Acesso em: 27 out. 2005.

POSTEL, S. ; VICKERS, A. Incrementando a Produtividade Hídrica. In: LOPES, C (Apresentação); MULLETT, H.; MULLETT C. (Trad.). **Estado do Mundo, 2004: Estado do consumo e o consumo sustentável**. Wordlwatch Institute. Salvador: UMA, 2004.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA MEIO AMBIENTE. **Perspectiva para o meio ambiente mundial – 2002: Geo 3, passado presente e futuro**. OSTORINO, R. (coord.); SHELLARD, S.; CORREA, N. B (Trads). Brasília: IBAMA/UMA: 2004.

RADAMBRASIL – PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento dos recursos naturais. Folhas SC 22 – Tocantins**. Ministério das Minas e Energia. 1981.

RAMIREZ-FUENTES, E., LUCHO-CONSTANTINO, C., ESCAMILA-SILVA, E., DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. **Bioresource Technology**: Elsevier, 85, p. 179-187, 2002.

RANZANI, G. **Solos e aptidão agrícola das terras do município de Palmas – TO**. Palmas: UNITINS, 2002.

REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. In: \_\_\_\_\_; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Orgs). **Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002.

REIS, R. N. N. **Estudo da remoção de nitrogênio amoniacal em uma série longa de lagoas de estabilização tratando esgotos domésticos em região em clima tropical**. 1995. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1995.

REIS, T. C. **Distribuição e biodisponibilização do níquel aplicado ao solo como NiCl<sub>2</sub> e biossólido**. 2002. (Tese de doutorado), Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002

RESENDE, M. C, N.; BATISTA DE REZENDE, S.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para a distinção de ambientes**. 4 ed. Viçosa: NEPUT, 2002.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

RIBEIRO, J. F. ; WALTER, B. M. T. . Fitofisionomias do Bioma Cerrado . In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P. (Orgs.). **CERRADO: ambiente e flora**. Brasília, DF, 1998, v. , p. 87-166.

RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reuso no Brasil: proposta de regulamentação do reuso no Brasil**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e preservação dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SOARES DA SILVA, A.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999a. p. 230 – 267.

- SALOMÃO, H. Fertirrigação em citrus. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 385-392.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; CUNHA DOS ANJOS, L. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Revisada e ampliada. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências de Solo, 2005.
- SANTOS, T. C. C. ; CÂMARA, J. B. D. (Orgs). **GEO Brasil 2002. Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Brasília: Edições IBAMA, 2002.
- SAS. **SAS System for Windows**. Cary (USA): SAS Institute Inc., v.8. 1999. CD-ROM.
- SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 3 Ed. rev. at. Palmas: SEPLAN - Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico, dez, 2003.
- SHANNON, M. C.; CERVINKA, V.; DANIE, D. A. Drainage Water Re-use. In: **Water Reports 13: Management of agricultural drainage water quality**: Rome: FAO - Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1997. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/W7224E/w7224e00.htm>. Acesso em: 18 nov. 2005.
- SHUVAL, H. I.; ADIN, A.; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. Wastewater irrigation in developing countries: health effects and technical solutions. **Word Bank Technical Paper**, Washington, DC: The Work Bank, n. 51. 1986.
- SHUVAL, H. Wastewater recycling and reuse as a water resource for mediterranean countries hygienic and technological aspects. In: **La collecte, le traitement et la réutilisation des eaux usées: Aspects sanitaires de la réutilisation des eaux usées**. II Conférece Méditerranéenne sur l'Eau. Rome, 1992. Disponível em: [http://www.oieau.fr/rome/france/expert/theme\\_3/](http://www.oieau.fr/rome/france/expert/theme_3/). Acesso em: 17 out. 2005.
- SIEBE, C. Heavy metal availability to plants in soil irrigated with wastewater from méxico city. **Wat. Sci.Tech**. Elsevier, vol.32, n. 12, p. 29, 1996.
- SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F. Persistência e Biomagnificação de moléculas xenobióticas In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. (Orgs.) . **Microbiologia Ambiental**. Jaguariúna: EMBRAPA - Meio Ambiente, 1997. v. 1.
- SILVA, S.M.C.P.; FERNANDES, F.; SOCCO, VT.; MORITA, D.M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M. FERNANDES, F. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 6. Lodo de esgotos. Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2001.

SILVA, S. R., PROCÓPIO, S. O., QUEIROZ, T. F. N.; DIAS, L. E. Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de solubilização de metais pesados e arsênio e revegetação local. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.1, p.189-196, Jan./Fev. 2004.

SILVA, W. L.C.; CARRIJO, O. A.; MAROULLI, W. A. Fertirrigação na embrapa hortaliças. In: FOLEGATTI, M. V. (coord). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p 441-458.

SILVEIRA, M.L.A.; ALLEONI, L.R.F.; GUILHERME, L.R.G. Biosolids and heavy metals in soils. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.793-806, 2003.

SOUSA, D. M. G. de; CARVALHO, L. J. C. B.; MIRANDA, L. N. de. Correção da acidez do solo. In: W. J. Goedert (ed.). **Solos dos Cerrados**. Brasília: EMBRAPA/Nobel, 1985. p. 99-127.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade da águas e ao tratamento de esgoto**. – 3.ed.- Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE; UNDP – UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **China Human Development Report 2002: making green development a choice**. Hong Kong: Oxford University Press, 2002.

TELLES, D.D'A. Água na agricultura e pecuária. In: A. C. REBOUÇAS, B. BRAGA, TUNDISI J. G. (Orgs). **Águas doces no Brasil – Capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control**. Harper International Edition, 1987.

TUNDISI, J. G.; STRASKRABA. M. Diretrizes para o gerenciamento de lagos In: TUNDISI, J. G et al. **Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos - Vol 9 - Gerenciamento da Qualidade da Água de Represas**. São Carlos: ILEC - IEE, 2000.

UEHARA, G. Agric properties and their significance to soil classification. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8. 1986, Rio de Janeiro, RJ. **Proceedings**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNCLS/SMSS/USDA-SCS/UPR, 1988. Part 1: Papers. p.19-22.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. Guidelines for Water Reuse. **Technical Report No EPA/625/R-92/004**. Washington: USEPA, 1992

\_\_\_\_\_. **Technical Report No EPA/625/R-04/108**. Washington: USEPA, 2004.

VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. **Wat. Sci. Tech.** Great Britain: Elsevier Science, v. 33, n.10<sup>-1</sup>, p. 355-362, 1996.

VIEIRA, L. A. **Projeto de Pesquisa e monografia: O que é? Como se faz? Normas da ABNT**. 2 ed. Rev. Curitiba: Editora. do Autor, 2004.

WILD, A. **Soils and the Environment - an Introduction**. Cambridge: University Press, 1993.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Of a WHO meeting of experts. **Technical report series N° 517**. Genebra, 1973.

\_\_\_\_\_. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture **Technical report series N° 778**. Genebra, 1989.

WORLD RESOURCES INSTITUTE 2000-2001. **People and ecosystems: The fraying web of life**. Washington, DC: World Resources Institute 2000.

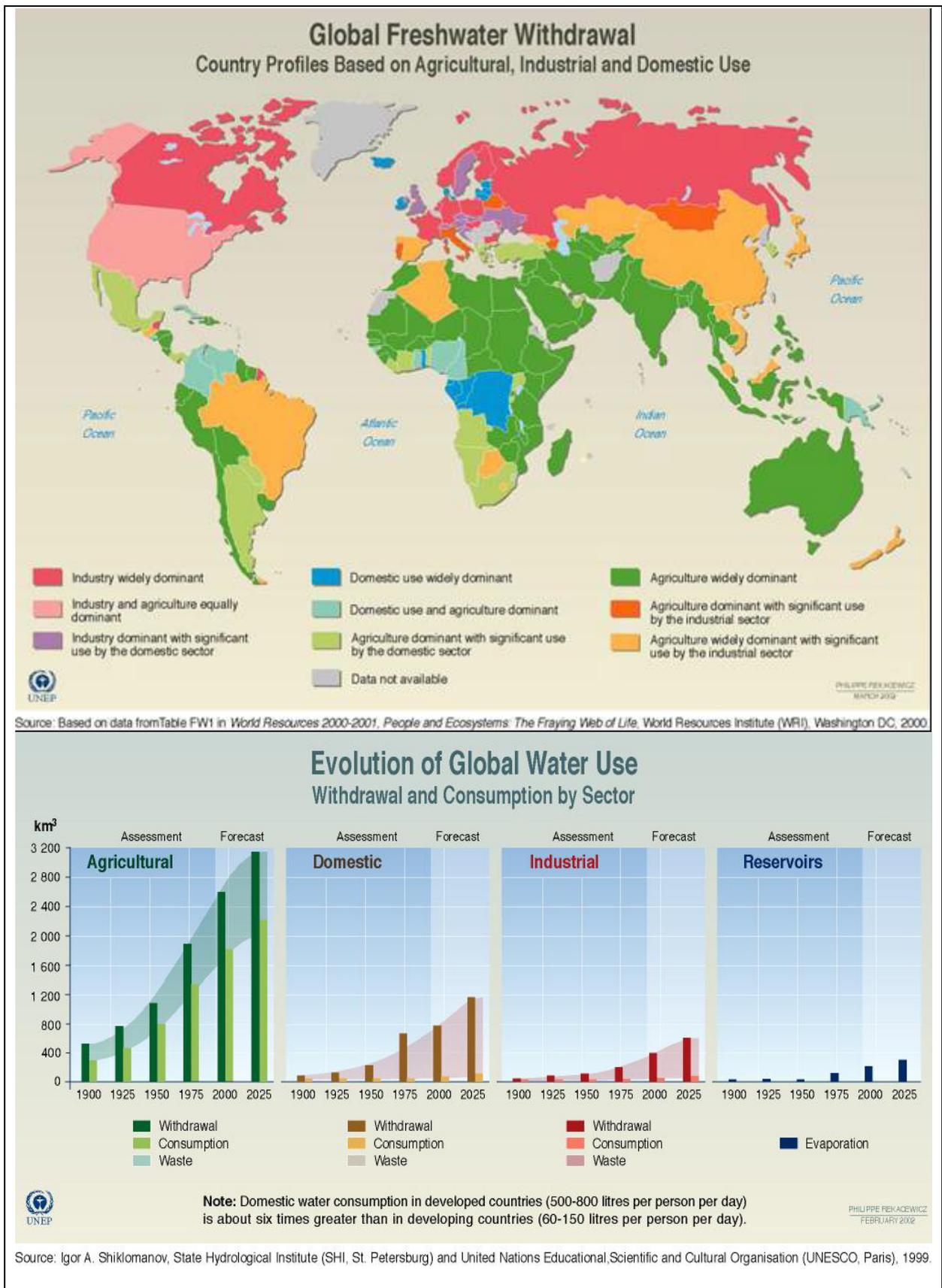
WOLF, A. T., KRAMER, A.; CARIUS, A.; DABELKO, G. D. Gerindo Disputas e Cooperação Hídricas. In: MULLETT, H.; MULLETT, C. (trads.) **Estado do Mundo, 2005: Estado do consumo e o consumo sustentável**. Wordlwatch Institute. Salvador: UMA, 2005.

YEDILER, A.; GRILL, P.; SUN, T.; KETTRUP, A. Fate of metals in a land treatment system irrigated with municipal wastewater. **Chemosfere**, vol, 28, n.2, p. 375-381. 1994.

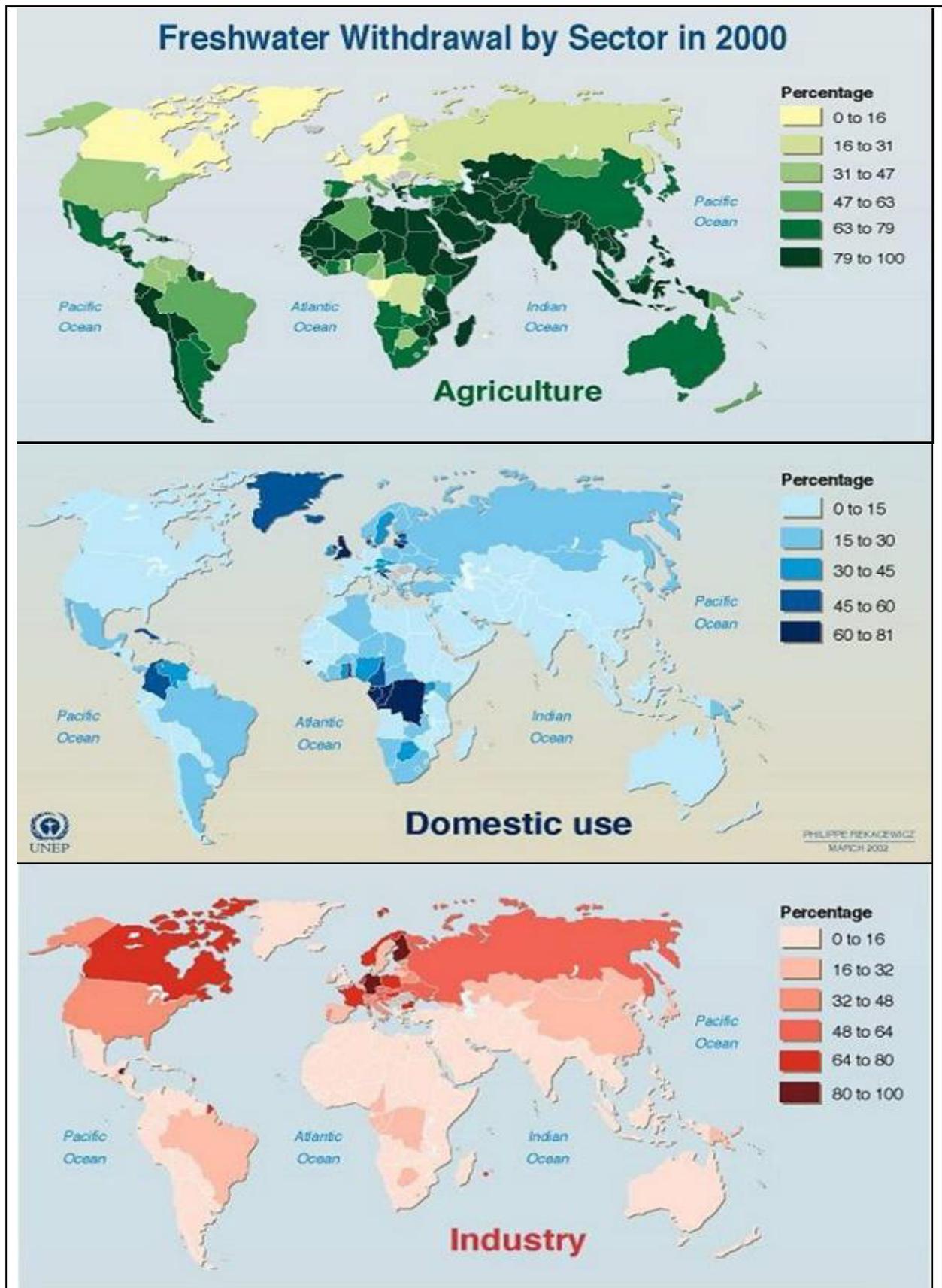
ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMAN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.117<sup>-1</sup>61, 1997.

ZIMMERMANN, F.J.P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. p.166<sup>-1</sup>92.

## ANEXO I – EVOLUÇÃO GLOBAL DA EXTRAÇÃO DE AGUA DOCE



## ANEXO II – EXTRAÇÃO AGUA DOCE POR SETOR



# 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](#)