

# REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA AGRICULTURA - UMA ALTERNATIVA PARA A PRODUÇÃO AGRÍCOLA E CONTROLE DA POLUIÇÃO AMBIENTAL

*Annemarie König* (AES/A/DEC/CCT/UFPA)  
*Beatriz Susana Ovruski de Ceballos* (AES/A/DEC/CCT/UFPA)

## 1. O USO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS NA AGRICULTURA

*Annemarie König*

### 1.1 - Definição de Reuso

A disponibilidade e a qualidade da água para as diversas atividades humanas está diretamente ligada ao crescimento populacional. A água é um recurso natural limitado e dela depende toda a vida na Biosfera. O volume total de água disponível é avaliado em  $1.380 \times 10^{15} \text{ m}^3$  com 96,6% constituída de água salgada armazenada nos oceanos. Os restantes 3,4% de água doce, estão localizados nas calotas polares, subsolo, lagos, rios e aquela contida na atmosfera e nos seres vivos (Ehrlich & Ehrlich, 1974).

A parte da água que está em circulação no ciclo hidrológico constitui os chamados Recursos Hídricos cujo volume total tem se mantido praticamente constante desde o aparecimento do homem na Terra. Porém os recursos hídricos disponíveis tem sido reduzido significativamente nos aspectos quantitativo e qualitativo devido a explosão demográfica aliada ao crescimento econômico das sociedades modernas devido ao aumento da demanda na indústria e principalmente na agricultura.

A quantidade de água utilizada pelo homem tem variado muito ao longo de sua história: 12 l/dia há 100 anos antes de Cristo, 20 l/dia no Império Romano, 40 l/dia a 60 l/dia para os moradores de pequenas e grandes cidades no século XIX até chegar a 800 l/dia para as atividades domésticas, agrícolas e industriais do homem no século XX (Arnt, 1995).

Em suas atividades domésticas o homem consome muita água em uma descarga sanitária são gastos em média 12 litros e 120 l para uma máquina de lavar roupa. Esses consumos no entanto são irrelevantes diante do consumo de água devido as atividades agrícolas e industriais, que chega a ser de até 73% da água doce disponível da terra (Simensen, 1995). Por exemplo: para se produzir uma tonelada de borracha sintética é necessário consumir 2,4 milhões de litros de água e 1,3 milhões de litros de água são usados para produção de uma tonelada de alumínio (Portugal Filho, 1991).

Para o consumo humano, o ciclo hidrológico deixa disponível cerca de  $9.000 \text{ km}^3$ , considerados suficientes para suprir as necessidades dos 5.5 bilhões de habitantes da

Terra. Porém a distribuição desta água não é uniforme e cerca de 1.65 bilhões de pessoas já sofrem com a escassez de água.

É preciso transformar os recursos hídricos potenciais em recursos hídricos disponíveis. Através da construção de barragens ou alternativamente pode-se pretender adaptar a qualidade da água a uma determinada finalidade, neste contexto modificado das águas residuárias em águas de qualidade compatível para determinados usos, ou seja, viabilizar sua reutilização que após um primeiro processo de utilização foi transformada em água residuária. Esta tecnologia insere-se entre as medidas de transformação de recursos hídricos potenciais em disponíveis.

A escassez de água e a demanda por água doce, principalmente em regiões semi-áridas do mundo, tem aumentado o interesse da reutilização de águas residuárias domésticas para fins potáveis e não potáveis. As incertezas associadas a esta prática estão relacionadas ao desconhecimento dos poluentes e contaminantes da água residuária e da dificuldade de controlar a qualidade da água processada além dos custos elevados dos processos disponíveis. Para as diversas finalidades a que se pretende dar à água residuária deve-se conhecer suas características físico-químicas e microbiológicas de modo a satisfazer os critérios recomendados.

## **1.2 - Objetivos Principais do Reuso de Águas Residuárias**

De acordo com Santos et al (1992) dentre os diversos usos não potáveis para as águas residuárias tratadas em ETE's, destacam-se:

- \* na agricultura e na pecuária para a irrigação de diferentes culturas, de forrageiras e dessedentação de animais;
- \* na indústria para o uso em torres de resfriamento, caldeiras e na construção civil;
- \* nas residências para regar jardins, áreas verdes, lavagens de veículos, descargas sanitárias;
- \* na aquicultura para abastecer reservatórios para criação de peixes e plantas aquáticas;
- \* na recarga de aquíferos subterrâneos para completar o nível dos aquíferos e assim impedir a invasão da cunha salina;
- \* na manutenção das vazões mínimas de cursos d'água para diluir os esgotos lançados em águas superficiais;
- \* na recreação e uso público na irrigação de parques e jardins públicos, campos de esporte, lagos ornamentais.
- \* na proteção dos recursos hídricos quando águas residuárias tratadas são utilizadas em outras atividades menos exigentes em qualidade, ocorre uma redução na descarga de esgotos em mananciais superficiais originalmente destinados, por exemplo, ao abastecimento humano que exige água de melhor qualidade.

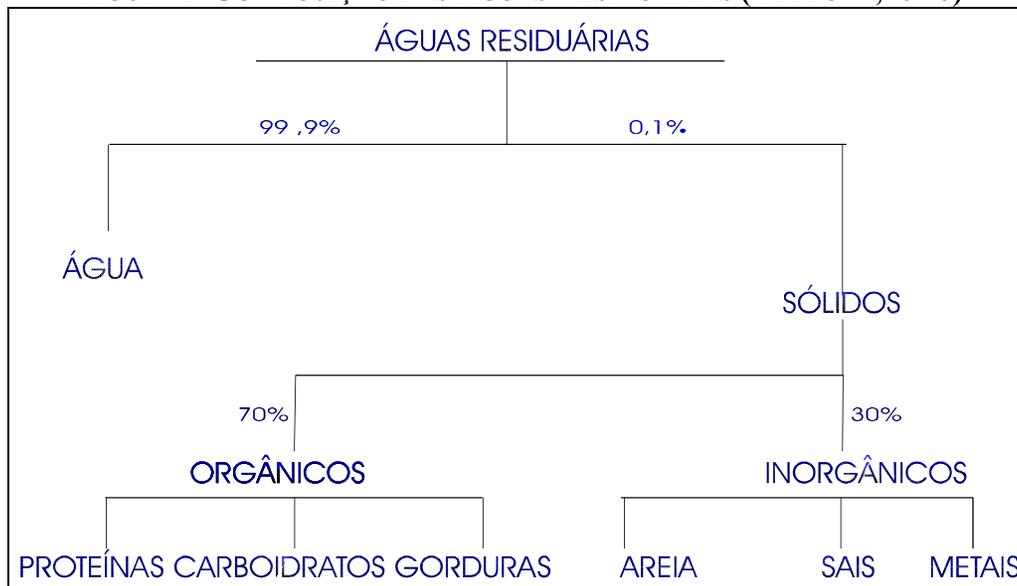
## **1.3 - Características das Águas Residuárias Domésticas Brutas**

A água residuária doméstica é constituída por resíduos humanos (fezes e urina) e de águas produzidas nas diversas atividades diárias como o asseio corporal, preparo de alimento, lavagem de roupas e utensílios domésticos.

Quando recém produzido é um líquido turvo tem uma coloração parda com odor de solo. É composto principalmente de água (99,9%) de água e 0,1 % de sólidos (Figura 1). Estes sólidos orgânicos e inorgânicos, flutuantes ou suspensão podem ser de grandes dimensões (fezes, trapos, plásticos) ou de pequenas dimensões (cascas de frutas, papéis e fezes desintegradas) além dos sólidos coloidais. Das substâncias orgânicas presentes nos esgotos destacam-se os carboidratos, lignina, gorduras, sabões, detergentes sintéticos, proteínas e todos os produtos de decomposição. A areia, sais e metais diversos formam a parte inorgânica dos esgotos.

De acordo com a concentração destes componentes o esgoto bruto doméstico é classificado como forte, médio e fraco. (Tabela 1). Em regiões áridas do mundo onde a água é escassa e o consumo é reduzido (90 l/hab.dia, em Amam na Jordânia), o esgoto tende a ser considerado de concentração forte.

**FIGURA1 -COMPOSIÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS (TEBBUTT, 1970)**



**TABELA 1 - COMPOSIÇÃO TÍPICA DE ESGOTO DOMÉSTICO BRUTO.**

Parâmetro	Unidade	Concentração		
		Fraco	Médio	Forte
Sólidos Totais	mg/L	350	720	1.200
S.Dissol.Totais	mg/L	250	500	850
S.D. Totais	mg/L	145	300	525
Fixos				
S.D. Totais	mg/L	105	200	325
Volat.				
Sólidos	mg/L	100	220	350
Suspensos				
Sol.Susp.Fixos	mg/L	20	55	75
Sol.Susp.	mg/L	80	165	275
Voláteis				
Sol.	mL/L	5	10	20
Sedimentáveis				
DBO <sub>5</sub>	mg/L	110	220	400
Carb. Org. Total	mg/L	80	160	290
DQO	mg/L	250	500	1.000
Nitrogenio	mg/L	20	40	85
Total.				
Orgânico	mg/L	8	15	35
Amonia	mg/L	12	25	50
Nitrito	mg/L	0	0	0
Nitrato	mg/L	0	0	0
Fósforo (P total)	mg/L	4	8	15
Orgânico	mg/L	1	3	5
Inorgânico	mg/L	3	5	10
Cloretos	mg/L	30	50	100
Sulfato	mg/L	20	30	50
Alcalinidade	mg/L	50	100	200
Gorduras	mg/L	50	100	150
Colif.Totais	n°/100mL	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>
Comp.Or.Voláteis	µg/L	<100	100 - 400	>400

Fonte: Metcalf & Eddy, 1991

Caso o esgoto produzido por uma localidade receba também contribuições de processos industriais, esta água residuária irá conter vários produtos químicos orgânicos, inorgânicos e sintéticos. Dentre eles citam-se alguns potencialmente tóxicos como os metais pesados arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio e zinco.

## 1.4 - Vantagens e Desvantagens da Reutilização de Águas Residuárias

A aplicação mais imediata das águas residuárias, após seu tratamento adequado, é a irrigação de áreas agrícolas e aquelas com objetivos paisagísticos e de recreação secundária. Utilizando-se o processo apropriado para tratar os esgotos podem-se obter efluentes de qualidade microbiológica adequada para irrigar todo tipo de cultura (WHO, 1989).

**TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS SISTEMAS DE LAGOAS PARA A REMOÇÃO DA DBO<sub>5</sub>**

Sistema de lagoas					
item geral	item específico	Facultativa	Anaeróbia-facultativa	Aerada facultativa	Aerada de mistura completa - decantação
Eficiência	DBO (%)	70-85	70-90	70-90	70-90
	Nitrogênio (%)	30-50	30-50	30-50	30-50
	Fósforo (%)	20-60	20-60	20-60	20-60
	Coliformes (%)	60-99	60-99,9	60-96	60-99
Requisitos	Área (m <sup>2</sup> /hab)	2,0-5,0	1,5-3,5	0,3-0,6	0,2-0,5
	Potência (W/hab)	≈ 0	≈ 0	1,0-1,7	1,0-1,7
Custos	Implantação (US\$/hab)	10-30	10-25	10-25	10-25

Fonte: von Sperling (1995).

Dentre as vantagens da reutilização de águas residuárias citam-se:

- 1 - recuperação e economia de água considerando que o consumo médio per capita de água é de 150 - 200 l/hab.dia;
- 2 - redução nos gastos com fertilizantes químicos e os custos na produção agrícola (Tabela 3);
- 3 - aumento da fertilidade dos solos devido a presença, nos esgotos brutos, de nutrientes essenciais às plantas como o nitrogênio (10-100 mg/l), o fósforo (5-25 mg/l) e o potássio (10-40 mg/l), além dos microelementos;
- 4 - aumento da produção agrícola;
- 5 - a formação de húmus em consequência da mineralização lenta da matéria orgânica dos esgotos, exercendo forte influência nas propriedades físicas do solo, como a retenção de água;
- 6 - proteção ambiental com a redução ou eliminação da eutrofização dos recursos hídricos e assim destiná-los somente para fins potáveis;

**TABELA 3 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES DE ALGUNS FERTILIZANTES ORGÂNICOS**

Conteúdo de Nutrientes (% de matéria seca)			
	Nitrogenio Total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Fezes Humanas Frescas	10,4 - 13,1	2,7 - 5,1	2,1 - 3,5
Estrume Bovino Fresco	0,3 - 1,9	0,1 - 0,7	2,1 - 3,5
Estrume de Suínos	4 - 6	3 - 4	2,5 - 3
Estrume de Aves	6	5	2,7
Resíduos Vegetais	1 - 11	0,5 - 2,8	1,1 - 11

Fonte: Strauss & Blumenthal (1989).

Dentre as desvantagens são citadas:

- 1 - presença excessiva de nitrogênio pode comprometer culturas pouco tolerantes;
- 2 - elevados teores de sais que dissolvidos podem provocar a salinização do solo;
- 3 - presença de íons específicos (sódio, boro e cloretos) que pode provocar toxidez à algumas culturas;
- 4 - riscos à saúde do trabalhador e usuário dos produtos irrigados, devido à contaminação com microorganismos patogênicos presentes nos esgotos.

Os manejos agrônômicos necessários quando da utilização de águas residuárias, são os mesmos aplicados à irrigação convencional: a qualidade do efluente a ser utilizado, as taxas de aplicação, o método de irrigação, tipo de solo e a cultura a ser utilizada.

A investigação científica do reuso visa maximizar as vantagens e minimizar os potenciais inconvenientes do uso de águas residuárias domésticas na agricultura. Os estudos experimentais devem ser direcionados para os aspectos sanitários, especialmente aqueles relacionados com a contaminação do solo, das águas subterrâneas, das culturas irrigadas e também sobre a avaliação da qualidade e produção das culturas.

### **1.5 - Histórico do Reuso de Esgotos (tratados ou não) na Agricultura**

A utilização de dejetos humanos na agricultura (fertilização de culturas, para reposição de nutrientes em solos pobres) e na piscicultura é uma prática antiga em muitos países do sudeste asiático, principalmente na China. As primeiras cidades européias a adotarem esta prática foram Bunzlau na Alemanha em 1531 e Edinburgo na Escócia em 1650.

Com o crescimento das cidades e o advento dos sistemas de esgotamento sanitário foi renovado interesse da utilização de esgotos através das fazendas de esgotos ou pela aplicação sobre o terreno, particularmente na Europa após a aprovação desta

prática na Inglaterra pela Comissão Real da Disposição de Esgotos. Já em 1850 esta Comissão dizia:

*“A maneira correta de eliminar/descartar os esgotos de uma cidade é sua aplicação contínua sobre o solo e, através desta aplicação que a poluição dos rios será evitada”.*

Na época, as fazendas de esgoto foram implantadas em cidades como Edinburgo (1865) e mais tarde em Londres e Manchester e outras cidades no Reino Unido. Em 1875 já existiam cerca de 50 fazendas na Grã Bretanha. Em 1898 esta política foi modificada pela Comissão de Disposição de Esgotos da Grã Bretanha que recomendou *“filtros construídos artificialmente para purificar melhor o esgoto deveriam ser adotados em irrigação restrita”.*

Na França, sistemas de disposição de esgotos remontam de 1868 e após 4 anos de implantação já eram irrigados cerca de 900 ha com parte dos esgotos da cidade de Paris; os restantes eram descarregados no Rio Sena. Em 1904 cessou a descarga de esgotos neste e toda a vazão era destinada às fazendas de esgoto, com uma área total de 5.300 ha.

Na Alemanha, a cidade de Berlim implantou sua primeira fazenda de esgotos em 1876 ocupando 17.200 ha. Em 1910 tratavam cerca de 310.000 m<sup>3</sup>/dia e as principais culturas irrigadas eram centeio, trigo, cevada, aveia, milho, batatas, beterrabas e cenouras. Também eram cultivados forrageiras para pastagem do gado bovino. Parte do efluente produzido através da percolação no solo abastecia tanque de piscicultura que em 1910 cobriam uma área de 16 ha. A maior parte das terras irrigadas com os esgotos eram de propriedade do poder público municipal.

Em 1897, a cidade de Melbourne na Austrália, implantou a Fazenda Werribee para descartar e tratar seu esgotos através do plantio de forrageiras, destinadas à pastagem de ovinos e bovinos. Este empreendimento bem sucedido ainda está em funcionamento e atualmente irriga 10.000 ha com o efluente do maior sistema de lagoas de estabilização do mundo.

Nos Estados Unidos os primeiros projetos de reuso remontam à 1880, e eram sistemas naturais de tratamento com aplicação no solo. No início do século XX muitos dos projetos de fazendas de esgotos são gradualmente abandonados nos Estados Unidos e na Europa devido entre outros fatores a urbanização crescente das cidades que chegavam até as proximidades destas fazendas.

Os fatores determinantes do abandono desta prática foram: a geração de odores desagradáveis e a preocupação com a saúde pública, devido a transmissão de doenças através dos vegetais irrigados com águas contaminadas. Uma outra desvantagem que contribuiu para esse declínio nas regiões temperadas foi o excesso de chuvas que impedia a irrigação fazendo com que os esgotos fossem descarregados em rio e riachos próximos, além da supersaturação dos terrenos irrigados e a destruição das culturas.

## 1.6 - Processos de Tratamento de Esgotos

Para que a prática do reuso seja bem sucedida, sem que haja prejuízo à saúde pública, ao ambiente e ao sistema água-solo-planta, os esgotos domésticos devem ser tratados através de processos que garantam a qualidade mínima necessária. O grau de tratamento é um fator importante no planejamento, dimensionamento e gerenciamento de qualquer projeto de reuso.

O tratamento de esgotos tem como objetivo a remoção de material orgânico, de nutrientes e de organismos patogênicos presentes no esgoto bruto e assim torná-lo adequado para qualquer uso que se pretenda dar a essa água.

Os métodos de tratamento se enquadram em duas categorias:

- 1 - processos de tratamento convencional
- 2 - sistemas naturais de tratamento biológico e percolação no solo.

No primeiro, o esgoto é tratado através de uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos de custos elevados, necessitando de pessoal técnico especializado porém requerendo pouca área para sua instalação.

No caso dos sistemas biológicos, estes são de baixo custo e menos sofisticados na manutenção e operação, tendo como única desvantagem a necessidade de grandes áreas para sua instalação. Esta desvantagem no entanto é compensada pela elevada eficiência na remoção de microrganismos patogênicos a qual não é alcançada por sistemas convencionais de tratamento (Tabela 18). Se o sistema biológico de tratamento for bem projetado e não estiver com um excesso de carga orgânica, esta eficiência é contínua garantindo assim uma qualidade microbiológica adequada para projetos de reuso.

Existem várias opções de sistemas biológicos para o tratamento de esgotos e dentre elas destacam-se as lagoas de estabilização e o escoamento dos esgotos sobre o solo.

As lagoas de estabilização são definidas como grandes tanques escavados no terreno, delimitados por taludes de terra que recebem as águas residuárias brutas e lá permanecem por um certo tempo, entre 10 e 50 dias. A remoção da matéria orgânica é feita principalmente por processos biológicos, aeróbios e anaeróbios envolvendo bactérias e algas.

Dependendo da predominância de um ou de outro, as lagoas podem ser classificadas como anaeróbias, facultativas ou aeróbias (ou maturação). Quando bem projetadas e dependendo da configuração, lagoas de estabilização produzem efluentes com a sanitária desejada, porém podem conter ainda elevados teores de nutrientes dissolvidos além daqueles contidos nas algas e assim contribuir com a eutrofização em corpos receptores. Entretanto a utilização desses efluentes na agricultura ajudariam a

fertilizar o solo, melhorar suas características físicas e com as grandes vantagens da economia de água e da redução da poluição dos recursos hídricos.

**TABELA 4 - RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE UM SISTEMA EXPERIMENTAL DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM SÉRIE COM TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA DE 25 DIAS, NO PERÍODO DE JAN-DEZ/1986.**

Valor médio	Esgoto bruto e efluentes de lagoas de estabilização					
	EB	A <sub>7</sub>	F <sub>9</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
CF/100mL	1,3x10 <sup>7</sup>	1,6x10 <sup>6</sup>	4,6x10 <sup>5</sup>	9,8x10 <sup>4</sup>	23,8x10 <sup>3</sup>	32,6x10 <sup>2</sup>
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	154	75	43	24	14	11
SS (mg/L)	242	40	34	33	24	21
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N (mgN/L)	26,7	27,6	27,8	27,3	26,0	25,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N (mgN/L)	0,63	0,58	0,56	0,56	0,56	0,52
Ortofosfato Solúvel (mgP/L)	2,46	3,32	3,44	3,39	3,39	3,36
Fósforo Total (mgP/L)	4,86	4,09	4,09	4,07	4,02	3,98
Clorofila "a" (µg/L)	-	-	60,0	71,9	57,2	92,3
Alc. Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	250	251	254	250	250	240
pH	7,5	7,0	7,2	7,4	7,4	7,5

Fonte: de Oliveira (1990).

**TABELA 5 - RESULTADOS DO ONITORAMENTO DE UM SISTEMA EXPERIMENTAL DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM SÉRIE COM TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA DE 40 DIAS, NO PERÍODO DE JAN-DEZ/1987.**

Valor médio	Esgoto bruto e efluentes de lagoas de estabilização					
	EB	A <sub>7</sub>	F <sub>9</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
CF/100mL	1,2x10 <sup>7</sup>	1,5x10 <sup>6</sup>	3,3x10 <sup>5</sup>	3,1x10 <sup>4</sup>	1,9x10 <sup>3</sup>	0,83x10 <sup>2</sup>
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	119	59	30	16	9	7
SS (mg/L)	172	43	36	31	26	21
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N (mgN/L)	23,8	26,6	27,1	26,0	25,0	24,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N (mgN/L)	0,56	0,56	0,54	0,53	0,52	0,52
Ortofosfato Solúvel (mgP/L)	2,29	3,09	3,23	3,27	3,28	3,26
Fósforo Total (mgP/L)	4,12	3,80	3,92	3,93	3,94	3,88
Clorofila "a" (µg/L)	-	-	116,2	132,2	95,6	49,0
Alc. Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	259	283	286	270	262	253
pH	7,7	7,4	7,7	7,8	8,0	8,1

Fonte: de Oliveira (1990).

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 1989) recomenda para países em desenvolvimento, o uso de lagoas de estabilização como um processo de baixo custo e eficiente na remoção de organismos patogênicos. Este tipo de tratamento valoriza a

qualidade sanitária do efluente e contribui de maneira segura para o bom desenvolvimento de projetos de reuso

## **1.7 - O Reuso Planejado**

Em regiões áridas e semi-áridas onde a disponibilidade de água é reduzida, o reuso de esgoto tem despertado o interesse principalmente naquelas atividades menos exigentes em qualidade de água. Esta utilização pode fazer parte de políticas governamentais para a otimização dos recursos hídricos (ex. Estados Unidos e Israel) até aquela feita espontaneamente por pequenos agricultores que, sem opção de outra fonte de água de melhor qualidade usam a água de riachos contaminados por esgotos com sérios riscos à saúde pública.

Shuval (1985) descreve experiências de reuso planejado em alguns países, a saber:

### **(01) Alemanha**

Em 1958 cerca de 1.200 milhões/m<sup>3</sup>.ano eram usados na irrigação de 250.000 ha. O maior projeto de reuso é o da cidade de Braunschweig onde são desenvolvidas pesquisas sobre aspectos agrônômicos, de engenharia e de saúde.

### **(02) Arábia Saudita**

Em Riyadh-Dirab, os efluentes tratados por processos convencionais são utilizados para irrigar 2.500 ha de trigo e pastagens.

### **(03) Argentina**

Em Mendonza, esgoto parcialmente tratado (tratamento primário) irriga verduras em uma área de aproximadamente 2.000 ha.

### **(04) Austrália**

A Fazenda Werribee, em funcionamento desde 1897, tem um sistema de escoamento sobre o solo, recebendo 250.000 m<sup>3</sup>/dia e irrigando uma área de 5.000 ha.

### **(05) Brasil**

Reuso planejado no Sistema Integrado de Tratamento dos Efluentes Líquidos do Polo Petroquímico do Sul (SITEL), utilizando os efluentes tratados na irrigação de capim e cana-de-açúcar.

### **(06) Chile**

Em Santiago, esgotos não tratados irrigam 16.000 ha onde são cultivados verduras e hortaliças.

### **(07) Estados Unidos**

Em 1940 existiam cerca de 150 estações de tratamento com aplicação no solo. Em 1980 já eram mais de 3.400 projetos com apoio governamental, utilizando águas

residuárias tratadas para fins agrícolas, industriais e recreacionais. O estado onde o reuso é praticado mais intensamente é a Califórnia e, dependendo de sua qualidade irrigam-se culturas a serem consumidas pelo homem, parques e jardins, culturas de cereais e pastagens entre outras. Na cidade de Irvine existem 5.000 ha plantados com verduras irrigadas por efluentes de lagoas aeradas, além da recarga planejada de aquíferos, lagos ornamentais e recreacionais, uso industrial e preservação da vida selvagem.

**(08) França**

São mais de 2.000 ha irrigados com esgoto tratado.

**(09) Índia**

Os sistemas de fazendas de esgotos de Bombaim foram introduzidos no século passado e em 1913 na cidade de Nova Delhi. Na Índia estima-se que, diariamente são produzidos 3,6 milhões de metros cúbicos de esgotos dos quais 50 a 55% são utilizados na irrigação.

**(10) Israel**

O país recicla cerca de 70% de seus esgotos que são usado na irrigação. Em 1982, cerca de 10.000 ha eram irrigados com esgotos tratados, com 87% da área ocupada com a cultura do algodão.

**(11) Jordânia**

Em Amman o lençol freático é a fonte de abastecimento público e 30% da vazão de recarga destes aquíferos é proveniente de efluentes de fossas e no esgoto da própria cidade.

**(12) México**

A vazão de 45 m<sup>3</sup>/s de esgoto bruto são combinados com 10 m<sup>3</sup>/s de águas pluviais e através de um sistema de canais e reservatórios irrigam cerca de 80.000 ha onde são cultivados o milho, alfafa, cevada, em áreas situadas a 60 km da cidade do México.

**(13) Namíbia**

A capital Windhoek foi a primeira a praticar o reuso para fins potáveis (abastecimento público). A água de uma represa é misturada com efluente de esgoto tratado.

**(14) Peru**

O Programa Nacional de Reuso de Águas Residuárias para a Irrigação prevê a implantação de até 18.000 ha. de área irrigada. Ao sul de Lima, cerca de 4.000 ha de áreas desérticas são irrigados por efluentes de lagoas de estabilização.

**(15) Reino Unido**

Berço das fazendas de esgotos, retomou o interesse pelo reuso a partir de 1980, com mais de 60 locais onde é praticada a disposição sobre o terreno.

**(16) Singapura**

Os efluentes tratados de uma estação, abastecem um sistema não potável destinado à descarga de vasos sanitários em conjuntos de prédios residenciais.

**(17) Tunísia**

Na capital Tunis, irrigam-se citrus com água residuária tratada.

## 2. ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DO REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

### 2.1 - Introdução

O reuso de águas residuárias e de excretas é uma prática antiga em diversas partes do mundo. Países como China, ao longo dos séculos, vem utilizando fezes humanas para fertilizar os campos de arroz e lagos de piscicultura. Na Idade Média, o conteúdo das latrinas de diversos conventos europeus fertilizavam estanques com peixes, usados na alimentação dos próprios religiosos.

Com relação aos esgotos a história do reuso se remonta, provavelmente, ao momento em que se iniciou a coleta das águas residuárias através de canais e tubulações. Cidades como Damasco, no século VIII, possuíam canais abertos para afastar os esgotos dos centros urbanos e, estas águas eram aplicadas na irrigação de grandes extensões de terreno com pastagens e pomares. Edwin Chadwick, um veterano lutador em prol da saúde pública em Londres, a meados do século passado utilizou manilhas para canalizar os esgotos dessa populosa cidade e, propiciava seu reuso, pois acreditava que as classes mais pobres se beneficiariam com melhoras qualitativas e quantitativas nas suas dietas ao aumentar a produtividade agrícola (Cairncross, 1993). Ainda no século passado, numerosas cidades européias e norteamericanas que instalaram sistemas sanitários de coleta de águas residuárias, adotaram simultaneamente o reuso dos esgotos na irrigação, ou sua disposição em “fazendas de lodos”, como uma forma prática de eliminação dos grandes volumes coletados e como medida para evitar a poluição dos rios (Strauss e Blumenthal, 1989).

A proteção dos corpos aquáticos da contaminação fecal, principalmente dos utilizados como mananciais para consumo humano, foi a causa principal do “reuso” que tomou conta de várias cidades de Europa na segunda metade do século XIX (Shuval, 1985), como conseqüência da associação entre águas sujas com esgotos e doenças como a febre tifóide e a cólera. Finalmente, a prática de proteção das fontes de água foi consagrada com a descoberta de John Snow, em 1850, de que a epidemia de cólera, que se alastrara por Londres, matando milhares de pessoas em poucos dias, tinha tido como causa as águas do rio Tamisa, contaminadas com esgotos (Snow, 1990). A epidemia já tinha feito vítimas fatais na França e na Alemanha. (Garcia e Ceballos, 1997).

No início do século XX, (1912) foram estabelecidos na Inglaterra os primeiros padrões para o lançamento de águas residuárias em rios, impondo-se limites para matéria orgânica biodegradável ( $DBO_5 = 20 \text{ mg/L}$ ) e sólidos suspensos ( $SS = 30 \text{ mg/L}$ ). Simultaneamente, começaram a ser difundidos métodos mais modernos de tratamento de esgotos, como os biofiltros e os sistemas de lodos ativados que rapidamente apresentaram avanços tecnológicos e tornaram atingíveis os padrões estabelecidos para esses dois parâmetros. Padrões bacteriológicos, baseados em bactérias indicadoras, somente foram definidos após 1915, quando foi elaborado o método estatístico do número mais provável, com base na técnica de tubos múltiplos (Cairncross, 1993).

## 2.2 Uma Abordagem Sanitária do Reuso na Agricultura

### Vantagens

De fato, o reuso resulta muito atraente para as regiões áridas e semi-áridas, onde a falta de água ou a distribuição irregular das chuvas limita a produção agrícola. Dentre as diversas vantagens que apresenta, destacam-se (Strauss e Blumenthal, 1989):

- a) ser uma fonte de água para diversas atividades, como agricultura, aquicultura e recarga de aquíferos, permitindo poupar os mananciais de melhor qualidade para usos mais nobres - como o consumo humano;
- b) ser uma fonte natural de nutrientes (N,P,K contidos na matéria orgânica em decomposição), permitindo a economia de fertilizantes inorgânicos; simultaneamente, os esgotos agem como melhoradores das propriedades físicas do solo;
- c) constituir um mecanismo de proteção ambiental ao evitar a descarga de poluentes (eutrofizantes e patogênicos) nos corpos aquáticos receptores.

A Tabela 6, a seguir, mostra o poder fertilizante e a “fonte alternativa de água” oferecida pelos esgotos de uma população de 1.000 habitantes

**TABELA 6 - POTENCIAL FERTILIZANTE E COMO FONTE DE ÁGUA DE ESGOTOS  
CORRESPONDENTES A 1000 HABITANTES**

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
• Concentração de Nutrientes (Mara & Cairncross 1987) mg/L	15	6.9 (3 mg P/1)	29 (20 mg K/1)
• Carga de Nutrientes Produzida por 1000 pessoas (Kg/ano)	547	252	1058
• Requerimento de Nutrientes pela Cultura de Milho (Kg/ha, ano)	114	43	125
• Área Fertilizável para Cultivo de Milho (ha)	4,8	5,9	8,5
-----			
• Área Irrigável com Base na Demanda de Água de cada Cultura			
Milho	9,0 ha		
Vegetais	4,6 ha		
Arroz	1,8 ha		

Fonte: Strauss e Blumenthal, 1989

### Desvantagens

O problema remanescente do reuso, ou pelo menos o mais polêmico, ainda se refere aos aspectos sanitários e de saúde pública pela contaminação com microrganismos patogênicos.

O ponto chave da questão sanitária é a definição do “risco aceitável” ou seja, quais devem ser os padrões de qualidade de um esgoto para ser aceito para o reuso; por sua vez, essa qualidade para “reuso” leva implícito o grau de tratamento dos esgotos brutos, de forma que o efluente a ser reusado tenha garantia de qualidade sanitária apropriada para tal fim.

A nível internacional prevalecem hoje duas abordagens distintas: uma que se fundamenta no conceito de “**risco potencial**” e uma outra que se fundamenta no conceito de “risco real”. Faz parte da “sabedoria popular” e da educação formal o conceito de que o contato com os esgotos implica riscos à saúde. Esta associação tem como base a ideia de “risco potencial”, ou seja, que a mera presença de microrganismos patogênicos nos esgotos está associada com sua transmissão e portanto põe em perigo a saúde da população (causa - efeito).” Este “risco potencial” se fundamenta, principalmente, nos dados do tempo de sobrevivência dos patógenos nas fezes, na água, nos solos e nas culturas (Blum e Feachem, 1985)

Há aproximadamente 30 doenças relevantes associadas com as excretas e com os esgotos. As mais relevantes para nossa região são apresentadas na Tabela 7.

**TABELA 7 - PATÓGENOS IMPORTANTES ASSOCIADOS COM AS EXCRETAS**

PATÓGENO	DOENÇA E SINTOMAS
<b>Vírus</b>	
• Enterovírus	
Polio-	Poliomielites, paralisia, meningite e febre.
Echo-	Diarréia, febre, meningite e outros.
• Hepatite A	Hepatites infecciosa.
<b>Bactérias</b>	
• <i>Campylobacter fetus</i> spp. <sup>1</sup>	Diarréia, vômitos
<i>Jejuni</i>	
• <i>Escherichia coli</i> patogênica	Gastroenterites (diarréia)

continua

continuação

• <i>Salmonella</i>	
<i>S. typhi</i>	Febre Tifóide

<sup>1</sup> Spp. Subespécies

<i>S. paratyphi</i>	Febre Paratifóide
Outras Salmonelas	Intoxicação alimentar e outras salmoneloses
• <i>Shigella</i> spp.	Shigellose (desintéria bacilar)
• <i>Vibrio</i>	
<i>V. cholerae</i>	Cólera
Outros vibrios	Diarréia
<b>Protozoários</b>	
• <i>Entamoeba histolytica</i>	Ulcerações do colon, desintéria amebiana, abscessos no fígado
• <i>Giardia lamblia</i>	Diarréia e mal absorção.
<b>Helmintos</b>	
Nematodes	
• <i>Ancylostoma duodenale</i>	Anemia
• <i>Necator americanus</i>	
• <i>Ascaris lumbricoides</i>	Distúrbios respiratórios, digestivos ou abdominais; obstrução intestinal.
• <i>Enterobius vermicularis</i>	Coceira anal
• <i>Strongyloides stercoralis</i>	Frequentemente assintomático, inflamação da pele; distúrbios pulmonares e abdominais.
• <i>Trichuris trichiura</i>	Frequentemente assintomático, fezes com sangue e diarréia.
Cestodes	
• <i>Hymenolepis nana</i>	Hymenolepiases
• <i>Taenia saginata</i>	Taeniases (frequentemente assintomático; distúrbios digestivos)
• <i>Taenia solium</i>	Taeniases (frequentemente assintomático; distúrbios digestivos); Cisticercoses <sup>2</sup> (distúrbios de olhos, coração, sistema nervoso central)

continuação

continuação

#### Trematodes

- *Schistosoma*

<sup>2</sup> Infecção com larva de *T. solium*, formação de cistos

<i>S. haematobium</i> <sup>3</sup>	Shistosomiases, bilharziases
<i>S. japonicum</i>	Desintéria, cirrose hepática
<i>S. mansoni</i>	

Fonte: Feachem e col, 1983 (adaptado).

## 2.4 - Aspectos Epidemiológicos da Transmissão de Patógenos

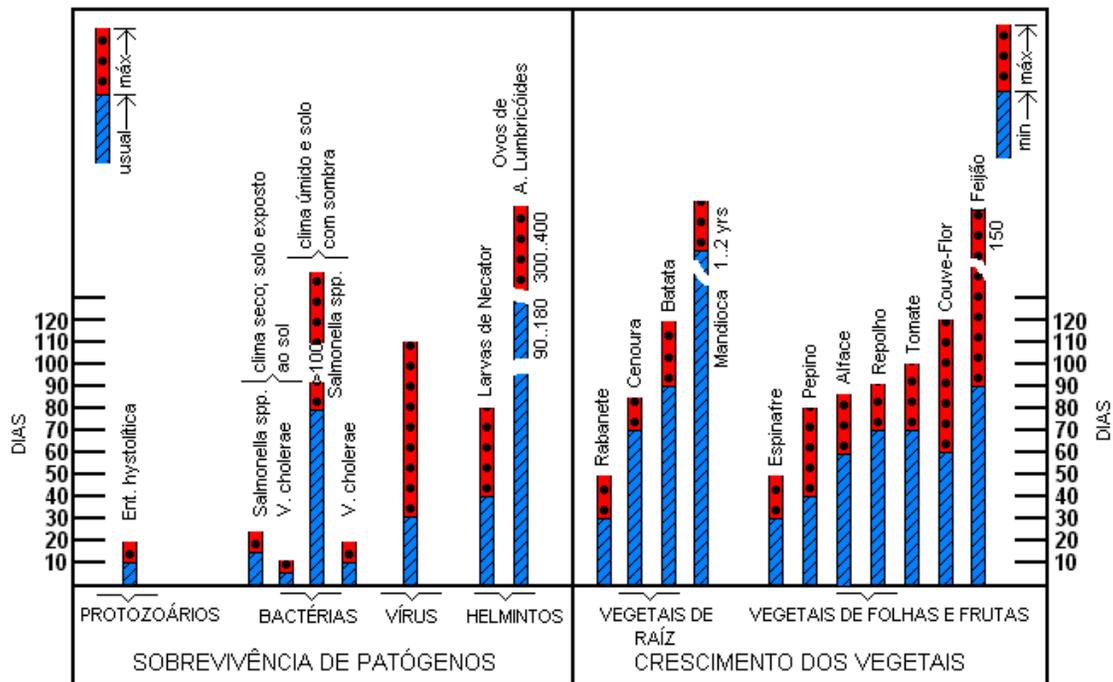
Com a finalidade de identificar ou se avaliar melhor os riscos reais, diversos pesquisadores recorreram à sistematização das principais características dos grupos de patógenos, tais como sua sobrevivência nos diferentes ambientes, associados com os tipos de culturas, sua capacidade de multiplicação, a existência de hospedeiros intermediários como animais, geração de imunidade, doses infeivas, etc.

No caso do reuso na agricultura, na avaliação do risco de contaminação é importante comparar o tempo de sobrevivência do patógeno com o tempo de duração do ciclo de crescimento do vegetal. Existirá um risco “real” se o tempo de sobrevivência supera o tempo de crescimento e de colheita da planta. As Figuras 2.1 e 2.2 mostram os tempos de sobrevivência de alguns patógenos em culturas e em solos e os períodos de crescimento de diferentes vegetais.

---

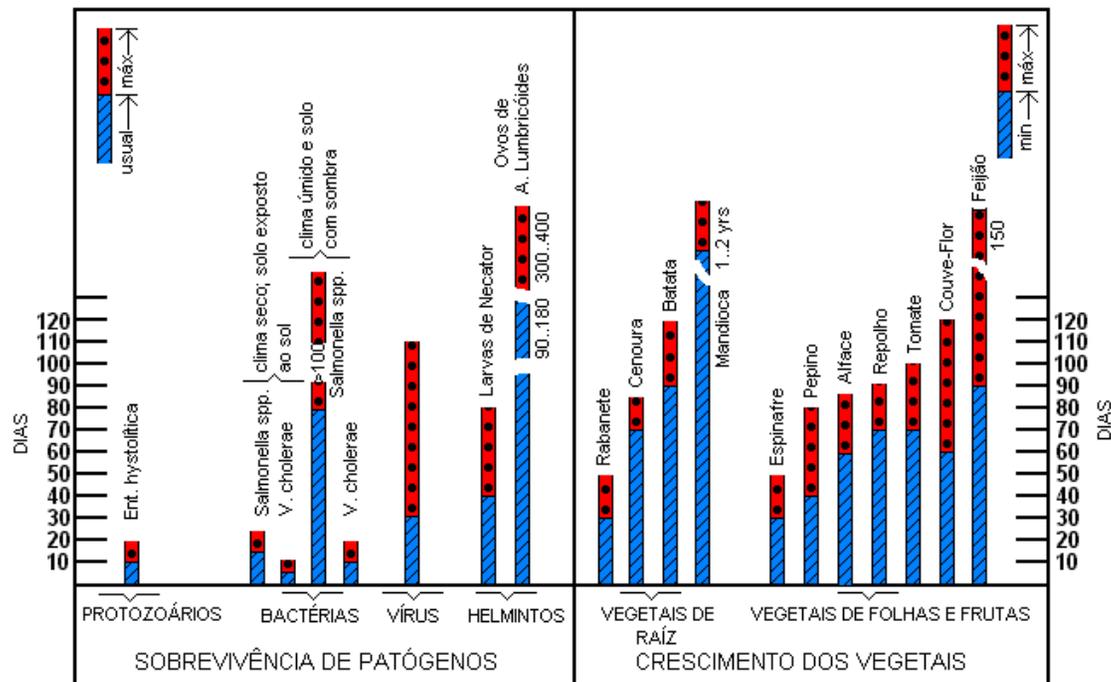
<sup>3</sup> Excretado em urina

**FIGURA 2.1. COMPARAÇÃO DO TEMPO DE SOVREVIVÊNCIA DE PATÓGENOS EM CULTURAS COM OS PERÍODOS DE CRESCIMENTO DE DIFERENTES VEGETAIS EM PAÍSES DE CLIMAS TEMPERADOS.**



Fonte: Strauss, 1985 citado por ICRWD,1985

**FIGURA 2.2 COMPARAÇÃO DO TEMPO DE SOVREVIVÊNCIA DE PATÓGENOS NO SOLO COM OS PERÍODOS DE CRESCIMENTO DE DIFERENTES VEGETAIS EM PAÍSES DE CLIMAS TEMPERADOS**



Fonte: Strauss, 1985 citado por ICRWD, 1985

A simples presença do patógeno nos esgotos que contaminam uma água ou um solo, não implica na sua imediata transmissão e na infecção de novos indivíduos.

Os conceitos modernos de epidemiologia e dados de campo de microbiologistas ambientais foram deixando de lado o “risco potencial”, e tornaram cada vez mais evidente a existência de um “risco real” de transmissão de patógenos associado com o reuso de esgotos somente quando se apresentam um conjunto de circunstâncias:

- 1) excreção de patógenos em números elevados (carga excretada), suficientes para constituir uma **dose infectiva (DI)\*<sup>4</sup>** que atinge a água, os campos e os vegetais, ou a **multiplicação** dos patógenos excretados no meio ambiente até alcançar concentrações de doses infectivas;
- 2) **persistência**: tempo suficiente de sobrevivência dos patógenos para preservar a dose infectiva até atingir um novo hospedeiro humano; isto significa resistência do patógeno aos fatores adversos do meio ambiente;
- 3) **características imunológicas** do novo hospedeiro humano, potencial “novo doente” o qual deverá ficar realmente doente, ou seja, deve ser um hospedeiro “susceptível”;

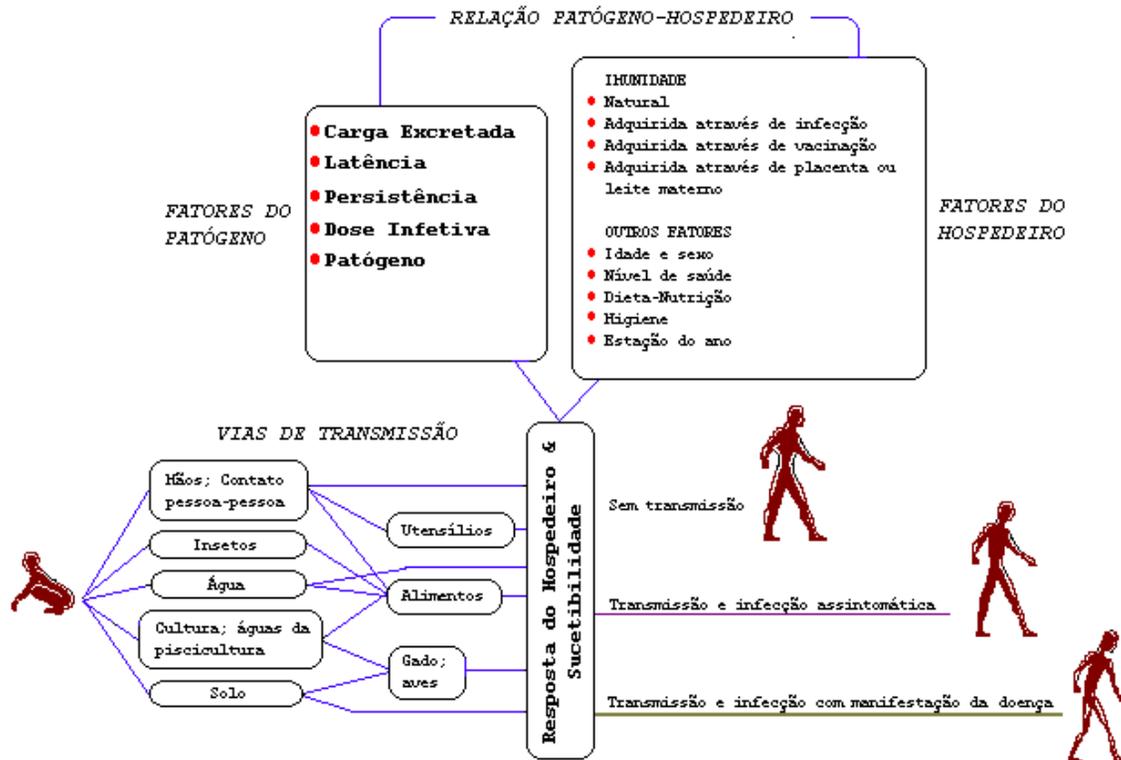
<sup>4</sup> Dose Infetiva (DI): quantidade média de microrganismos necessária para causar infecção. É determinada em voluntários humanos.

4) **transmissibilidade**: a infecção deve causar efetivamente a doença ou favorecer a sua transmissão posterior.

Pode-se inferir, que se não ocorrer transmissão posterior (item 4), então os itens (1), (2) e (3) também não ocorrerão, existindo, então, apenas um “risco potencial” e não “real” à saúde pública (IRCWD, 1985).

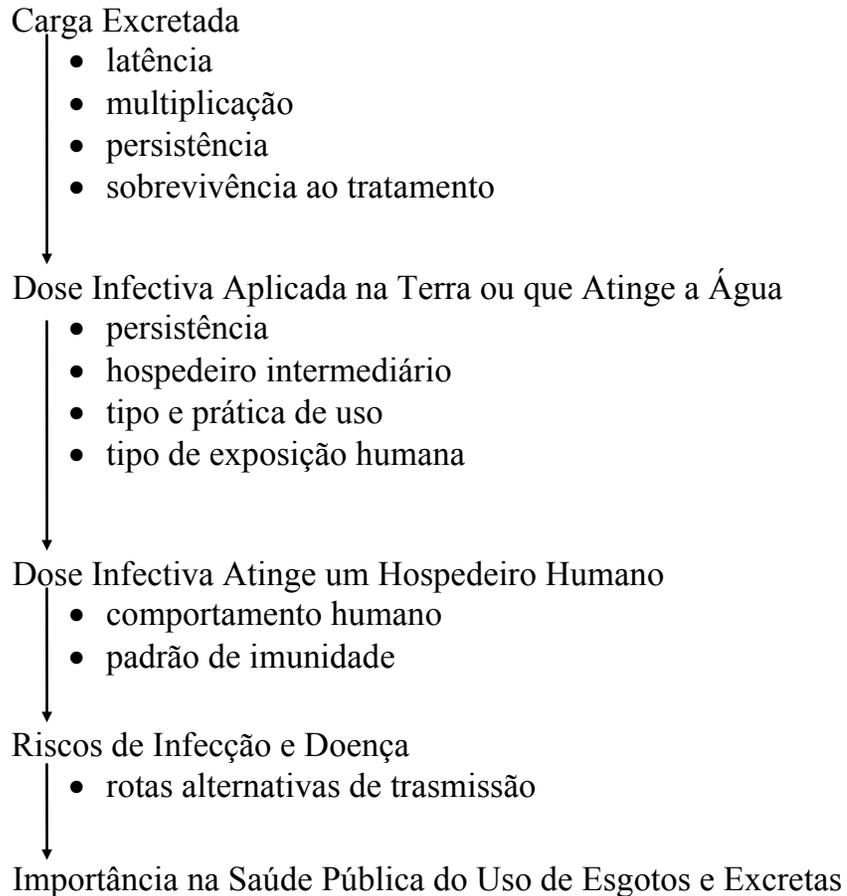
Os esquemas a seguir apresentam a seqüência de eventos supracitados:

**FIGURA 3.1. RELAÇÃO PATÓGENO-HOSPEDEIRO E POSSÍVEIS VIAS DE TRANSMISSÃO DE DOENÇAS RELACIONADAS COM AS EXCRETAS.**



Fonte:IRCWD, 1985.

**FIGURA 2.2 - FATORES QUE INFLUENCIAM A SEQUÊNCIA DE EVENTOS ENTRE A PRESENÇA DO PATÓGENO NAS EXCRETAS OU NOS ESGOTOS E A APARIÇÃO DE DOENÇAS HUMANAS ATRIBUÍVEIS AO USO DESSAS EXCRETAS E ESGOTOS.**



Uma vez que os patógenos são excretados com as fezes, sua tendência natural é morrer sob efeito dos fatores ambientais adversos, como altas temperaturas, efeito bactericida da luz solar, dessecação, competição por nutrientes e ação de predadores, entre outros. Ou seja, não todos apresentam **persistência** elevada. De forma semelhante, são poucos os que conseguem se **multiplicar no meio externo**, contribuindo para isso a presença de matéria orgânica, pH e temperaturas adequadas (pH em torno do neutro e temperaturas mesofílicas). Por outro lado, não todos os patógenos são infectivos quando excretados. Alguns, como diversos helmintos, tem um período de latência; isto significa que deverá transcorrer um certo tempo para que adquiram capacidade infectante ou de produzir a doença. Os ovos de *Ascaris lumbricoides*, por exemplo, devem passar aproximadamente 20 dias no solo sob condições de umidade, temperatura e sombreamento, para que o embrião se desenvolva no seu interior e ao ser ingerido, o ovo ecloda liberando-o e infectando o homem.

No caso dos esgotos serem submetidos a tratamento, deve-se analisar a capacidade de sobrevivência de cada tipo de patógeno em cada um dos métodos de tratamento aplicados.

Após superar este conjunto de condições, o número de patógenos sobreviventes (ou produzido por multiplicação) que chega ao corpo aquático, ao solo ou ao vegetal, deve ser igual ou superior à dose infectiva. Ou seja, que quanto mais elevada seja a dose infectiva, mais difícil é a transmissão da infecção por um determinado patógeno.

O conceito de “risco potencial” e a resposta de um “risco zero” por parte das autoridades de saúde levaram ao estabelecimento das primeiras normas e padrões para os efluentes a serem reusados na irrigação, os quais foram (e ainda são) altamente exigentes. Destacam-se os padrões do Estado de Califórnia (EUA), promulgados 50 anos atrás e ainda em vigência, que estabelecem ausência de microrganismos indicadores de contaminação fecal nas águas de irrigação (Tabela 8). Estas normas têm influenciado a diversos países ao redor do mundo, incluindo o Brasil.

**TABELA 8. QUALIDADE DA ÁGUA PARA REUSO NA IRRIGAÇÃO (CALIFORNIA, USA)**

Reuso em irrigação	Tratamento Primário (5)*	Tratam. Secund. e desinfecção (6)	Tratam. Coagulação, filtração e cloração (6)	Secund. e cloração	Nível de coliformes (7)
Forageiras	X	-	-		sem restrições
Graãos vegetais ingeridos crus	X	-	-		idem
irrigação superficial	-	X	--		2,2
irrigação por aspersão	-	-	X		2,2
<b>Produtos processados antes de ser ingeridos</b>					
irrigação superficial	X	-	-		sem restrições
irrigação por aspersão	-	X	-		23
<b>Parques e jardins</b>	-	X	-		23
<b>Uso recreacional restrito (8)</b>	-	X	-		2,2
<b>Uso recreacional não restrito</b>	-	-	X		2,2

Fonte: Ongerth e Ongerth (1982) citado por Strauss e Blumenthal, 1989.

(5) Sólidos Sedimentáveis:  $\leq 1,0$  mL/L/h.

(6) Turbidez:  $\leq 1,0$  UNT (unidades nefelométricas de turbidez)

(7) NMP/100 mL Número Mais Provável de bactérias indicadoras avaliado em **amostragens diárias**

(8) não permitido o uso para natação e outros esportes de mergulho.

Segundo estes padrões, baseados no conceito de risco “zero” a qualidade bacteriológica para irrigação irrestrita (vegetais a serem consumidos crus) deve ser de:

coliformes totais<sup>9</sup> \* < 2,2 NMP /100 mL,

Ou seja, igual que na água potável para consumo humano. Estas normas tiveram como referência microbiológica apenas a sobrevivência dos patógenos no ambiente aquático e no solo.

O uso de uma água extremamente limpa na irrigação resulta efetiva apenas na primeira etapa de eventos citados, pois evita a contaminação das culturas e do solo com os patógenos dos esgotos (Cairncross, 1993). Entretanto, pode haver fontes alternativas de contaminação (águas de lavagem sujas, contaminação direta do manancial com fezes, etc.).

Os patógenos que conseguiram atingir o corpo aquático, o solo ou um vegetal, devem passar novamente por uma série de eventos. A dose infectiva deverá ter um tempo de sobrevivência na água, no solo e nas culturas. Ou seja, novamente entra em consideração a persistência do patógeno, para assim poder atingir o novo hospedeiro. Considera-se que nas culturas, em particular de vegetais de folhas expostas, fatores ovicidas, bactericidas e virucidas como luz solar, altas temperatura e dessecação agem mais eficientemente. Na água, é importante resaltar novamente a importância do pH, dos predadores, da concentração de matéria orgânica, de substâncias tóxicas, etc. No solo, os fatores que influenciam na sobrevivência são semelhantes, além da umidade e do tipo de solo (argilosos, arenoso, etc). A Tabela 9 apresenta algumas características epidemiológicas de alguns grupos de patógenos.

Todavia, na água pode ocorrer que o patógeno precise de um hospedeiro intermediário, como ocorre com o *Schistosoma* spp. Os ovos deste parasito, ao serem depositados com as fezes no corpo de água, eclodem liberando miracídeos com curto tempo de sobrevivência (3-24 horas, em média 6 horas); é nesse período que devem encontrar seu hospedeiro intermediário, os caramujos do gênero *Biomphalaria* em cujo interior se transformam e multiplicam, liberando-se cercárias que são as formas infectivas para o homem. Estas tem uma sobrevivência de no máximo 3 dias, e caso não encontrem o hospedeiro humano, morrem. Ou seja, assim como a presença do hospedeiro intermediário tem uma função de multiplicação e transmissão do patógeno, sua simples ausência elimina a viabilidade de contágio. Outros hospedeiros intermediários são os porcos, que podem transmitir a *Taenia solium* e o gado, a *Taenia saginata* (Pereira Neves, 1988).

---

<sup>9</sup> **Coliformes totais:** grupo de bactérias presentes nas fezes do homem e de animais homeotermos, não patogênicas, consideradas indicadores potenciais de contaminação fecal ou por esgotos. Atualmente seu uso está restringido à avaliação bacteriológica de água potável tratada e das águas engarrafadas, pois muitas bactérias dos gêneros que compoem o grupo são também autóctonas do meio ambiente onde podem se reproduzir. São bastonetes Gram negativos, não esporulados, fermentadores da lactose com produção de ácido e gás a 37°C (APHA, 1995).

Influencia também na dispersão do patógeno o tipo de irrigação e sua frequência de aplicação. Irrigação localizada contaminará menos os vegetais que a irrigação por aspersão (Bastos e Mara, 1995a). Quando se conhece a qualidade microbiológica da água de irrigação, e esta for muito contaminada, pode-se manejar o tipo de cultura, ou seja, fazer restrição das culturas.

Os patógenos que estão nas águas de irrigação ou no solo poderão ou não alcançar o ser humano, pois essa transmissão depende do tipo e do tempo de exposição do homem. Os mais expostos são os agricultores, seguidos dos manipuladores e, finalmente, os consumidores. Pode-se considerar também como população bastante exposta, a constituída pelos habitantes situados próximos aos campos irrigados com águas contaminadas. Dados levantados por Shuval (1985) em comunidades onde se pratica o reuso, mostraram evidências limitadas da transmissão nas populações vizinhas através do contato com os próprios agricultores ou com os campos irrigados. Alguma transmissão à distância poderia ocorrer através dos aerossóis gerados pela irrigação por aspersão, entretanto se houver uma suspeita deste tipo, essa via de contágio é evitada mudando-se o método de irrigação; em relação às culturas contaminadas, pode-se diminuir o nível de patógenos se durante um certo período antes da coleta se substituir a irrigação com águas residuárias por águas de boa qualidade (Bastos e Mara, 1995a).

Considerando que uma dose infectiva alcance um hospedeiro humano, o estabelecimento da infecção depende das condições imunológicas deste hospedeiro, que o tornarão ou não susceptível (Blum e Feachem, 1985).

A Tabela 10 mostra o efeito de diferentes doses de bactérias patogênicas de veiculação hídrica em voluntários humanos.

Observa-se que em relação a *Salmonella typhi*, de 42 pessoas que ingeriram  $10^{10}$  organismos, 40 ficaram doentes (95%); de 32 que receberam  $10^7$ , adoeceram 16 (50%), de 116 que ingeriram  $10^5$ , apenas 32 (28%) ficaram doentes e de 14 que receberam  $10^3$ , nenhum ficou doente. Estes resultados evidenciam alguns dos outros fatores que influenciam no estabelecimento da infecção, destacando-se a virulência do patógeno e o nível de defesa imunológica do indivíduo. Pessoas saudáveis e submetidas a exposições prévias do patógeno são pouco susceptíveis. São mais susceptíveis, e constituem os principais grupos de risco os imunodeprimidos, os desnutridos, os doentes crônicos, as crianças e os idosos.

Infere-se destes resultados que não é necessário exigir alimentos sem nenhum microrganismo.

Por outro lado, ausência de microrganismos em ambientes aquáticos naturais (como são os usados na irrigação) é praticamente inviável, pois a contaminação ocorre por diferentes vias. Em particular, em ambientes poucos saneados, hábitos culturais como “defecar no mato” e o escoamento dos efluentes de fossas ou latrinas pelos terrenos provocam a contaminação das águas superficiais usadas para irrigação. A falta de proteção

dos manancias também colabora com a contaminação através das fezes de animais que bebem na fonte de água ou pastam nas suas proximidades.

**TABELA 10 - DOSES INFECTIVAS DE BACTÉRIAS ENTEROPATOGÊNICAS E RESPOSTAS DO HOSPEDEIRO**

Enteropatógenos./ Doses de Organismos Vivos	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>10</sup>
<i>Shigella dysenteriae</i>									
Cepa M131	1/10	2/4	7/10	5/6					
Cepa A-1		1/4		2/6					
<i>Shigella flexneri</i>						7/8	13/19	7/8	
Cepa 2 <sup>A</sup>		6/33	33/49	66/87	15/24				
Cepa 2AII				1/4	3/4				
<i>Salmonella typhi</i>									
Cepa Quailles			0/14		32/116		16/32	8/9	40/42
<i>Vibrio cholerae</i>									
Cepa Inaba									
Com NaHCO <sub>3</sub>				11/13		45/52		2/2	½
Sem NaHCO <sub>3</sub>				0/2		0/4	0/4	2/4	
<i>E.coli</i>									
<i>enteropatogenico</i>				0/5		0/5		4/8	
Cepa 4608									

Fonte: McJunkin, F.E.(1986), citado por Leon e Cavallini (1996)

Conclui-se então, que as melhores medidas sanitárias para dispor de uma irrigação sadia, qualquer que for a fonte de água, se referem à redução do número de patógenos no meio ambiente, através de medidas integradas que incluem desde o tratamento dos esgotos, à proteção das fontes de água e à educação sanitária (Leon e Cavallini, 1996).

Shuval (1985), na busca de evidências concretas de riscos reais e após intensiva revisão bibliográfica, concluiu que culturas irrigadas com esgotos brutos (esgotos não tratados), eram responsáveis por altas frequências de infecções por nematodes intestinais tanto nos consumidores como nos trabalhadores rurais em contato direto com as culturas, ou seja: a irrigação com esgoto bruto apresenta alto risco para a contaminação por helmintos; o risco médio correspondia às bactérias e o risco mais baixo aos virus. Este resultado é inferido da Tabela 9, que indica as doses infectivas (extremamente baixas para a maioria dos helmintos) e das Figuras 2.1. e 2.2, que mostram a sobrevivência dos diferentes microrganismos (destacando-se a longa sobrevivência de *Ascaris lumbricoides*) em relação às culturas. Shuval (1985) observou que a cólera e a febre tifóide poderiam ser transmitidas por vegetais irrigados com esgotos brutos. Entretanto, culturas irrigadas com esgotos tratados adequadamente não incrementavam os casos de infecções por helmintos em nenhum dos dois grupos de risco, assim como não havia registros de transmissão de cólera e febre tifóide nestes casos. Com relação aos pastos contaminados, as referências indicavam contaminação de gado com *Taenia saguinata* e de porcos com *Taenia solium* após pastagem em campos irrigados com esgotos brutos;

mas não foram encontradas evidências de contaminação humana. De fato, a contaminação humana ocorre quando se ingerem essas carnes infetadas mal cozidas.

Os resultados de Shuval (1985) indicando que nos países tropicais em desenvolvimento, são predominantes as doenças causadas por parasitos, seguidas pelas de origem bacteriana e por último as de origem viral permitem concluir que os métodos de tratamento de esgotos deveriam seguir essa ordem de prioridade na remoção de patógenos.

A tabela 11 mostra de forma resumida os riscos relativos de transmissão de patógenos ao reusar esgotos sem tratamento.

**TABELA 11 - RISCOS RELATIVOS AO USO DE EXCRETAS E ESGOTOS NÃO TRATADOS NA AGRICULTURA**

<b>Classe de Patógeno</b>	<b>Quantidades Relativas aos aumentos das Frequências de Infecção</b>
1. Nematodes Intestinais: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ascaris</i></li> <li>• <i>Trichuris</i></li> <li>• <i>Ancylostoma</i></li> <li>• <i>Necator</i></li> </ul>	Alto
2. Bactérias Intestinais: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diarréias Bacterianas (e.g. cólera, tifóide)</li> </ul>	Baixo
3. Vírus Intestinais: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diarréias virais</li> <li>• Hepatite A</li> </ul>	Muito Baixo
4. Infecções por Trematodes e Cestodes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• schistosomiase</li> <li>• chlonorchiose</li> <li>• teaniase</li> </ul>	Pode variar de alto a nulo, dependendo dos hábitos higiênicos com as excretas e esgotos.

Fonte: Blum e Feachem, 1985.

Nos anos 80, grupos de técnicos da Organização Mundial da Saúde e do International Reference Centre for Water Disposal (IRCWD) entre outros órgãos internacionais começaram a aceitar uma qualidade bacteriológica menos restritiva para o reuso. A seguir apresenta-se uma resenha da evolução desses padrões.

EVOLUÇÃO DOS PADRÕES DE QUALIDADE BACTERIOLÓGICA PARA REUSO EM IRRIGAÇÃO DE CULTURAS A SEREM CONSUMIDAS CRUAS.

#### **1948 - Departamento Estadual de Saúde do Estado de California.**

Concentração mínima de bactérias detectáveis pelo monitoramento de rotina:

< 2,2 NMP de coliformes totais/100 mL

patógenos: ausentes

(com base no risco ZERO)

#### **1971/1973 - OMS. Encontro de Técnicos**

Elabora-se o Reporte Técnico 517 (WHO, 1973), que recomenda um número máximo de

< 100 NMP de coliformes totais/100 mL em 80% das amostras analisadas num determinado período de tempo.

Esta concentração de coliformes era considerada a mais baixa possível de ser obtida sob condições de campo e atingível através da cloração cuidadosa e controlada dos efluentes tratados pelo método convencional.

A cloração de esgotos tratados ou não é um método caro e pouco confiável e difícil de manter sob controle. Em relação aos custos, Cairncross (1993) cita para a cidade de Amman (Jordania) o preço de US\$ 1.000 por dia. Em relação à sua eficiência, não sempre o cloro atinge o “core” das partículas em suspensão onde ficam adsorvidos e protegidos bactérias e vírus, tornando ineficiente o processo.

Outros inconvenientes são a formação de cloraminas e organoclorados em geral que podem causar câncer e doenças gastrointestinais.

O aumento do número de países que adotaram o reuso ao longo desta década não significou uma melhora simultânea na qualidade do esgoto utilizado, pois o cumprimento das recomendações da OMS, devido a seu alto custo, ficou restrito aos países industrializados e aos produtores de petróleo do Oriente Médio. Nos países em desenvolvimento se instalou o reuso clandestino.

#### **1980 - Foi uma década de grandes mudanças na forma de pensar.**

Houveram numerosos estudos financiados pelo Banco Mundial, a OMS e o IRCWD. Foram iniciados projetos de avaliação do “risco real” na transmissão de doenças, abrangendo aspectos sócio-culturais no manejo das excretas, levantamentos dos estudos de sobrevivência de patógenos em excretas e lodos e avaliados os comportamentos destes patógenos no solo, em culturas e em tanques de criação de peixes enriquecidos com excretas. Conceitos modernos de epidemiologia e de microbiologia ambiental contribuíram para evidenciar que o “Risco Zero” era desnecessário além de impraticável.

#### **1985 - Reunião de Engelberg, Suíça, organizada pelo Banco Mundial, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), a OMS e o IRCWD.**

Elaboram-se as Guias de Engelberg para o reuso de esgotos e excretas na agricultura e aquicultura (IRCWD, 1985).

Baseado numa abordagem epidemiológica, passou-se a recomendar o valor:

< 1.000 NMP (UFC)\*<sup>10</sup> coliformes fecais<sup>11</sup>/100 mL.  
≤ 1 ovo viável/L de nematoide.

**1987 - 1989. Grupo Científico da OMS aceita as recomendações de Engelberg e do IRCWD (1988) para o reuso irrestrito de esgotos tratados (WHO, 1989):**

coliformes fecais ≤ 1000 NMP/ 100 mL  
≤ 1 ovo viável de helminto

Nestas novas recomendações observa-se um relaxamento significativo, aceitando-se um padrão 10 vezes menos restritivo. Devem ser destacados quatro aspectos destas novas diretrizes:

- (a) o fator **10 vezes** menos exigente;
- (b) o valor de 1.000 coliformes fecais/100 mL refere-se a **média geométrica** de um conjunto de dados obtidos num período de tempo; enquanto anteriormente se referia a um **valor máximo** de 100 NMP/100 mL.
- (c) o indicador recomendado atualmente é o grupo dos **coliformes fecais**, que indicam com maior segurança a contaminação fecal; anteriormente aceitavam-se **coliformes totais**, que sabe-se hoje são de interpretação duvidosa por existirem vários gêneros de origem ambiental e que inclusive multiplicam-se no meio ambiente.
- (d) incorpora-se um **indicador de helmintos**, sendo escolhido o *Ascaris lumbricoides*, devido à elevada persistência de seus ovos no solo e nas culturas. A exigência de menos de um ovo de helminto viável significa aplicar nos esgotos brutos tratamentos que eliminem 99,9% dos ovos presentes. Para obter essa porcentagem de remoção são necessários tempos prolongados de detenção hidráulica dos esgotos dentro do reator, de modo que ocorra uma decantação efetiva, já que a sedimentação é o principal mecanismo de eliminação de helmintos nos sistemas biológicos de tratamento. No processo, são simultaneamente eliminados protozoários como a *Entamoeba histolytica* e a *Giardia lamblia*.

---

<sup>10</sup> NMP/100 mL: Número Mais Provável/100 mL de amostra - nomenclatura aplicada quando a quantificação de microrganismos é feita com meios de culturas líquidos utilizando-se a técnica de tubos múltiplos. UFC/100 mL: Unidades Formadoras de Colônias/100 mL - nomenclatura aplicada quando a quantificação é feita em meio sólido através da visualização a olho nú das colônias dos microrganismos.

<sup>11</sup> **Coliformes fecais:** constituem um subgrupo dos coliformes totais, caracterizados pela termotolerância (crescem e fermentam a lactose a 44,5 + ou - 0,5°C). Atualmente são considerados indicadores universais de contaminação fecal (APHA, 1995). As recomendações da OMS atualmente em vigência referem-se, para uso irrestrito em irrigação, uma concentração de menos de 1.000 coliformes fecais NMP ou UFC/100 mL de água.

Dentre os argumentos analisados para aceitar o padrão bacteriológico 10 vezes menos restritivo, destacam-se os seguintes:

- (a) a maioria dos rios e lagos atualmente usados em numerosas partes do mundo para irrigação apresentam concentrações de coliformes fecais iguais ou superiores a 1.000 coliformes fecais/100 mL (Tabela 12);
- (b) a maioria dos países aceitam o valor limite de 1.000 coliformes fecais /100 mL para balneabilidade, ou seja, se o corpo pode ficar mergulhado num ambiente com esse teor de coliformes, porque não poderia-se usar esse mesmo valor para irrigação irrestrita?.

Todavia, os eventuais patógenos que contaminassem as culturas irrigadas estariam sujeitos aos vários fatores bioicidas naturais (luz solar, alta temperatura, dessecação).

**TABELA 12 - COLIFORMES FECALIS EM RIOS DE  
DIFERENTES PARTES DO MUNDO**

Nº de coliformes fecais por 100mL	Nº de rios em cada região			
	América do Norte	América Central e do Sul	Europa	Ásia e o Pacífico
< 10	8	0	1	1
10-100	4	1	3	2
100-1.000	8	10	9	14
1.000-10.000	3	9	11	10
10.000-100.000	0	2	7	2
> 100.000	0	2	0	3
Número total de rios	23	24	31	32

Fonte: Leon e Cavallini, 1996.

A seguir são apresentados algumas normas e padrões de qualidade microbiológica de águas referentes a vários países.

A Tabela 13 mostra as recomendações microbiológicas para o uso de esgotos na agricultura segundo a organização Mundial da Saúde (WHO, 1989)

**TABELA 14 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DOCES DO TERRITÓRIO NACIONAL SEGUNDO SEUS USOS. ASPECTOS BACTERIOLÓGICOS (RESOL. CONAMA Nº 20 - 18/06/86)**

<b>Classe de Água</b>	<b>Usos</b>	<b>Padrão Bacteriológico</b>
Especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção;</li> <li>• preservação do equilíbrio das comunidades aquáticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• coliformes totais ausentes de qualquer amostra se for usada para abastecimento sem prévia desinfecção.</li> </ul>
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• irrigação de hortaliças a serem consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes do solo e são ingeridas sem remoção de película;</li> <li>• agricultura;</li> <li>• recreação de contato primário*</li> <li>• abastecimento doméstico após tratamento simplificado.</li> </ul>	<p>Não devem ser poluídas por excrementos humanos - ressalta-se a necessidade de inspeções sanitárias periódicas.</p> <p>Para os demais usos:  <math>\leq 200</math> coliformes fecais ou <math>\leq 1000</math> coliformes totais /100mL em 80% de 5 amostras mensais</p>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• irrigação de hortaliças e plantas frutíferas</li> <li>• agricultura</li> <li>• recreação de contato primário*</li> </ul>	$\leq 1000$ coliformes fecais ou $\leq 5000$ coliformes totais/100mL em 80% de 5 amostras mensais
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras</li> <li>• abastecimento doméstico após tratamento convencional</li> <li>• dessedentação de animais</li> </ul>	$\leq 3000$ coliformes fecais ou $\leq 20000$ coliformes totais/100mL de 80% de 5 amostras mensais
IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• usos menos exigentes</li> <li>• harmonia paisagística</li> <li>• navegação</li> </ul>	sem limites

\* Para recreação de contato primário:  $\leq 1000$  coliformes fecais/100mL ou  $\leq 5000$  coliformes totais/100ml

Na França, os padrões para reuso irrestrito são mais tolerantes, aceitando-se:

coliformes termotolerantes  $\leq 10^4$  NMP (UFC)/ 100 mL

ovos de helmintos  $\leq 1$  ovo/L.

Resultados de diversas pesquisas que sugerem fortemente que as recomendações da OMS são viáveis no reuso irrestrito. Essa qualidade microbiológica de  $\leq 1.000$  coliformes fecais/100 mL e  $\leq 1$  ovo viável de helminto (*A.lumbricoides*) é obtida tratando os esgotos em lagoas de estabilização com tempos de detenção hidráulica entre 10 e 25 dias. Neste sistema de tratamento, a longa permanência dos esgotos nos reatores permite a decantação da maioria dos ovos de helmintos e a destruição dos cistos de protozoários; o longo tempo de detenção favorece também a ação sinérgica do conjunto de fatores bactericidas e virucidas (pH elevado, toxicidade do oxigênio, toxinas das algas, luz solar, etc).

Bastos e Mara(1995,a, b) citam varios trabalhos que utilizaram esgotos tratados por lagoas de estabilização atingindo as recomendações da OMS, e usando-se aspersão, onde não foram detectados parasitos nas verduras irrigadas. Os próprios autores utilizaram efluentes de lagoas de estabilização com qualidade levemente inferior à recomendada ( $1,7 - 5,0 \times 10^3$  UFC/100 mL e salmonelas 0,1 -0,3 NMP/100 mL) para irrigar alfaces e rabanetes por sulcos e por gotejamento obtendo vegetais com um máximo de  $10^3$  a  $10^4$  coliformes fecais/100 mL; estes valores, bem mais altos que os padrões estabelecidos para a comercialização de verduras, eram semelhantes aos detectados nas verduras vendidas nas feiras e mercados. Resultados semelhantes foram obtidos no Brasil e são citados a posteriori. Desde o ponto de vista prático, diferentes autores mostraram que a lavagem das alfaces com água potável clorada elimina mais de 90% das bactérias presentes (Christovão e col, 1967a).

### **3 - O SANEAMENTO BÁSICO NA AMÉRICA LATINA.**

Embora nos países desenvolvidos a morte infantil por diarreias esteja praticamente eliminada, devido aos altos padrões de saneamento básico (serviços de água tratada e clorada, rede coletora e sistemas avançados de tratamento de esgotos para a imensa maioria da população) que permitiram atingir valores extremamente baixos de contaminação, nos países subdesenvolvidos continua sendo uma das principais causas de morte. Estima-se que a nível mundial, as doenças diarreicas matam, por ano,  $5 \times 10^6$  de pessoas, na sua maioria crianças menores de 5 anos (Snyder e Merson, 1982), registrando-se entre 70% a 80% dos casos nos países menos desenvolvidos.

Na América Latina e no Caribe, menos de 49% da população tem rede de esgotos, coletando-se um volume estimado em  $40 \times 10^6$  m<sup>3</sup> /dia. Deste, apenas 10% recebe algum tipo de tratamento, o restante é descarregado nos corpos receptores como córregos, rios e lagos. A jusante das descargas, estas águas são usadas como mananciais de água potável,

para irrigação irrestrita, para dessedentação de animais, etc. Muitos destes corpos de água tem concentrações de coliformes fecais que superam os 1.000 NMP /100 mL recomendados pela OMS (Ceballos e col, 1995a).

Por outro lado, apenas 50% da população latinoamericana é beneficiada com água tratada e desinfetada (Leon e Cavallini, 1996). São endêmicas as diarreias de origem viral, bacteriana e por protozoários - cólera, shigeloses, salmoneloses, a febre tifóide, giardiases, amebíases e parasitos (Trabulsi e col, 1985). A mortalidade infantil para crianças menores de 1 ano varia entre 0,5 e 9%; a morbidade, embora difícil de quantificar, pode ser ilustrada com uma média de 4 episódios de diarreia por criança por ano (Leon e Cavallini, 1996).

No Brasil, dados do IBGE (Bio, 1993) reunidos entre 1989 e 1992 em 4.425 municípios brasileiros, mostraram que apenas 47% dos esgotos são coletados através de redes e, destes são tratados 8%, pelo menos com decantação primária. No Nordeste, a coleta de esgotos abrange somente 26% dos municípios dos quais, 4% recebem algum tratamento. Na Paraíba, apenas 12,8% da população tem sistemas de esgotamento sanitários, e são poucas as estações de tratamento de esgotos que funcionam efetivamente, lançando no meio ambiente águas de elevada contaminação fecal. A taxa oficial de mortalidade infantil é de 6,8% e a vida média na região em 1991 foi calculada em 51,2 anos (CABES, 1994).

O reuso clandestino direto (aplicação direta de esgotos brutos ou tratados ) ou indireto (uso de águas superficiais contaminadas com esgotos ou excretas) ocorre em diversas partes do mundo e, é um fato na America Latina. Segundo CEPIS (Leon e Cavallini, 1996) , no México 350.000 ha são irrigados com águas residuárias praticamente brutas; dados de 1965 mostraram contaminação fecal em 85% dos canais de Xochimilco em concentrações de 7 a 50 vezes superiores ao permitido pela legislação (Rosas e col, 1965). No Peru existem registros de agricultores que quebram as tubulações de esgotos e os desviam para seus campos; atualmente na costa desértica há mais de 4.000 ha irrigados com esgotos. Existem registros de irrigação com águas contendo mais  $10^4$  coliformes fecais /100 mL e 1.0 salmonella/100 ml (Leon e Cavallini, 1996).

No Brasil, há dados de inúmeros córregos, rios e lagos com águas contaminadas usados na irrigação irrestrita. Bastos e Perin (1995c), analisando a qualidade bacteriológica de três cursos de água usados para irrigação em Viçosa, encontraram teores de coliformes fecais entre  $1,5 \times 10^3$  e  $1,8 \times 10^4$  NMP/100 mL e presença de salmonelas em várias das amostras, inclusive em algumas com menos de  $10^3$  coliformes fecais/100 mL; comparando com os resultados experimentais da irrigação com esgotos tratados contendo  $1,7 - 5,0 \times 10^3$  UFC/100 mL e salmonelas 0,1 -0,3 NMP/100 mL acharam que o uso do padrão de  $10^3$  coliformes fecais/100 mL em esgotos apresentava maior confiabilidade sanitária que o uso das águas superficiais devido às evidencias do reuso indireto através dos córregos contaminados com águas residuárias não tratadas.

Em São Paulo, numerosos trabalhos (Bonilha, 1986) evidenciaram que as águas usadas para irrigação de hortaliças estavam fora dos padrões. Em 1944 foi registrada uma

epidemia de febre tifóide com 171 casos e 23 óbitos, devido ao uso de águas contaminadas na irrigação e na lavagem de hortaliças; Christovão e col. (1967a,b) quantificaram densidades de 1.151 *E.coli* e 63.484 coliformes fecais /100 mL em águas de irrigação de hortaliças, junto com enterovirus, *Salmonella* spp. e *Shigella* spp. Em Natal, águas de 10 hortas destinadas a irrigação irrestrita apresentaram 8.770 e 137.100 coliformes fecais /100mL; em águas de irrigação de Araraquara, foram isolados cistos de amebas (*E.histolytica*) e ovos de *Ancilostoma duodenale*; em Riberão Preto, diversos enteroparasitos foram identificados em córregos destinados a irrigação (citados por Bonilha, 1986).

Na Paraíba, esgotos sem tratamento ou parcialmente tratados são descarregados em rios e córregos. Em Sapé, a ETE apresenta uma vazão afluyente de 11L/s de esgotos contendo em média  $4,6 \times 10^5$  coliformes fecais /100 mL, parte é usado na irrigação de batatas e verduras, e parte é descarregado num riacho que é represado a jusante; a represa formada é de uso múltiplo (Ceballos e col, 1995 a, b). Em Campina Grande, riachos como o de Bodocongó, que forma parte do sistema de macrodrenagem urbano da cidade e que é usado para irrigação em vários pontos de seu percurso, apresenta nas suas nascentes teores de coliformes fecais de  $10^7$  -  $10^6$  UFC/100 mL devido a contaminação por descargas de fossas sépticas, e não se autodepura ao longo dos aproximadamente 18 km que percorre até chegar ao Bairro da Catingeira, onde recebe os esgotos da Estação de Tratamento de Esgotos contendo coliformes fecais na ordem de  $10^6$  UFC/100 mL (Ceballos e col, 1993a). A jusante desta descarga, o rio é usado para irrigar plantações de tomate, feijão e capim elefante. Estudos feitos durante a epidemia de cólera confirmaram a presença de *Vibrio cholerae* nestas águas (Ceballos e col, 1993b). Açudes utilizados para a pesca estão fora dos padrões brasileiros apresentando concentrações de coliformes bem mais altos que os  $10^3$  UFC/100 mL preconizados pela OMS (Ceballos, 1995).

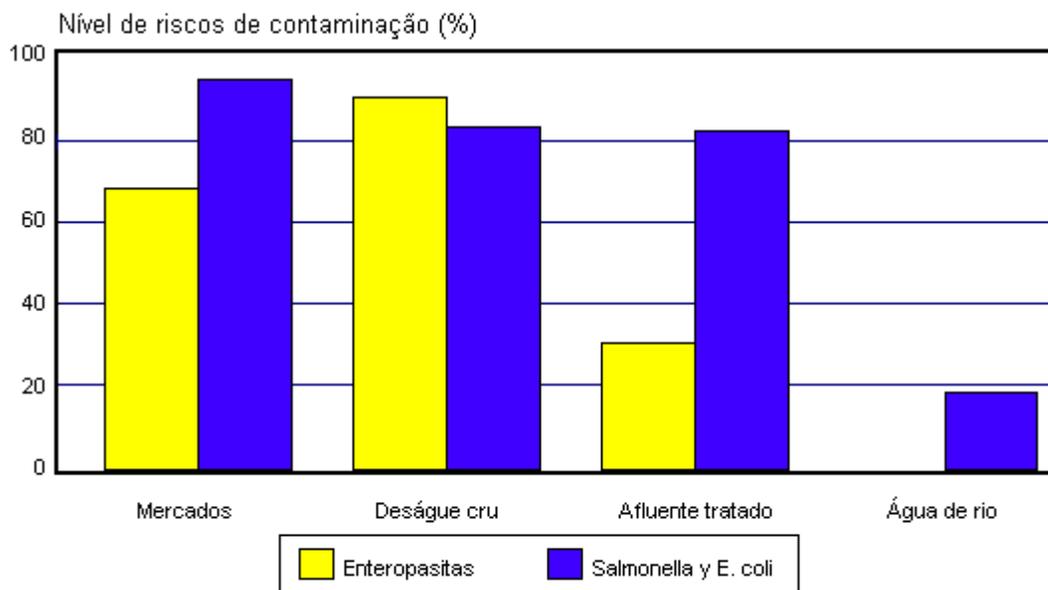
Pode-se concluir que no Brasil, como no resto da America Latina o reuso existe, sendo bastante freqüente o de tipo indireto. Deve-se observar que este é altamente perigoso, pois, por não ser conhecido o nível de contaminação (e às vezes é até desconhecida a existência da contaminação) dos córregos e lagos, se faz uso generalizado e incontrolado da água.

A proposta do reuso de águas residuárias é justamente, o de conhecer perfeitamente o nível de contaminação das águas a serem reusadas, de forma a estabelecer medidas adequadas de proteção e tecnologias de irrigação apropriadas, tendentes a minimizar os impactos negativos.

É interessante registrar a qualidade de algumas culturas irrigadas com águas de diferentes condições microbiológicas. A figura a seguir mostra resultados do CEPIS em Peru e apresentado por Leon e Cavallini (1996).

FIGURA 4

## NÍVEL DE CONTAMINAÇÃO DE PRODUTOS IRRIGADOS COM DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA



CEPIS - OPS (1990)

Observa-se que 91% dos produtos irrigados com águas residuárias brutas estavam contaminados com enteroparasitos e 82% com *Salmonella* spp e *Escherichia coli*. Com o efluente tratado, a porcentagem foi menor: 30% com enteroparasitos e 80% com *Salmonella* sp e *E.coli*. Os produtos irrigados com água de rio apenas apresentaram 18% das amostras contaminadas. Ou seja que através do tratamento pode-se atingir padrões apropriados de águas para irrigação. E interessante destacar que os produtos vendidos nos mercados apresentavam níveis de contaminação elevados (70% com enteroparasitos e 95% com *Salmonella* sp e *E.coli*). sugerindo que (1) as águas de irrigação são de péssima qualidade , (2) que há contaminação elevada durante o transporte e a exposição do produto a venda, até chegar as mãos do consumidor (3) que ocorrem ambos. Ou seja, que outros fatores, além da água de irrigação, intervem na qualidade bacteriológica final do produto comercializado. Resultados semelhantes foram obtidos em experimentos em Evora, Portugal (Tabela 17).

As duas tabelas seguintes apresentam dados de uma localidade do cinturão verde de Campina Grande, Paraíba.

**TABELA 15 - VALORES DE COLIFORMES FECAIS EM ALFACES COLETADAS NAS HORTAS E EM ALFACES COMERCIALIZADAS EM FEIRAS LIVRES (LAGOA SECA E SAPÉ, PB - PERÍODO DE CHUVA, 1996)**

	<b>Hortas (NMP/g)</b>	<b>Feira (NMP/g)</b>
<b>Alface (Lagoa Seca)</b>	8,4 x 10 <sup>3</sup> (113-1,2 x 10 <sup>5</sup> ) 1,1 x 10 <sup>3</sup> 16	-----
<b>Alface (Sapé)</b>	1,1 x 10 <sup>4</sup> (45-9,7 x 10 <sup>4</sup> ) 386 11	-----
<b>Alface (todas Hortas)</b>	9,5 x 10 <sup>3</sup> (45-1,2 x 10 <sup>5</sup> ) 567 27	1,3 x 10 <sup>4</sup> (340-6,8 x 10 <sup>4</sup> ) 7,3 x 10 <sup>3</sup> 11

Fonte: Barros e col, 1996

**TABELA 16 - VALORES DE COLIFORMES FECAIS PARA O PERÍODO DE CHUVAS NAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO E NOS SOLOS DAS HORTAS COM CULTURAS DE ALFACE (LAGOA SECA E SAPÉ, PB)**

<b>Hortas</b>	<b>Lagoa Seca</b>	<b>Sapé</b>
<b>Água (UFC/100mL)</b>	1,4 x 10 <sup>4</sup> (1,0 x 10 <sup>2</sup> -1,3 x 10 <sup>5</sup> ) 2,0 x 10 <sup>3</sup> 11	4,6 x 10 <sup>3</sup> (6,0 x 10 <sup>2</sup> -2,6 x 10 <sup>4</sup> ) 2,1 x 10 <sup>3</sup> 10
<b>Solo (NMP/g)</b>	1,2 x 10 <sup>4</sup> (45-2,9 x 10 <sup>4</sup> ) 1,1 x 10 <sup>3</sup> 16	6,8 x 10 <sup>3</sup> (45-5,4 x 10 <sup>4</sup> ) 749 11

Fonte: Barros e col, 1996.

Observa-se que além das águas de irrigação, o solo tem forte influência na qualidade das alfaces. Por outro lado, as vendidas no mercado têm qualidade semelhante a produzida nos sítios. Trabalhos complementares mostraram que o estrume também contribui com a contaminação fecal das alfaces; tendo-se detectado teores de coliformes fecais entre 10<sup>4</sup> - 10<sup>5</sup> NMP/g de estrume.

**TABELA 17 - SOBREVIVÊNCIA DE BACTÉRIAS FECAIS EM ALFACES IRRIGADAS POR ASPERSÃO COM EFLUENTE DE FILTRO BIOLÓGICO E COMPARADAS COM ALFACES DOS MERCADOS (EVORA, PORTUGAL, JUNHO/JULHO, 1986)**

Tempo após última irrigação (dia)	Count./100g (peso seco)		
	Coliformes	Coliformes Fecais	Salmonella spp
0	$4,3 \times 10^7$	$4,8 \times 10^6$	187
3	$1,7 \times 10^6$	$2,1 \times 10^5$	86
5	$2,2 \times 10^6$	$1,9 \times 10^4$	0
7	$2,4 \times 10^6$	$4,5 \times 10^3$	0
11	$2,1 \times 10^6$	$7,7 \times 10^2$	0
Alfaces do Mercado	$1 \times 10^7$	$1 \times 10^6$	0

media geométrica para 172 amostras

Fonte: Vargas e Mara, 1987.

Nesta tabela, observa-se que os teores de coliformes de alfaces irrigadas com esgoto tratado apresentam contaminação fecal bastante aproximada a das alfaces dos mercados. O resultados sugerem que (a) as alfaces do mercado foram irrigadas com água de péssima qualidade bacteriológica; (b) se foram irrigadas com águas de boa qualidade se contaminaram durante o transporte e o manuseio, até chegar às prateleiras (c) foram irrigadas com águas contaminadas e, ainda, contaminadas no transporte e por manuseio.

Conclusões semelhantes referentes às condições precárias de transporte foram obtidas por Franco e Hoefel (1983) em amostras de alfaces coletadas na CEAGESP e as coletadas 24 horas depois nas feiras livres da cidade de São Paulo: as alfaces das feiras apresentavam contaminação até 10 vezes superior às da CEAGESP.

Qualquer que seja a situação, a verdade é que ao consumidor final chega uma verdura de elevada contaminação. Torna-se, então, pertinente a pergunta: porque não irrigar com esgotos tratados com as devidas precauções de manejo?

Segundo Cairncros (1993) para a prática de um reuso seguro, as medidas de proteção à saúde podem ser reunidas em 4 grupos:

- (1) tratamento dos esgotos
- (2) restrição das culturas
- (3) escolha dos métodos de irrigação
- (4) controle da exposição humana à infecção

Em consequência, para que o reuso seja viável, aproveitando-se os melhores aspectos desta prática, evitando-se a disseminação de doenças de veiculação hídrica, deve-se proceder de forma controlada, tentando eliminar o reuso clandestino e o indireto

(proteção das águas superficiais) e estabelecendo-se um reuso oficial, com medidas de manejo.

É fundamental o uso de esgotos tratados na irrigação, e segundo o grau de tratamento do efluente deverá ser feita a restrição das culturas; também deverão ser definidas *a priori* as técnicas de irrigação. Em outras palavras, para que o reuso seja viável é fundamental a Gestão Integrada Das águas Residuárias considerando estas águas como um produto tecnológico, de reaproveitamento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18. ed. EPA, 1995. 1155p.

ARNT, R. Clara água, cara água. **Revista Super Interessante (5)**, p. 48-55; 1995.

BARROS, A.J.M.; MISHINA, S.V.; FIRMINO, P.T.; KONIG, A.; CEBALLOS, B.S.O. Influência do solo fertilizado e das águas de irrigação na qualidade sanitária de alfaces. **V Encontro Nacional de Microbiologia Ambiental, Fortaleza, Brasil, Resumos**, p. 80, 1996.

BASTOS, R.X.K. e MARA, D.D. The bacterial quality of salad crops drip and furrow irrigated with waste stabilization pond effluent: an evaluation of the WHO guidelines. **Water Science and Technology**, 30/31 (12): 425-430. 1995a .

BASTOS, R.X.K. e MARA, D.D. The practice of discontinuing wastewater irrigation as an additional safety factor in reducing potencial health risks. **Proceedings of the 3rd IAWQ Specialist Conference on Waste Stabilization Ponds**. João Pessoa, Brasil. 1995b.

BASTOS, R.X.K. e PERIN, C. Qualidade das Águas Superficiais para Irrigação. Uma Avaliação dos Padrões Vigentes e do Emprego de Organismos Indicadores de Contaminação. **Anais do 18º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)**, 1995c.

BIO. Números do IBGE. **Rev. BIO, ABES**, Ano V (1): 4 -7, 1993.

BLUM, D. e FEACHEM, R.G. Health Aspects of Nigthsoil and Sludge Used in Agriculture and Aquaculture. Part III: An Epidemiological Perspective. Report N° 05/85. Duenbendorf, Switzerland. International Reference Centre for Waste Disposal, 1985.

BONILHA, P. R. M. **Microrganismos Indicadores de Contaminação Fecal e Enteropatogênicos em Hortaliças e suas Águas de Irrigação**, São Paulo, 1986. 81p. [Dissertação de Mestrado da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo].

CABES. **Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Guia do Saneamento no Brasil - 1992/1993**. ABES, 1994. 200 p.

CAIRNCROSS, S. Control of Enteric Pathogens in Developing Countries. In: **Environmental Microbiology**. Ed: Ralph Mitchell. Wiley - Liss, New York, 1993. 410 p.

CEBALLOS, B. S. O. **Utilização de Indicadores Microbiológicos na Tipologia de Ecossistemas Aquáticos do Trópico Semi-Árido**, São Paulo, 1995. 192p. [Tese de Doutorado do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo].

CEBALLOS, B.S.O. de; NÓBREGA, C.C.; KÖNIG, A.; ARAÚJO, A.M. Indicadores Biológicos na Caracterização da Autodeparação de um Corpo Aquático Lótico no Nordeste do Brasil. Riacho de Bodocongó **Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)**, Tomo III, pp.: 557-568; 1993a.

CEBALLOS, B.S.O. de; GARCIA, D.; PAZ, M.C.F.; CASTRO, L.; KÖNIG, A. Aspectos Sanitários de um Sistema de Drenagem Urbano e a Disseminação de *Vibrio cholerae* 01. **Resumos XVII Congresso Brasileiro de Microbiologia**. p. 32; 1993b.

CEBALLOS, B.S.O. DE; LIMA, E.O. DE; KÖNIG, A.; MARTINS, M.T. Spatial and Temporal Distribution of Fecal Coliforms, Coliphages, Moulds and Yeasts in Freshwaters at the Semiarid Tropical Northeast Region in Brazil (Paraíba State). **Revista Brasileira de Microbiologia** **26 (2):90-100**; 1995a

CEBALLOS, B.S.O. de; KÖNIG, A.; LOMANS, B.; ATHAYDE, J.G.B.; PEARSON, H.W. Evaluation of a Tropical Single - Cell Waste Stabilization Pond Irrigation. **Wat. Sci. Tech.** **31 (12):267 - 273**, 1995 b.

CHRISTOVÃO, D.A.; IARIA, S.T. e CANDEIAS, J.A.N. Condições Sanitárias das Águas de Irrigação de Hortas do Município de São Paulo I. Determinação da Intensidade da Poluição fecal através do NMP de coliformes fecais e *E.coli*. **Rev. de Saúde Pública**, 1:3 - 11, 1967.

CHRISTOVÃO, D.A.; IARIA, S.T. e CANDEIAS, J.A.N. Condições Sanitárias das Águas de Irrigação de Hortas do Município de São Paulo II. Isolamento de Vírus Entéricos **Rev. de Saúde Pública**, 1: 12 - 17, 1967.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20 de 18 de Junho de 1986. In: **Legislação de Conservação da Natureza**, 4ª ed., São Paulo, FBCN/CESP, 720p.

DE OLIVEIRA, R. **The Performance of Deep Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil**. Leeds, Reino Unido, 1990. 210 p. [PhD Theses - Department of Civil Engineering, Universidade de Leeds, Leeds, U.K].

EHRlich P.R.; EHRlich A.H. **População, Recursos, Ambiente. Problemas de Ecologia Humana**. São Paulo, Polígono, 1974, 509 p.

FRANCO, B.D.G.M. e HOEFEL, J.L.M. Coliformes totais, coliformes fecais e *Escherichia coli* em Alfaces Comercializadas em São Paulo. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 3: 35 - 47, 1983.

FEACHEM, R.G; BRADLEY,D.J.; GARELICK, H.; MARA, D.D. **Sanitation and Disease. Health Aspects of Excreta and Wastewater Management**. Chichester, UK, John Wiley 7Sons, 1983.

GARCIA, D.de M.G e CEBALLOS, B.S.O. (1997). **História (e Estórias) passadas e presentes da cólera em Campina Grande**. Editora Universitária. UFPb/João Pessoa, 1997.

IRCWD NEWS. Health Aspects of Nighsoil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture. WHO - **International Reference Centre for Waste Disposal N° 23**, 18p.; 1985.

IRCWD . Human Wastes: Health Aspects of Their Use in Agriculture and Aquaculture . WHO - **International Reference Centre for Waste Disposal N° 24/25**; 1988.

LEON, G.S. e CAVALLINI. **Curso de Tratamiento y Uso de Águas Residuales**. OPS/CEPIS/, Lima, Perú, 1996,151p.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment. Disposal and Reuse**. McGraw Hill International Edition, Singapore, 1991

PEREIRA NEVES. **Parasitologia Humana**. 4ªEdição. Livraria Atheneu. São Paulo, 465 p. 1988.

PORTUGAL FILHO, G. (1991). A água não é inesgotável. **Jornal “O Globo”** 10/06/91.

SANTOS, H.F.; MORITA, D.M.; GRULL, D.; RODRIGUES, J.M.C.; PIMENTEL, J.S.; BOTELHO, M.H.C.; ABREU, R.M.; EIGER, S. (1992). Reuso da água. **Revista DAE 167 (set/out)**, p. 23-32.

ROSAS, I.; BAEZ, A.; COUTINHO, M. Bacteriological quality of crops irrigated with wastewater in the Xochimilco plots, Mexico City, Mexico. **Appl. Environ. Microbiol.**; **47**: 1074-1077, 1965.

SHUVAL, H. I. Health Effects of Wastewater Irrigation and their Control in Developing Countries. **The World Bank. Integrated Resource Recovery Project Series Number GLO/80/004**, 1985, 340p.

SIMENSEN, T. The role of water um agriculture. **New World Water**, p. 15-17; 1995.

SNOW, J. **Sobre a Maneira de Transmissão do Cólera**. 2ª Edição, São Paulo, HUCITEC-Abrasco, 1990. 249 p.

SNYDER J.D.; MERSON, M.H. The Magnitude of the Global Problem of Acute Diarrhoeal Disease: a Review of Active Surveillance Data. **Bull. WHO 60**:605 -613, 1982.

STRAUSS, M. Survival of excreted pathogens in excretal and faecal sludge. **IRCWD News**, 23:4-9; 1985.

STRAUSS M. E BLUMENTHAL, U.J. Human Waste Use In Agriculture and Aquaculture. Utilization Practices and Health Perspectives. **IRCWD Report N°08/89**, 1989, 250 p.

TEBBUTT, T.H.Y. **Principles of Water Quality Control**. Pergamon Press, Oxford, U.K; 1970.

TRABULSI, L.R.. TOLEDO, M.R.F.; CEBALLOS, B.S.O.; CANDEIAS, J.A.N. Epidemiology of Diarrhoeal Diseases in South America . **In: Infection Diarrhoeal in the Young. S.Tzipori et alii. Eds. Elsevier Science Publishers. Biomedical Division : 121 - 125**, 1985.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** . Vol.3. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 134p.; 1996

WHO. Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards. Tech. Report. Serie 517, **Geneva: World Health Organization**, 1973.

WHO. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Tecn. Report. Ser. N° 778 **Geneva: World Health Organization**, 1989.