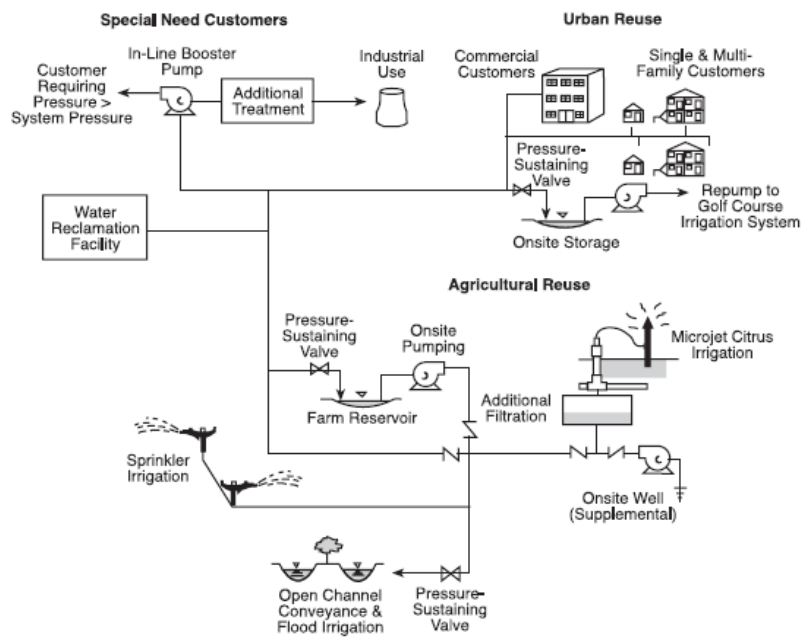


Capítulo 04

Reúso de esgotos

Promover a reciclagem e reutilização das águas residuais e dos resíduos sólidos.
Agenda 21



Guilherme de Occam argumentava, em todos os seus escritos, que “é perda de tempo empregar vários princípios para explicar fenômenos, quando é possível empregar apenas alguns”.
Fonte: História da Teologia Cristã - Roger Olson

SUMÁRIO

Ordem	Assunto
	Capítulo 1 - Reúso de esgotos
4.1	Introdução
4.2	Conservação da água
4.3	Medidas e incentivos
4.4	Mercado de água de reúso
4.5	Média de consumo de uma casa
4.6	Quanto podemos reaproveitar de <i>águas cinzas</i> numa casa?
4.7	Normas da ABNT
4.8	Reúso
4.9	Reúso de esgotos sanitários urbanos regionais
4.10	Onde usar a água de reúso dos esgotos sanitários?
4.11	Reúso para uso industrial
4.12	Reúso para uso agrícola
4.13	Reúso para o meio ambiente
4.14	Recarga dos aquíferos subterrâneos
4.15	Reúso para uso Recreacional
4.16	Reúso urbano
4.17	Níveis de tratamento de esgotos sanitários municipais
4.18	Tratamento preliminar
4.19	Tratamento primário
4.20	Tratamento secundário
4.21	Tratamento terciário
4.22	Tecnologia de filtração em membranas
4.23	Riscos à saúde pública
4.24	Rede dual
4.25	Guia para reúso da água da USEPA
4.26	Estado de <i>New Jersey</i>
4.27	Estado da Geórgia
4.28	Estado da Flórida
4.29	Estado do Texas
4.30	Uso da água de reúso
4.31	Padrões de qualidade da água para reúso
4.32	Normas da ABNT
4.33	Custos
4.34	Bibliografia e livros consultados

21 páginas

Capítulo 01- Reúso de esgotos

4.1 Introdução

Asano, 2001 diz que o reúso é o desafio do século XXI em que haverá uma **integração total dos recursos hídricos**. Interpretando as afirmações de Asano os recursos hídricos no século XXI serão:

- Recursos superficiais
- Recursos de águas subterrâneas
- Aproveitamento de água de chuva
- Reúso de esgotos

No mundo moderno do século XXI o planejamento de recursos hídricos não poderá esquecer o aproveitamento de água de chuva e o reúso de esgotos, além dos tradicionais recursos superficiais e subterrâneos.

Segundo Asano, 1001 a água de reúso tem duas funções fundamentais:

1. O efluente tratado vai ser **usado como um recurso hídrico** produzindo os benefícios esperados.
2. O efluente pode ser **lançado** em córregos, rios, lagos, praias, com objetivo de reduzir a poluição das águas de superfície e das águas subterrâneas

O fundamento da água de reúso é baseado em três princípios segundo Asano, 2001:

1. A água de reúso deve obedecer a controle de qualidade para a sua aplicação, devendo haver **confiabilidade** na mesma.
2. A saúde deverá ser protegida sempre.
3. Deverá haver **aceitação pública**

Reúso é o aproveitamento de água previamente utilizada uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir a necessidade de outros usos benéficos inclusive o original.

O objetivo deste estudo é mostrar as soluções para reúso de esgoto sanitário local e regional em áreas urbanas.

O **reúso local** destina-se a aqueles que se beneficiam na sua origem, como o *águas cinzas* de uma casa que pode ser usada no próprio local para irrigação subsuperficial de gramados.

O **reúso regional** são de grandes áreas e geralmente tem sua origem nas estações de tratamento de esgotos públicas que atingem o tratamento terciário e o distribuem até uma certa distância de onde é produzido através de redes especiais de água não potável (sistema dual de abastecimento: água potável + água não potável).

Não trataremos em nenhuma hipótese de reúso da água para fins potáveis.

Mesmo os processos de infiltração de águas residuárias no solo não são recomendados até o presente momento a não ser quando usado o processo de membranas.

No Japão foram feitas pesquisas e chegaram a conclusão que para áreas construídas maiores que 30.000m² e/ou consumo maior que 100m³/dia de água não potável o reúso é a melhor opção e é mais vantajoso do que se usar água pública conforme Figura (1.1).

Os custos no Japão são geralmente calculadas para pagamento da obra (amortização) em 15anos a um juros anuais de 6% e incluso os preços de manutenção e operação do sistema.

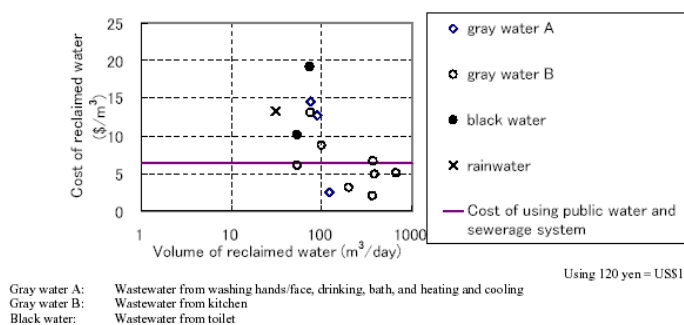


Figura 4.1- Custos comparativos para reúso usando águas cinzas, águas de chuva e água pública.
Fonte: Nações Unidas, 2007

4.2 Conservação da água

A *American Water Works Association - AWWA* em 31 de janeiro de 1993 definiu a **conservação da água** como as práticas, tecnologias e incentivos que aperfeiçoam a eficiência do uso da água.

Um programa de conservação da água constitui-se de *medidas e incentivos*.

4.3 Medidas e incentivos

Medidas são as tecnologias e mudanças de comportamento, chamada de *práticas*, que resultam no uso mais eficiente da água.

Incentivos de conservação da água são: a educação pública, as campanhas, a estrutura tarifárias, os regulamentos que motivam o consumidor a adotar as medidas específicas conforme *Vickers*, 2001.

Como exemplo, o uso de uma bacia sanitária para 6,8 litros/descarga, trata-se de uma *medida* de tecnologia e a mudança de comportamento para que o usuário da bacia sanitária não jogue lixo na mesma, é uma *medida prática*.

Os incentivos na conservação da água são as informações nos jornais, rádios, televisões, panfletos, *workshops*, etc, mostrando como economizar água.

Uma tarifa crescente *incentiva* a conservação da água, um pagamento de uma parte do custo de uma bacia sanitária (*rebate* em inglês) é *incentivo* para o uso de nova tecnologia, como a bacia sanitária com 6 litros/descarga.

Os regulamentos de instalações prediais, códigos, leis são *incentivos* para que se pratique a conservação da água.

O aumento da eficiência do uso da água irá liberar os suprimentos de água para outros usos, tais como o crescimento da população, o estabelecimento de novas indústrias e a melhora do meio ambiente.

A conservação da água está sendo feita na América do Norte, Europa e Japão. As principais medidas são o uso de bacias sanitárias de baixo consumo, isto é, 6 litros por descarga; torneiras e chuveiros mais eficientes quanto a economia da água; diminuição das perdas de água nos sistemas públicos de maneira que o tolerável seja menor que 10%; reciclagem; reúso da água e informações públicas.

Porém, existem outras tecnologias não convencionais, tais como o reúso de *águas cinzas*, muito usado na Califórnia e o aproveitamento de água de chuva.

4.4. Mercado da água de reúso

McCormick, 1999 in Tsutiya et al, 2001, apresenta a proposta de divisão das águas de reúso em três categorias conforme a qualidade da mesma:

1. Efluentes secundários convencional: é a água de reúso restrito a aplicações agrícolas e comerciais onde não existe possibilidade de contato humano direto com a água de reúso.
2. Água de reúso não potável: é o efluente secundário de alta qualidade, tais como efluente de reatores de membranas, filtrado e desinfetado com UV, cloro, ozônio, ou outro processo.
3. Água de reúso quase potável: é a água de reúso não potável tratada com osmose reversa ou nanofiltração para remoção dos contaminantes químicos, orgânicos e inorgânicos. É o mesmo que reúso potável indireto.

McCormick, 1999 apresenta a seguinte Tabela (4.1) onde existem 4 categorias, sendo a categoria 4 para água potável.

A categoria 2 onde existe contato com pessoas é a mais usada em irrigação de jardins, parques e descargas em bacias sanitárias, observando-se que a turbidez deverá ser menor que 2 uT, ausência de coliformes fecais e $DBO_5 < 10\text{mg/L}$.

A Tabela (4.1) foi feita por dois grandes especialistas dos Estados Unidos que são Slawomir W. Hermanowicz e Takashi Asano.

Tabela 4.1- Principais mercados para água de reúso e níveis de qualidade de água estipulados para cada mercado (Hermanowicz e Asano, 1999)

Padrão de qualidade da água de reúso	Mercado	Exemplo de aplicação
Categoria 1		
Filtração, desinfecção: DBO ₅ < 30mg/L TSS < 30mg/L Coliformes fecais < 200mL/100mL Cloro residual livre: 1 mg/L pH entre 6 e 9	Irrigação de áreas com acesso restrito ou controlado ao público Produção agrícola de produtos não destinados ao consumo humano ou consumidos após processamento que elimine patógenos Uso recreacional sem contato direto com a água Uso industrial	Campo de golfe, cemitérios, reservas ecológicas pouco frequentadas; Reflorestamento, pastos, produção de cereais e oleaginosas. Rios e lagos não utilizados para natação
Categoria 2		
Filtração, desinfecção: DBO ₅ < 10mg/L Turbidez < 2 uT Coliformes fecais ausentes em 100mL Cloro residual livre: 1 mg/L pH entre 6 e 9	Uso urbano sem restrições Produção agrícola de alimentos Uso recreacional sem restrições Melhoramento ambiental	Irrigação de parques, playgrounds e jardins escolares. Água para sistemas de hidrantes, construção civil e fontes em praças pública. Usos residenciais: descarga de vasos sanitários, água para sistemas de ar condicionado. Produtos agrícolas cultivados para consumo humano na forma crua ou sem cozimento. Lagos e rios para uso recreacional sem limitação de contato com a água.

		Alagados artificiais, perenização de rios e córregos em áreas urbanas.
Categoria 3		Reúso potável indireto, barreiras contra intrusão de águas salinas em aquíferos, maioria dos usos residenciais (banho, lavagem de roupa e utensílios de cozinhas, etc).
Efluente de osmose reversa	Reúso potável indireto	
Categoria 4		
Água potável	Reúso direto	Reúso potável

Fonte: Tsutiya, et al, 2001.

McCormick, 1999 mostra a Tabela (4.2) onde temos água potável, água não potável e **água quase potável** em uma residência. Observar que o termo “quase potável” não é muito usado no Brasil e nem aplicado. Poucas pessoas tomariam banho e lavariam os utensílios de cozinhas com uma água “quase potável”. Observar também que somente 7% da água é necessário em uma residência para que seja realmente potável.

Tabela 4.2- Categorias de consumo de água doméstico e nível de qualidade de água para cada categoria (Cieau, 2000)

Uso	Percentual	Qualidade
Bebida	1%	Potável
Preparo de alimentos	6%	potável
Lavagem de utensílios de cozinha	10%	Quase potável
Lavagem de roupas	12%	Quase potável
Bacia sanitária	39%	Não potável
Banho	20%	Quase potável
Outros usos domésticos	6%	Quase potável
Lavagem de carro/regagem de jardim, etc;	6%	não potável

Fonte: Tsutiya, et al, 2001.

4.5 Média de consumo de uma casa

Segundo Vickers, 2001 a média de consumo interno de uma casa está na Tabela (1.3) onde observamos que o ponto da casa de maior consumo é a bacia sanitária com 27%, seguido pela lavagem de roupa que é 22%.

As torneiras são no total 16% e são fundamentalmente duas: pia da cozinha e lavatório do banheiro.

Não estão inclusos os consumos de água dos gramados, lavagens de carros, etc.

Tabela 4.3 - Média de consumo de água interno de uma casa nos Estados

Unidos

Tipos de usos da água	Porcentagem	Consumo residencial no Brasil supondo média mensal de 160 litros/dia x habitante (litros)
Descargas na bacia sanitária	27%	43
Chuveiro	17%	27
Lavagem de roupa	22%	35
Vazamentos em geral	14%	22
Lavagem de pratos	2%	3
Consumo nas torneiras	16%	26
Outros	2%	3
Total	100%	160

Fonte: adaptado de Vickers, 2001

Pela Tabela (4.3) podemos verificar que os volumes internos de água não potável que pode ser usado é somente o água destinada para bacias sanitárias, que é **27% do consumo**.

Concluimos então que para o consumo interno de uma casa podemos usar somente 27%, ou seja, **43 litros/dia x habitante**.

Assim uma casa com 4 habitantes poderemos reaproveitar para reúso a quantia de 215litros/dia:

$$4\text{hab} \times 43 \text{ litros/dia} \times \text{hab} = 172 \text{ litros/ dia} = 5,16\text{m}^3/\text{mês}$$

4.6 Quanto podemos reaproveitar de *águas cinzas* numa casa?

É importante termos uma idéia da água que pode ser usada pelo reúso dentro de uma casa, conforme Tabela (4.4).

Tabela 4.4 - Volume de esgotos sanitários que se pode aproveitar para as *águas cinzas claras*

Tipos de usos da água	Porcentagem	Consumo residencial no Brasil supondo média mensal de 160 litros/dia x habitante (litros)
Chuveiro	17%	27
Lavagem de roupa	22%	35
Consumo nas torneiras (consideramos somente a torneira do lavatório no banheiro)	8%	13
Total	47%	75

Pela Tabela (4.4) podemos aproveitar somente **75 litros/dia por habitante** para o *águas cinzas*, ou seja, **47%**. Observar que podemos utilizar na bacia sanitária somente 43litros/dia x habitante, havendo, portanto um saldo que não sabemos o que fazer.

Uma casa com **4 pessoas** e considerando que ela produz 75 L/dia x hab de águas cinzas claras em um mês teremos a produção de **9m³/mês de águas cinzas claras**.

4.7 Normas da ABNT

A NBR 5626/ 1998 é de **Instalação predial de água fria** prevê no item 1.2 que pode ser usada para água potável e não potável.

Prevê ainda no item 5.2.1.3 que as instalações devem ser independentes e que a água não potável pode ser usada em descarga em bacias sanitárias, mictórios e combates a incêndio e para outros usos onde os requisitos de potabilidade não se faça necessário.

É necessário que as normas de Instalações de Água Fria sejam revisadas, devendo obrigatoriamente os edifícios terem dois reservatórios: um para água potável e outro para água não potável.

4.8 Reúso

Definição: reúso é o aproveitamento da água previamente utilizada uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir a necessidade de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorre de ações planejadas ou não (Lavrador Filho, 1987 in Mancuso, 2003).

A Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005, publicado em 9 de março de 2006, estabelece diretrizes para reúso direto não potável de água e estabelece algumas definições importantes:

Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, industriais, agroindústrias e agropecuárias, tratadas ou não.

Reúso da água: utilização de água residuária.

Água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas.

Reúso direto das águas: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

Reúso potável indireto: caso em que o esgoto, após tratamento é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável, conforme Mancuso et al, 2003.

O reúso direto pode ser para fins: urbanos, agrícolas, ambientais, industriais e aquicultura.

A resolução prevê que a atividade de reúso de água deve ser informado ao órgão gestor dos recursos hídricos: identificação, localização, finalidade do reúso, vazão, volume diário de água de reúso produzida, distribuída ou utilizada.

O reúso pode ser:

- **urbano** ou
- **rural**

Nos dedicaremos ao reúso urbano somente.

O reúso urbano pode ser:

- **local** ou
- **regional**

O reúso urbano local é feito no próprio local onde são gerados os esgotos. Assim, o uso do *águas cinzas* ou fossa séptica (tratamento biológico) é um reúso local.

Reúso local

Estudo de caso:

Empresa de ônibus de Guarulhos localizada no Bairro do Taboão reciclava a água após a lavagem dos ônibus em caixas de deposição de sedimentos e retirada de óleos. O reaproveitamento era de 80%. A água de *make-up* era introduzida, ou seja, os 20% restantes.

O óleo ficava na parte superior e semanalmente era retirado por uma empresa.

Postos de gasolina e lava-rápidos podem também reciclar a água.

4.9 Reúso de esgotos sanitários urbanos regionais

O reúso dos esgotos sanitários urbanos que saem de uma Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários públicas não são destinados a serem transformados em água potável.

Geralmente são feitos em lugares onde há problemas de recursos hídricos e existência de indústrias para consumirem a água não potável.

Nos Estados Unidos os locais onde mais se faz o reúso dos esgotos sanitários são: Texas, Flórida e Califórnia.

4.10 Onde usar a água de reúso dos esgotos sanitários?

Os usos mais comuns estão na Figura (4.1) que mostram seis usos:

- Reúso para uso industrial
- Reúso para uso agrícola
- Reúso para o meio ambiente
- Recarga de aquíferos subterrâneos
- Reúso para uso recreacional
- Reúso urbano.

4.11 Reúso para uso industrial

A demanda do uso industrial situa-se em torno de 8% no Brasil

Muitas indústrias não precisam de água potável, sendo que uma água de reúso pode ser usada sem problemas.

As indústrias deverão estar próximas das estações de tratamento de esgotos para diminuir os custos e deve, logicamente, haver uma quantidade de indústrias onde compense fazer os investimentos necessários.

Na Tabela (4.7) apresentamos algumas exigências nas indústrias em vários estados americanos, segundo USEPA.

Tabela 4.5 - Reúso nas indústrias

	Arizona	California	Florida	Hawaii	Nevada	Texas	Washington
Treatment	NR ⁽²⁾	Oxidized and disinfected	Secondary treatment and basic disinfection	Oxidized and disinfected	NR	NS	Oxidized and disinfected
BOD ₅	NR	NS ⁽³⁾	20 mg/l	NS	NR	20 mg/l	NS
TSS	NR	NS	20 mg/l	NS	NR	---	NS
Turbidity	NR	NS	NS	NS	NR	3 NTU	NS
Coliform	NR	Total	Fecal	Fecal	NR	Fecal	Total
		23/100 ml (Avg)	200/100 ml (Avg)	23/100 ml (Avg)		200/100 ml (Avg)	23/100 ml (Avg)
		240/100 ml (Max in 30 days)	800/100 ml (Max)	200/100 ml (Max)		800/100 ml (Avg)	240/100 ml (Avg)

(1) All state requirements are minimum values. Additional treatment may be required depending on expected public exposure. Additional regulations for industrial systems are contained in Appendix A.

(2) NR - Not regulated by the state

(3) NS - Not specified by state regulations

Fonte: USEPA

4.12 Reúso para uso agrícola

A agricultura consome de 60% a 70% do consumo total da água doce. No Brasil não é costume usar a água de esgotos tratada para uso agrícola, o que não acontece com o México.

4.13 Reúso para o meio ambiente

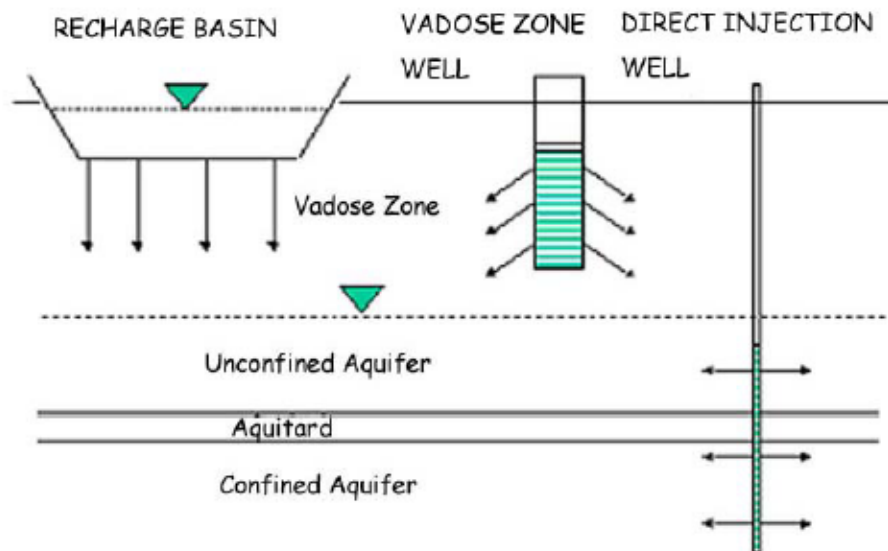
As águas de esgoto tratado podem ser usadas em *wetlands* artificiais.

4.14 Recarga de aquíferos subterrâneos

Uma maneira é evitar a intrusão salina que é usado geralmente em litorais. As outras maneiras de recarga são para armazenar as águas de esgotos tratadas para futuro uso ou para controlar a subsidência, isto é, o abaixamento do solo.

Existem três modalidades, conforme Figura (1.2):

- Bacia de infiltração
- Poço de infiltração que fica na região não saturada
- Poço tubular que atinge a região saturada e de preferência um aquífero confinado.



(Fox, 1999)

Figura 4.2 - Infiltração de esgotos tratados em bacia de infiltração, poço tubular em zona aerada e em zona saturada.

Asano, 2001 que a água de reúso para ser usada nas águas subterrâneas apresenta 3 classes de constituintes que devem ser estudados:

1. Virus entéricos e outros patógenos emergentes.
2. Constituintes orgânicos que inclui produtos industriais e farmacêuticos.
3. Sais e metais pesados.

Asano, 2001 alerta ainda quando aos produtos químicos que produzem disruptores endócrinos e a existência de antibióticos resistentes achados na água.

4.15 Reúso para uso Recreacional

Os esgotos tratados podem ser usados em lagoas para uso de pesca, barcos, etc.

4.16 Reúso Urbano

O reúso urbano dos esgotos tratados podem ser usados em praças públicas, jardins, etc.

Pode ser feito um sistema dual de distribuição como a cidade de São Petersburg, na Flórida, que usa a água de esgotos tratada desde 1977 com sucesso, havendo uma diminuição no consumo de água potável. Pode ser usada para irrigar jardins de cemitérios, grandes parques, etc.

Na Tabela (4.6) temos algumas exigências de vários estados americanos para o tratamento avançado e se faz a diluição do efluente em um curso de água, onde haverá coleta de água para tratamento completo.

Tabela 4.6 - Reúso indireto para água potável

	Arizona	California ⁽²⁾	Florida	Hawaii	Nevada	Texas	Washington	
Treatment	NR ⁽³⁾	Case-by-case basis	Advanced treatment, filtration, and high-level disinfection	Case-by-case basis	NR	NR	Oxidized, coagulated, filtered, reverse-osmosis treated, and disinfected	
BOD ₅	NR		20 mg/l		NR	NR	5 mg/l	
TSS	NR		5.0 mg/l		NR	NR	5 mg/l	
Turbidity	NR		NS ⁽⁴⁾		NR	NR	0.1 NTU (Avg) 0.5 NTU (Max)	
Coliform	NR		Total		NR	NR	NR	Total
			All samples less than detection					1/100 ml (Avg)
			5/100 ml (Max)					
Total Nitrogen	NR		10 mg/l		NR	NR	10 mg/l	
TOC	NR		3 mg/l (Avg)		NR	NR	NR	1.0 mg/l
			5 mg/l (Max)					
Primary and Secondary Standards	NR		Compliance with most primary and secondary		NR	NR	Compliance with most primary and secondary	

(1) Florida requirements are for the planned use of reclaimed water to augment surface water sources that will be used as a source of domestic water supply

(2) Indirect potable reuse in California and Hawaii is determined on a case-by-case basis

(3) NR - Not regulated by the state

(4) NS - Not specified by state regulations

Fonte: USEPA

4.17. Níveis de Tratamento de esgotos sanitários municipais

O tratamento dos esgotos é uma combinação de três processos conforme Nações Unidas, 2007:

- Processos físicos: as impurezas são removidas por peneiramento, sedimentação, filtração, flotação, absorção ou adsorção ou ambas e centrifugação.
- Processos químicos: as impurezas são removidas quimicamente através da coagulação, absorção, oxido-redução, desinfecção e troca iônica.
- Processos biológicos: os poluentes são removidos usando mecanismos biológicos, como tratamento aeróbico, tratamento anaeróbico e processo de fotossíntese, como nas lagoas.

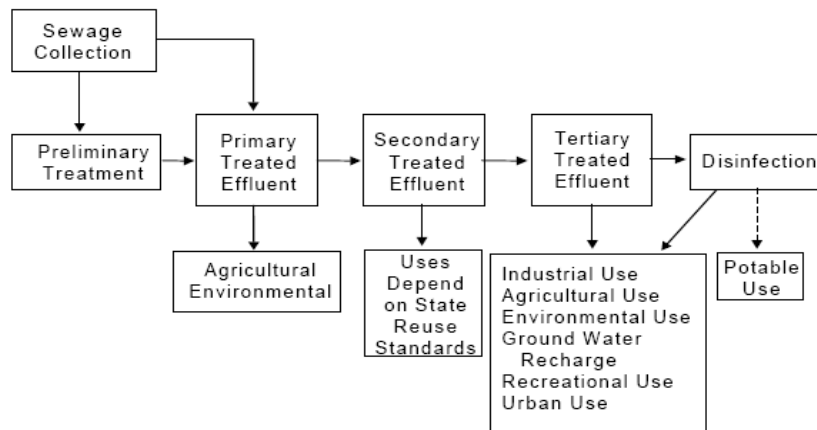


Figura 4.3- Alternativas para reúso dos esgotos sanitários de uma cidade
Fonte: Borrows, 1997

O tratamento dos esgotos está assim dividido conforme Figura (4.3):

- tratamento preliminar,
- tratamento primário,
- tratamento secundário,
- tratamento terciário (avançado).

4.18 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar consiste basicamente em remoção de sólidos de tamanho grande e partículas de detritos:

1. Gradeamento
2. Remoção de areia
3. Caixa de retenção de óleo e gordura
4. Peneiras

Nada mais é que o gradeamento para remover os objetos flutuantes de grandes dimensões, mas evitando que os sólidos se depositem. É feita também a remoção física da areia e partículas sólidas através de deposição, telas ou flotação. A remoção de DBO é desprezível no tratamento preliminar.

A velocidade do fluxo é, em geral, menor que 0,3m/s.

4.19 Tratamento primário

O tratamento primário consiste basicamente remoção de sólidos em suspensos:

1. Decantação primária ou simples
2. Precipitação química com baixa eficiência
3. Sedimentação
4. Flotação por ar dissolvido
5. Coagulação e sedimentação

A redução da DBO no tratamento primário é muito baixa variando de 30% a 40%.

O tratamento primário consiste também em digestores para tratamento do lodo removido e desidratação do lodo.

Os tanques sépticos são um tratamento primário.

4.20 Tratamento secundário

É tratamento biológico e remoção dos poluentes biodegradáveis.

Remove matéria orgânica dissolvida e em suspensão. A DBO é removida quase totalmente. Dependendo do sistema adotado, as eficiências de remoção são altas. Os processos de tratamento secundário, conforme Nunes, 1996 são:

- Processo de lodos ativados
- Lagoas de estabilização
- Sistemas anaeróbicos com alta eficiência
- Lagoas aeradas
- Filtros biológicos
- Precipitação química com alta eficiência

É a fase do tratamento biológico. Há introdução de ar e se acelera o crescimento de bactérias e outros organismos para consumir o restante da matéria orgânica. Após o tratamento secundário, cerca de até 98% do DBO foi removida. Depois pode ser usado desinfecção com cloro ou ultravioleta.

4.21 Tratamento terciário e avançado

O tratamento terciário consiste basicamente na remoção de poluentes específicos como nitrogênio, fósforo, cor, odor:

1. Coagulação química e sedimentação
2. Filtros de areia
3. Adsorção em carvão ativado
4. Osmose reversa
5. Eletrodialise
6. Troca iônica
7. Filtros de areia
8. Tratamento com ozônio
9. Remoção de organismos patogênicos
10. Reator com membranas

O tratamento terciário vai remover o que restou dos sólidos em suspensão, da matérias orgânica, do nitrogênio, do fósforo, metais pesados e bactérias.

É usado quando o tratamento secundário não consegue remover nitrogênio, fósforo, etc. Comumente faz-se coagulação e sedimentação seguido de desinfecção.

Geralmente é usado quando pode haver contato das águas de reúso com o seres humanos.

Confiabilidade

A USEPA, 2004 salienta a importância de uma unidade de tratamento para reúso enfatizando oito regras gerais que são:

1. Duplicar as fontes de energia elétrica.
2. Quando houver queda de energia imediatamente deverá entrar a fonte alternativa.
3. Usar múltiplas unidades e equipamentos
4. Fazer um reservatório de armazenamento de emergência
5. O sistema de tubulações e bombeamento deverá ser flexível para mudanças de emergência
6. Sistema de cloração duplo
7. Controle automático dos resíduos
8. Alarme automático

Enfatiza ainda:

1. Qualificação de pessoal
2. Programa efetivo de monitoramento

3. Programa efetivo de manutenção e operação

Avaliações para escolha do tratamento adequado

City Hollister, 2005 para apreciação das alternativas para a escolha do tratamento de esgoto adequado montou os seguintes fatores:

- Gerenciamento do efluente do tratamento de esgotos
- Força do tratamento, isto é, as várias variáveis que podem mudar no tratamento.
- Confiabilidade no processo de tratamento de esgotos
- O tratamento tem ser fácil de ser operado
- O tratamento de esgoto tem que ser flexibilidade
- Temos que verificar o espaço disponível
- Temos que saber onde vamos dispor os resíduos do tratamento
- Temos que ver os problemas de odores
- Cuidar dos aspectos estéticos
- Verificar os custo de implantação e de manutenção e operação
- Verificar as leis existentes sobre a disposição do efluente
- Facilidade ou dificuldade de ser aprovado pelos órgãos ambientais.

Ainda segundo City Hollister, 2005 os critérios de um projeto de uma estação de tratamento de esgotos são:

- O processo de tratamento deve minimizar os odores.
- O processo de tratamento deve minimizar os ruidos durante a construção e durante a operação dos equipamentos.
- A desidratação do lodo dos esgotos e as instalações que serão usadas não devem ser esquecidas.
- Os processos devem ter um longo tempo de retenção para estabilizar o lodo.
- O nitrogênio é um fator importante para a remoção.

Standards dos efluentes

Vamos analisar alguns *standards* de alguns países para se ver eficiência do sistema MBR.

Tabela 4.10- Alguns standards de alguns países para tratamento municipal de esgotos

Parâmetros	Europa EC-1998	Alemanha (2002)	China	USA	Austrália
DBO _{5,20}	25mg/L	15 a 40 mg/L	30a 80mg/L	< 1mg/L	<5mg/L
NT	10 a 15mg/L	13 a 18mg/L		1mg/L	<3
PT	1 a 2 mg/L	1 a 2mg/L		0,1	<0,1mg/L

Fonte: Membrane bioreactor (MBR) treatment of contaminants

4.23 Riscos à saúde pública

Um dos grandes perigos do reúso para a saúde pública é quando não se faz o tratamento e a desinfecção, podendo ocasionar doenças como: cólera, febre tifoide, disenteria, helmintos.

Infelizmente alguns países no mundo usam os esgotos sem tratamento na agricultura. Alguns dos patógenos que se podem encontrar num esgoto bruto são os seguintes:

Tabela 4.9- Exemplos de patógenos associados a esgotos municipais

Protozoário	<i>Giardia lamblia, Cryptosporidium sp</i>
Helmintos	<i>Ascaris, Toxocara, Taenia, ancylostoma</i>
Vírus	<i>Hepatite A, Rotavirus, Enteroviroses</i>
Doenças causadas por bactérias	<i>Salmonella sp, Vibrio cholerae, Legionellacease</i>

Fonte: Nações Unidas, 2007

Desinfecção

O objetivo da desinfecção é matar ou inativar os microorganismos patogênicos, vírus e parasitas da água de esgotos tratadas. Comumente a desinfecção se utiliza de fortes oxidantes como o cloro, ozônio, bromo, mas todos eles **não deixam inativo** os ovos de helmintos, conforme Nações Unidas, 2007.

Cloro: é o mais usado desinfetante, mas a presença de sólidos em suspensão, matérias orgânica ou amônia na água causam problemas para a sua eficiência. Os sólidos em suspensos agem como um escudo para os microorganismos que se protegem do cloro.

O cloro pode ter alguns efeitos negativos em certas irrigações de determinadas culturas e em ambiente aquático. A retirada do cloro, ou seja, a decloração é um processo muito caro para ser usado no reúso.

Ultravioleta: a radiação UV inativa o microorganismo para reprodução e não cria subproduto.

Ozônio: é um ótimo desinfetante, mas é caro. Devemos ter um tempo correto de contato e uma concentração adequada de ozônio. O ozônio pode criar subprodutos.

Deve ser estudado para cada caso qual a melhor solução.

Ovos de Helmitos: os ovos de helmintos possuem diâmetro que varia entre 20 µm a 80µm, densidade relativa entre 1,06 a 1,15 e altamente pegajoso.

Somente podem ser inativos com temperaturas acima de 40°C.

Os processos de coagulação, sedimentação, floculação removem os ovos de helmintos.

4.24 Rede dual

Na cidade de São Petersburgo, na Flórida, existem duas redes: água potável e água não potável, conforme Figuras (4.15) e (4.16).

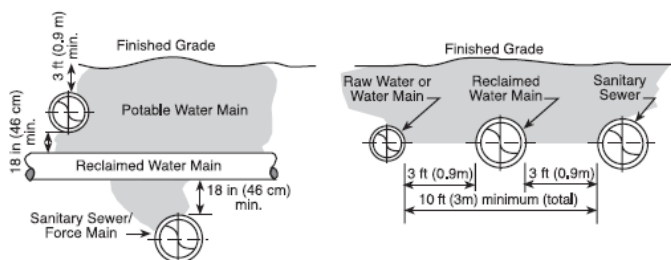


Figura 4.15 - Sistema de rede dual na Flórida

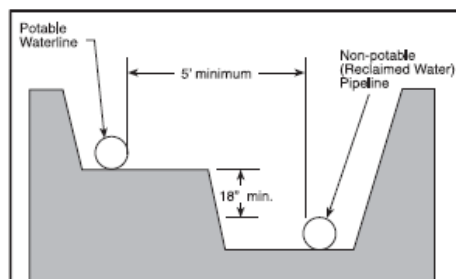


Figura 4.16 - Sistema de rede dual

A água não potável provém do tratamento de esgotos sanitários e se destina somente a rega de jardins públicos e gramados privados. Funciona desde 1977.

O sistema dual diariamente supre mais de 75.600m³/dia (875 L/s).

Na Califórnia 63% do volume de águas de esgotos tratados são usadas na agricultura.

Na Tabela (4.8) estão os volumes de esgotos tratados e usados na agricultura nos estados da Califórnia e Flórida.

Tabela 4.10 - Volume de esgotos aproveitado na agricultura

Estados	Volume anual de esgotos tratados que vão para a agricultura
Califórnia	6,6m ³ /s
Flórida	3,9m ³ /s

Quando há tratamento e desinfecção das *águas cinzas*, pode ser feita irrigação com a mesma.

A rede dual para transporte de água de reúso geralmente é de plástico classe 15 ou classe 20 com coeficiente de rugosidade C=130, dependendo da pressão a que se destina.

Nos Estados Unidos para irrigação de jardins, lavagem de carros e calçadas se usam pressão mínima de 35mca, entretanto as pressões geralmente atingem um mínimo de 21m conforme Asano, 1998

4.25 Guia para reúso da água da USEPA

A USEPA apresenta nas Tabelas (4.9) e (4.10) com orientações para as várias modalidades de reúso.

Por exemplo, para reúso urbano necessitamos de tratamento secundário, filtração e desinfecção. Os parâmetros como pH, DBO, uT, cloro e coliformes fecais devem ser monitorados com espaçamentos variados.

Tabela 4.9 - Orientações para reúso da água da USEPA

Tipo de reúso	Tratamento	Parâmetros	Monitoramento
		pH de 6 a 9	Mensal
Reúso Urbano	Secundário	DBO ≤ 10mg/L	Semanal
Jardins, lavagens de veículos	Filtração	≤ 2 uT	Continuadamente
Descarga em bacias sanitárias	Desinfecção	Coliformes fecais não detectáveis	Diariamente
		Cloro residual mínimo de 1mg/L	Continuadamente
Área de acesso restrito para irrigação	Secundário Desinfecção	pH de 6 a 9	Semanal
Locais onde o público é proibido		DBO ≤ 30mg/L	Semanal.
		≤ 30mg/L TSS	Diário
		≤ 200 Coliformes fecais coli	Diário
		Cloro residual mínimo de 1mg/L	Continuadamente

Fonte: adaptado da USEPA

Tabela 4.10- continuação- Orientações para reúso da água da USEPA

Tipo de reúso	Tratamento	Parâmetros	Monitoramento
		pH de 6 a 9	Semanalmente
Recreacional	Secundário	DBO ≤ 10mg/L	Semanal
(contato acidental parcial ou total na pesca ou velejamento)	Filtração	≤ 2 uT	Continuadamente
	Desinfecção	Coliformes fecais não detectáveis	Diariamente
		Cloro residual mínimo de 1mg/L	Continuadamente

Paisagismo	Secundário Desinfecção	DBO ≤ 30mg/L	Semanal.
(locais onde o público tem contato)		≤ 30mg/L TSS	Diário
		≤ 200 Coliformes fecais coli	Diário
		Cloro residual mínimo de 1mg/L	Continuadamente
Uso na construção civil	Secundário Desinfecção	DBO ≤ 30mg/L	Semanal.
(compactação de solo, lavagem de agregados, execução de concreto)		≤ 30mg/L TSS	Diário
		≤ 200 Coliformes fecais coli	Diário
		Cloro residual mínimo de 1mg/L	Continuadamente
Uso Industrial	Secundário Desinfecção	DBO ≤ 30mg/L	Semanal.
(once through cooling)		≤ 30mg/L TSS	Diário
		≤ 200 Coliformes fecais coli	Diário
		Cloro residual mínimo de 1mg/L	Continuadamente
		pH de 6 a 9	
Uso Industrial	Secundário Desinfecção Coagulação química e filtração	DBO ≤ 30mg/L	Semanal.
(recirculationg cooling towers)		≤ 30mg/L TSS	Diário
		≤ 200	Diário

		Coliformes fecais coli	
		Cloro residual mínimo de 1mg/L	Diário
		pH de 6 a 9	semanal
Uso ambiental		DBO ≤ 30mg/L	Semanal.
	Secundário	≤ 30mg/L TSS	Diário
(uso em <i>wetlands</i> , alagados, várzeas e despejos em córregos)	Desinfecção	≤ 200 Coliformes fecais coli	Diário
		Cloro residual mínimo de 1mg/L	Continuadamente

Fonte: adaptado da USEPA

4.26 Estado de New Jersey

O Estado de New Jersey, 2005 recomenda se utilizar do esgoto sanitário tratado somente a partir da vazão > 4,4 L/s (380m³/dia)

Recomenda ainda que se o reúso for usado em áreas públicas Tipo I, isto é, aquelas em que o público pode ter contato com a água, deve seguir o seguinte:

- Desinfecção com 1,0mg/l de cloro com tempo de contato mínimo de >15min;
- Se usar desinfecção com Ultravioleta a dosagem mínima deve ser de 100 mJ/cm² e neste caso uT<2;
- Pode também ser usado ozônio;
- Os coliformes fecais < 14 /100mL
- O sólido total em suspensão TSS < 5mg/L
- O nitrogênio total (NO₃ + NH₃) ≤ 10mg/L
- Não pode ser irrigado mais de ≤ 50mm/semana.

4.27 Estado da Geórgia

O Estado da Geórgia recomenda que o uso das águas de esgotos tratadas (reúso) deve obedecer no mínimo:

- Turbidez ≤ 3 uT
- DBO₅ ≤ 5 mg/L
- TSS ≤ 5mg/L
- Coliformes fecais ≤ 23/100mL
- pH entre 6 a 9
- O desinfetante deve ser detectável em qualquer ponto.

4.28 Estado da Flórida

Em lugares onde será usada a água de reúso para descargas em vasos sanitários, se recomenda que;

- Aplicado a hotéis, motéis, prédios de apartamentos e locais onde o usuário não tem acesso ao sistema predial de instalações para reparos e modificações.

- Não pode ser usado em residências onde o usuário pode ter interferência nas instalações prediais.
- A água de reúso deverá ter cor azul.
- As tubulações deverão ter cor vermelha.

4.29 Estado do Texas

A água de reúso para descarga em bacias sanitárias deve ter segundo NRRI 97-15 do Estado do Texas:

- $DBO_5 \leq 5$ mg/L
- Coliformes fecais $\leq 75/100$ mL
- Cor azul da água
- Análise uma vez por semana
- Caso a água fique armazenada mais de 24h deverá ser desinfetada.

Para irrigação de gramado, isto é, paisagismo é exigido:

- $DBO_5 \leq 10$ mg/L
- Turbidez ≤ 3 uT
- Coliformes fecais $\leq 75/100$ mL
- Análise uma vez por mês
- Caso a água fique armazenada mais de 24h deverá ser desinfetada.

No Estado do Texas é proibida a irrigação com água de esgotos bruta, isto é, sem tratamento. É necessária autorização dos órgãos de saúde quando as *águas cinzas* tem vazão maior ou igual 0,2 L/s ($17\text{m}^3/\text{dia}$)

4.30 Uso da água de reúso

A água de reúso pode ser usada em;

- Fontes decorativas
- Lagos para enfeite
- Incêndio
- Lavagem de ruas

4.31 Padrões de qualidade da água para Reúso

Não existe legislação brasileira quanto ao reúso e nem normas da ABNT, entretanto o Sinduscon- São Paulo, 2005 definiu 4 classes de água para reúso que tem sido aceito pela maioria dos especialistas no Brasil.

Água de Reúso Classe 1

São para águas tratadas, destinadas a edifícios em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos, chafarizes, espelhos de água, lavagem de roupas, lavagem de veículos, etc conforme Tabela (4.11).

Tabela 4.11- Água de reúso classe 1

Parâmetros	Concentrações
Coliformes fecais ¹	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	≤ 10 UH
Turbidez (UT)	≤ 2 UT
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO ² (mg/L)	≤ 10 mg/L
Compostos orgânicos voláteis ³	Ausentes
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20 mg/L
Nitrito (mg/L)	≤ 1 mg/L
Fósforo total ⁴ (mg/L)	≤ 0,1 mg/L
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	≤ 5 mg/L
Sólido dissolvido total ⁵ (SDT) (mg/L)	≤ 500 mg/L

1. Esse parâmetro é prioritário para os usos considerados.

2. O controle da carga orgânica biodegradável evita a proliferação de microrganismos e cheiro desagradável, em função do processo de decomposição, que podem ocorrer em linhas e reservatórios de decomposição.

3. O controle deste composto visa evitar odores desagradáveis, principalmente em aplicações externas em dias quentes.

4. O controle de formas de nitrogênio e fósforo visa evitar a proliferação de algas e filmes biológicos, que podem formar depósitos em tubulações, peças sanitárias, reservatórios, tanques etc.

5. Valor recomendado para lavagem de roupas e veículos.

Água de Reúso Classe 2

São para águas tratadas destinadas a construção de edifícios como lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação de solo, controle de poeira, conforme Tabela (4.12).

Tabela 4.12 - Água de reúso classe 2

Parâmetros	Concentrações
Coliformes fecais	≤ 1000/ mL
pH	Entre 6,0 e 9,0
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1,0 mg/L
DBO (mg/L)	≤ 30 mg/L
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
Sólidos suspensos totais (mg/L)	30 mg/L

Água de Reúso Classe 3

São para águas tratadas destinadas a irrigação de áreas verdes e rega de jardins, conforme Tabela (4.13).

Tabela 4.13 - Água de reúso classe 3

Parâmetros		Concentrações	
pH		Entre 6,0 e 9,0	
Salinidade		0,7 < EC (dS/m) < 3,0, 450 < SDT (mg/L) < 1500	
Toxicidade por íons específicos	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9
		Cloretos (mg/L)	< 350 mg/L
	Para irrigação com aspersores	Cloro residual (mg/L)	Máxima de 1 mg/L
		Sódio (SAR)	> ou = 3,0
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias Regas de jardim e similares	Cloretos (mg/L)	< 100 mg/L
		Cloro residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Nitrogênio total (mg/L)		0,7 mg/L	
DBO (mg/L)		3,0 mg/L	
Sólidos suspensos totais (mg/L)		5 - 30 mg/L	
Turbidez (UT)		< 20 mg/L	
Cor aparente (UH)		< 20 mg/L	
Coliformes fecais (mL)		< 5 UT	
		< 30 UH	
		≤ 200/ 100 mL	

Água de Reúso Classe 4

São para águas tratadas destinadas a resfriamento de equipamentos de ar condicionado e com água a ser usada em torres de resfriamento com recirculação e sem recirculação, conforme Tabela (4.15).

Tabela 4.14 - Água de reúso classe 4

Variável(*)	Sem recirculação	Com recirculação
Sílica	50	50
Alumínio	SR	0,1
Ferro		0,5
Manganês		0,5
Amônia		1,0
Sólidos Dissolvidos Totais	1000	500
Cloretos	600	500
Dureza	850	650
Alcalinidade	500	350
Sólidos em Suspensão Totais	5000	100
pH	5,0 – 8,3	6,8 – 7,2
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	SR	2,2
Bicarbonato	600	24
Sulfato	680	200
Fósforo	SR	1,0
Cálcio	200	50
Magnésio	SR	30
O ₂ dissolvido	Presente	SR
DQO	75	75

(*) Unidade de referência: mg/L, a menos que indicado.
 SR - sem recomendação

4.32 Normas da ABNT

A norma NBR 10004/90 trata sobre o Projeto de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários, porém desconhecemos normas para estações de tratamento físico-químico de efluentes industriais.

4.33 Custos

O custo de água de reúso para março de 2005 segundo Hespanhol e Mierzwa, 2005 é R\$ 1,80/m³.

Os custos das estações de tratamento de esgotos estão na Tabela (4.15).

Tabela 4.15 - Custos de Estações de Tratamento em dólares americanos por habitante.

Estação de Tratamento de Esgotos	Custo (US\$ /habitante)
Lodo ativado	68
Lagoa de estabilização	29
Reatores UASB com pós-tratamento	23

1US\$= R\$ 2,20 setembro de 2006

Segundo Asano, 2001 os custos variam numa faixa muito grande. Por exemplo, na Califórnia o custo da água de reúso provindo dos esgotos sanitários é de US\$ 0,50/m³ que é muito grande para ser usado na agricultura, mas entretanto pode ser usado em rega de gramados e campos de golfe e praças públicas.

Há uma idéia errada de que a água de reúso é sempre mais barata que a água potável.

A Califórnia usa para amortização de capital o prazo de 20anos.

Na cidade de Fukuoka no Japão sempre citada nestes assuntos de reuso o custo da água de reúso é de US\$ 2,00/m³ enquanto que a água potável é US\$ 1,9/m³. O custo para o consumidor na mesma cidade é US\$ 3,0/m³ para a água de reúso e US\$ 3,7/m³ para a água potável. No Japão é usado 20anos como tempo de amortização de capital.

4.34 Sewer Mining

Sewer Mining é o processo de extrair esgotos de um sistema de esgotos podendo ser antes ou depois da estação de tratamento e depois tratá-lo com processos físicos, químicos ou biológico, para produzir esgoto de reúso reciclável para um fim específico.

O rejeito do esgotos do *sewer mining* são em geral descartados introduzindo-os novamente na rede pública.

Trata-se de reúso de esgotos para uso não potável.

Tem sido muito aplicado na Austrália na cidade de Sydney efetivamente desde o ano 2006.

O objetivo do *sewer mining* é a reciclagem dos esgotos, possibilitando que mais usuários possam usar a água potável dos serviços públicos.

4.35 Bibliografia e livros consultados.

- ABNT NB- 570/1990 - *Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário*. 11páginas.
- ABNT NBR 5626/1998 - *Instalações prediais de água fria*, 41páginas.
- ASANO, TAKASHI. *Water from (wastewater- the dependable water resource)*. Lido em Stockholm Water Prize Laureate Lecture em 2001, Sweden. Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Davis na Califórnia.
- ASANO, TAKASHI. *Wastewater reclamation and reuse*. Technomic, 1998, 1528 p. ISBN 1-56676-620-6 (Volume 10).
- BORROWS, JOHN. *Water Reuse: considerations for commissions*. The National Regulatory Research Institute. Ohio, June, 1997, acessado em 15 de junho de 2006.
- CICEK N. *A review of membrane bioreactors and their potencial application in the treatment of agricultural waster*. University of Manitoba, Winnipeg, Canada, 2003.
- CIEAU: <http://www.cieau.com/> . Página francesa de informação com dados sobre consumo de água.
- CITY OF HOLLISTER. *Long-Term Wastewater Management Program for the dWTP and WTP*. December, 2005
- ESTADO DA CALIFORNIA. *California Code of Regulation (CCR) chapter 62-610 Title 22, 1978 e 2004*. Reuse of Reclaimed water and land applications.
- ESTADO DA GEORGIA. *Guidelines for Water Reclamation and Urban Water Reuse*. 20 de fevereiro de 2002.
- ESTADO DE NEW JERSEY. *Reclaimed Water for beneficial Reuse- A NJDEP Techical Manual*. Janeiro de 2005.
- FETTER, C.W. *Applied Hydrogeology*. 3a ed. Prentice Hall, 1994, ISBN 0-02-336490-4, 691páginas.
- JORDÃO, EDUARDO PACHECO e PESSÔA, CONSTANTINO ARRUDA. *Tratamento de Esgotos Sanitários*. 4ª ed. 2005, 906páginas.
- MANCUSO, PEDRO CAETANO SANCHES et al. *Reúso de água*. USP, 2003, 579páginas, ISBN 85-204-1450-8.
- MIERZWA, JOSE CARLOS e HESPANHOL, IVANILDO. *Água na indústria- uso racional e reúso*. ISBN 85-86238-41-4 Oficina de Textos, 143páginas.
- MIERZWA, JOSÉ CARLOS. *O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria*. São Paulo, EPUSP, 2002, Tese de Doutorado, 399páginas.
- NATIONAL REGULATORY RESERCH INSTITUTE (NRRI). *Water Reuse.- considerations for commissions*, junho de 1997, Ohio University.- John D., Borrows e Todd Simpson. NRRI 97-15, 127páginas.
- NUNES, JOSÉ ALVES. *Tratamento físico-químico de águas residuárias Industriais*. 1996, 277páginas.
- SINDUSCON-SP. *Conservação e Reúso da água em edificações*. São Paulo, 2005, 151páginas.
- TOMAZ, PLÍNIO. *Conservação da água*. Editora Parma, Guarulhos, 1999, 294 p.
- TOMAZ, PLÍNIO. *Economia de água*. São Paulo, Navegar, 2001, 112p. ISBN 85-87678-09-4.
- TOMAZ, PLÍNIO. *Previsão de consumo de água*. São Paulo, Navegar, 2000, 250 p. ISBN: 85-87678-02-07.
- TSUTIYA, MILTON TOMOYUKI e SCHNEIDER, RENÉ PETER. *Membranas filtrantes; para o tratamento de agua, esgoto e água de reúso*. ABES, 200'1, 234p.
- UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAME). *Water and wastewater reuse- a environmentally sound approach for sustainable urban water management*. In Colaboration with Japan, 2007.

- USEPA (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). *Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-04/108 setembro de 2004 acessado em 15 de junho de 2006 <http://www.epa.gov/>
- VICKERS, AMY. *Handbook of Water use and conservation*. Waterflowpress, 2001,446páginas, ISBN 1-931579-07-5
www.nrri.ohio-state.edu
- YAMAGATA, HIROKI E OGOSHI, MASASHI. *On-site insight into reuse in Japan*. Jornal Water21. IWA (International Water Association)