

REÚSO DE ÁGUA PARA TORRES DE RESFRIAMENTO

Prof. Dr. Pedro Caetano Sanches Mancuso

Novembro de 2.001
São Paulo

Reuso de água para torres de resfriamento

Pedro Caetano Sanches Mancuso

Engenheiro Industrial, Doutor em Saúde Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, Professor Doutor do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, Diretor da PPM Projetos, Panejamentos e Consultoria S/C Ltda.

RESUMO: Este trabalho aborda o reuso de água não potável para fins industriais, especificamente em torres de resfriamento apresentando um resumo histórico dos primeiros equipamentos e sua evolução no tempo. Na pesquisa são desenvolvidos os balanços materiais de consumo de água; relatados os principais problemas associados à utilização e apresentados os padrões de qualidade de água necessários ao bom desempenho dessas unidades. O estudo enfoca também sistemas de tratamentos adequados para atender esses padrões, partindo-se de esgoto bruto. Exemplos ilustrativos de torres em funcionamento são referendados, comentando-se cada um em particular.

ABSTRACT: This paper deals of non potable water reuse for industrial purposes, specifically in cooling towers. It presents a historical summary, and its evolution on in time. In this research, water consumption mass balances were made, pointing the main problems associated with reuse, and presenting water standards to the good performance of these units. The research also focuses proper water treatment procedures to reach the standards mentioned above. Case studies concernig cooling towers are explained and discussed.

PALAVRAS-CHAVE: Resfriamento, reuso de água, reuso de água para fins industriais, reuso não potável, torre de resfriamento.

1- INTRODUÇÃO

As intensas concentrações humanas nas regiões urbanizadas, com fortes pressões nos sistemas hídricos originando problemas de escassez de água, constituem atualmente um fenômeno mundial. Se à demanda humana por água potável for associada à demanda industrial, pode-se chegar a situações bastante delicadas em vista dos altos volumes que algumas indústrias utilizam.

A demanda industrial representa cerca de um quarto da demanda mundial de água e, especificamente no Japão, essa cifra chega a 55% (descontada a parcela referente ao uso de água do mar); 75% na Alemanha, e mais de 66% do consumo de água total no Reino Unido, segundo VALIRON, F. et al. (1983).

De acordo com ASANO, T. & LEVINE, A. D. (1998), a possibilidade dessa água ter origem a partir do tratamento adequado de esgotos, caracterizando o reuso não potável para fins industriais, depende fundamentalmente das características do processo industrial e da distância em que esse recurso hídrico precisa ser transportado entre as instalações de tratamento e o ponto de consumo.

A tabela 1, adaptada dos trabalhos de LAW, I. B. (1986) e VON SPERLING, M. (1996) mostra os volumes de água consumidos, por unidade produzida, para algumas atividades industriais.

TABELA 1: VOLUMES DE ÁGUA CONSUMIDOS, POR UNIDADE PRODUZIDA

PROCESSO DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL	CONSUMO POR UNIDADE PRODUZIDA
Fabricação de polpa de celulose	15 a 200 m ³ /t ^(*)
Branqueamento da polpa de celulose	80 a 200 m ³ /t ^(*)
Fabricação de papel	30 a 250 m ³ /t ^(*)
Fabricação de polpa e papel integrados	200 a 250 m ³ /t ^(*)
Fabricação de aço	4 a 200 m ³ /t ^{(*)(*)}
Fabricação de cerveja	8 a 13 l/l produzido ^{(*)(*)}
Fabricação de leite em pó	0 a 18 m ³ /t ^{(*)(*)}
Processamento úmido de algodão	80 a 600 m ³ /t ^{(*)(*)}
Lavagem e acabamento de lã	7 a 40 m ³ /t ^{(*)(*)}
Tingimento e acabamento de lã	100 a 600 m ³ /t ^{(*)(*)}
Abate de gado bovino	0,2 a 9 m ³ /cabeça ^{(*)(*)}
Abate de gado bovino com fabricação de embutidos	0,8 a 20 m ³ /cabeça ^{(*)(*)}
Geração de energia em termoelétricas	2,5 a 8,7 l/kwh ^{(*)(*)}

FONTES

^(*) Referência (12)

^{(*)(*)} Referência (9)

A análise da tabela 1 permite pensar na possibilidade da substituição de água potável por não potável em alguns processos, porém com qualidade adequada ao uso obtida a partir de esgotos domésticos tratados, possibilitando assim um aumento na disponibilidade de água potável à população.

A literatura especializada, sistematicamente, vem publicando artigos demonstrando a grande preocupação da comunidade técnica e acadêmica com a crescente demanda industrial nas regiões urbanizadas.

Na Região Metropolitana de São Paulo, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, SABESP, em recente seminário internacional apresentou seu Plano de Reaproveitamento de Águas para o Abastecimento das Indústrias do Estado de São Paulo. Após um eficiente estudo de mercado, a empresa decidiu pelo investimento em unidades de produção de água para reuso não potável industrial, onde a maior parte da vazão tratada seria destinada à torres de resfriamento.

O lançamento e a adoção desse plano, mais do que demonstrar a preocupação da concessionária com o problema, marca o seu efetivo engajamento na questão do reuso de água para fins industriais, preservando o direito da população de receber água potável.

2- OBJETIVO

Consoante o preconizado no Plano da SABESP de Reaproveitamento de Águas para o Abastecimento das Indústrias do Estado de São Paulo, o objetivo deste trabalho é contribuir ao entendimento da problemática do reuso de água para fins industriais, particularmente em torres de resfriamento.

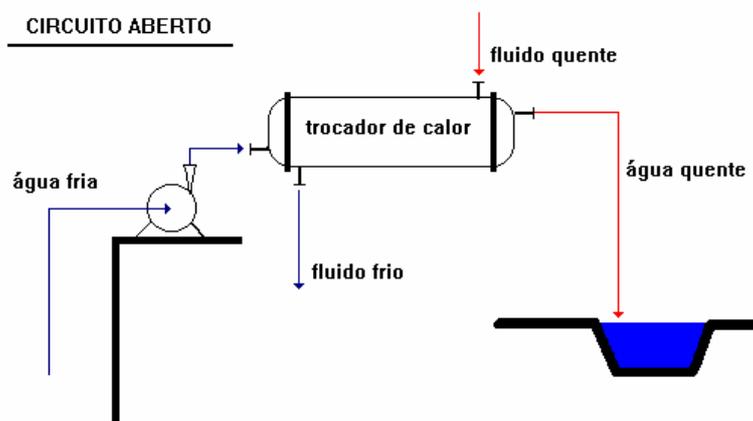
3- REVISÃO DE LITERATURA**ÁGUA PARA RESFRIAMENTO**

A forma mais comum de absorção do calor gerado em processos industriais é por meio da água, podendo-se destacar o resfriamento de um líquido qualquer por trocadores de calor, equipamentos nos quais dois fluidos trocam energia calorífica durante o escoamento em vazão uniforme.

Na maioria das vezes o fluido frio é a água, que deverá receber parte do calor do fluido quente, objetivando esfria-lo. Nessas condições a água tendo recebido parte do calor do fluido quente terá se aquecido, havendo necessidade da introdução constante de água fria para que o processo possa ocorrer de forma contínua.

Em situação de abundância, a água aquecida é simplesmente descartada na mesma medida em que é substituída por água fria captada de um manancial, conforme a figura 1.

FIGURA 1: SISTEMAS DE CIRCUITOS ABERTOS, SEM CIRCULAÇÃO DE ÁGUA



Em situações de escassez a água é continuamente resfriada para posteriores utilizações. Esse resfriamento pode ser feito em circuitos semi abertos com recirculação de água, de acordo com a figura 2, ou em sistemas fechados, também com recirculação de água como na figura 3. Enquanto o primeiro e o terceiro são denominados sistemas não evaporativos, o segundo é dito evaporativo e reutiliza água após resfriada em diferentes tipos de equipamentos denominados torres de resfriamento. No circuito inclui-se um sistema de tratamento adequado para evitar o acúmulo de material indesejável na superfície de troca de calor. Esse acúmulo de material é denominado **fouling** que, de acordo com DANTAS, E (s. d.) pode ser:

Fouling inorgânico: produtos de corrosão compostos por depósitos de óxidos de ferro, lama de fosfato de cálcio, poeira atmosférica ou incrustações como carbonato de cálcio, sulfato de cálcio e outras.

Fouling orgânico: materiais de altos pesos moleculares, oriundos de vazamentos de fluidos de processo, de composição química variada.

Fouling biológico: constituído por algas, fungos e bactérias formadores de limo ou material gelatinoso aderente às superfícies metálicas.

FIGURA 2: SISTEMAS EM CIRCUITOS SEMI ABERTOS, COM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

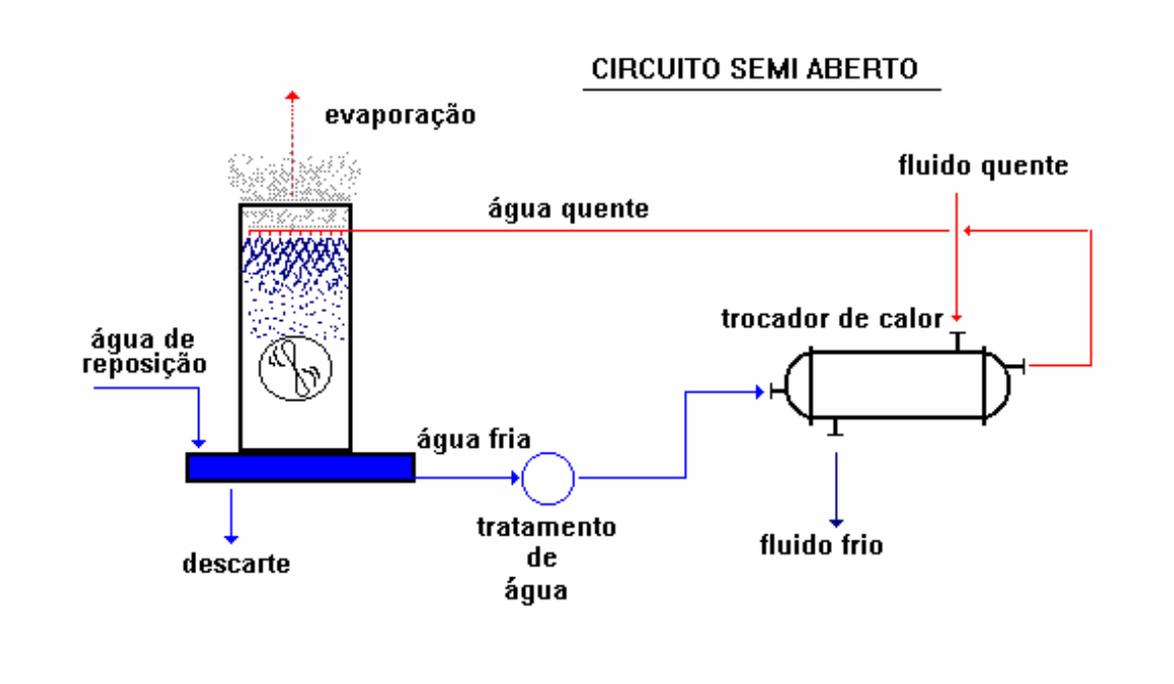
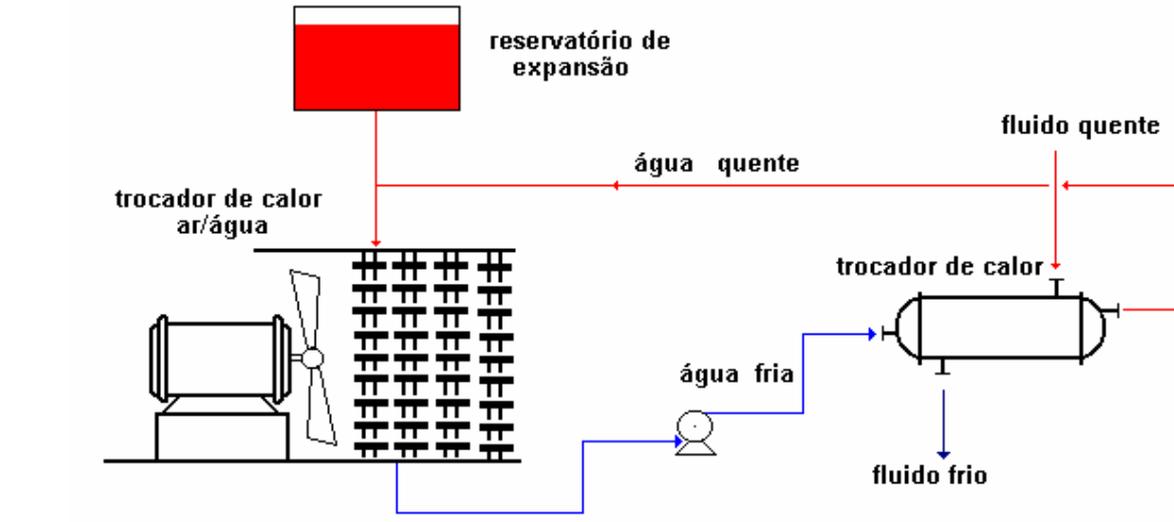


FIGURA 3: SISTEMAS FECHADO, COM CIRCULAÇÃO DE ÁGUA

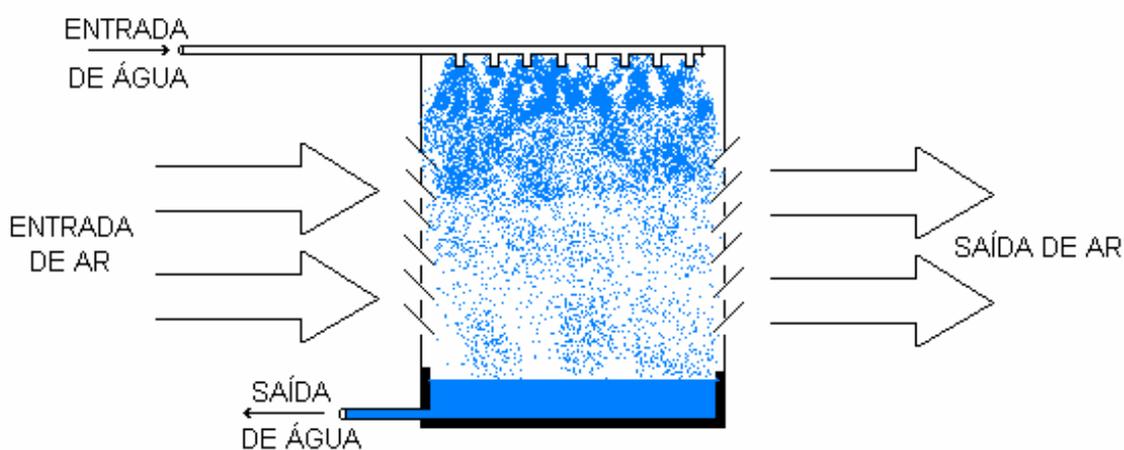


TORRES DE RESFRIAMENTO: EVOLUÇÃO

Torres com ventilação natural

As primeiras torres de resfriamento tinham ventilação natural, pouca eficiência e concepções simples, conforme desenho esquemático apresentado na figura 4, adaptada de DREW PRODUTOS QUÍMICOS LTDA (1979). Nesses pioneiros dispositivos, a água era recalçada até seu topo e nebulizada por bicos, aumentando sua área de contato com a corrente de ar, cuja vazão era controlada por venezianas localizadas nas paredes laterais de acordo com a figura 4.

FIGURA 4: PIONEIRA CONCEPÇÃO DE TORRE DE RESFRIAMENTO



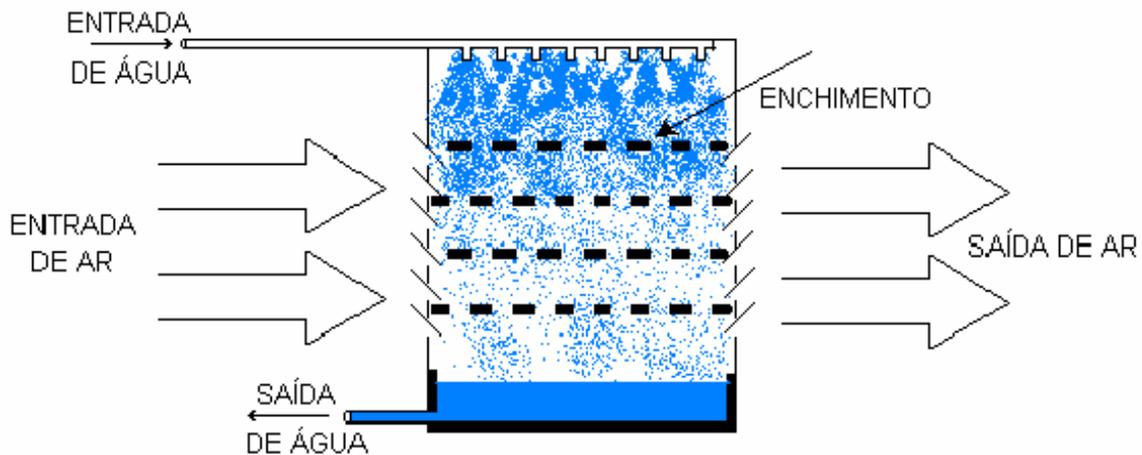
À medida que caía ao longo da torre, a água entrava em contato com o ar evaporando-se parcialmente. A água resfriada em certo volume era acumulada na bandeja inferior, de onde voltava para o processo e novamente reutilizada como fonte fria.

Essa concepção tornava necessário para se conseguir melhores resultados, que as torres de circulação natural fossem bastante altas e situadas em ângulo reto em relação aos ventos dominantes.

Torres com ventilação natural e “enchimento”

Mais tarde verificou-se que a introdução de obstáculos no seu interior, (chamados pelos fabricantes de “enchimento”) permitia um aumento na eficiência e grau de nebulização, intensificando a troca de calor entre a água e o ar, de acordo com a figura 5.

FIGURA 5: TORRE DE RESFRIAMENTO COM ENCHIMENTO



A introdução do conceito de “enchimento” reduziu substancialmente os custos de construção, na medida em que possibilitou a mesma dissipação de calor, utilizando torres menores.

Nesses equipamentos ocorriam perdas relativamente grandes de água, pois as gotículas dispersadas por arraste através das venezianas, correspondiam a cerca de 0,3 a 1,0% da vazão da torre.

A partir do final da Segunda Guerra Mundial a popularidade das torres com circulação natural de ar declinou, sendo substituídas por torres de circulação mecânica de ar, com tiragem forçada ou induzida.

Torres de resfriamento com tiragem forçada

Estes equipamentos utilizam um ventilador situado na base, ou nos lados da torre, para forçar o ar a entrar horizontalmente, e após subir para encontrar as gotículas descendentes de água. Modernamente, dispositivos eliminadores de gotículas colocados no topo da torre, minimizam a quantidade de água arrastada pela corrente de ar que sai.

Torres de resfriamento com tiragem induzida

Nessa concepção o ar é puxado para o interior da torre por meio de um exaustor localizado em seu topo ou em sua base. Para o primeiro caso, existem duas alternativas: tiragem induzida em contra corrente, onde o ar é dirigido para cima contra o fluxo das gotículas que caem sobre o enchimento, e a de tiragem induzida de fluxo cruzado onde o enchimento é colocado bilateralmente, logo à entrada do ar que passa pelo seu interior.

ÁGUA PARA TORRES DE RESFRIAMENTO

As considerações apresentadas neste item, dizem respeito ao consumo e a qualidade de água para torres de resfriamento

CONSUMO DE ÁGUA: REGRAS PRÁTICAS

As atuais torres de tiragem mecânica são projetadas de modo a minimizar as perdas de água pelo vento e arraste, mantidas entre 0,01 e 0,3% da vazão de recirculação, definida no item seguinte, segundo DREW PRODUTOS QUÍMICOS LTDA (1979).

Projetos industriais tem capacidade típica de resfriamento situada entre 5 e 30° C, denominada pelos fabricantes desse equipamento de “faixa”, que é definida como a diferença de temperatura entre a água quente de entrada e a água fria da bacia.

Cerca de 85 a 95% do resfriamento deve-se à evaporação, sendo o resto atribuído à transferência de calor para o ar circundante, por convecção.

Genericamente, a quantidade de água perdida por evaporação pode ser avaliada aplicando-se um fator de 0,85 a 1% da vazão de recirculação para cada 5,55 °C de queda de temperatura ao longo da torre, sendo 1,0% geralmente adotado para aproximações. Nessas condições, uma torre de resfriamento com uma vazão de recirculação de 24.000 m³/h e uma queda de temperatura de 14°C, perderia por evaporação cerca de 2,5%, ou 600 m³/h.

CONSUMO DE ÁGUA: BALANÇO DE MASSAS

A seguir são apresentadas as terminologias adotadas para a elaboração do balanço de massas dos três tipos de sistemas.

A: água de alimentação (*make up*), utilizada para compensar a perda no sistema (m³/h).

E: água de evaporação de sistemas evaporativos, principal responsável pelo abaixamento da temperatura da água circulante (m³/h).

R: água de respingo que sai junto com o fluxo de vapor e com o ar (m³/h).

P: água de purga (*blow dow*) utilizada para limitar as concentrações salinas da água, em sistemas evaporativos (m³/h).

C: ciclo de concentração, indicador do número de vezes que uma dada porção de água se concentra num sistema evaporativo.

V: volume estático no sistema. Nos sistemas evaporativos é dado pela soma dos volumes das bacias das torres, das tubulações e dos trocadores de calor (m³).

Para as concentrações salinas ou iônicas será adotada a seguinte terminologia:

ca: concentração iônica na alimentação

ce: concentração iônica na evaporação

cr: concentração iônica nos respingos

cp: concentração iônica nas purgas

cc: concentração iônica na circulação

Por outro lado, o balanço de massas para os sistemas de resfriamento pode ser dado pela relação abaixo:

$$A = E + R + P \quad (1)$$

Em termos de concentrações salinas, essa relação pode ser expressa da seguinte forma

$$A \text{ ca} = E \text{ ce} + R \text{ cr} + P \text{ cp} \quad (2)$$

SISTEMAS DE CIRCUITOS ABERTOS, SEM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

São sistemas não evaporativos onde a água não é reaproveitada, uma vez que é descartada após ter sido utilizada na troca térmica, conforme apresentado na figura 1.

Por não haver evaporação ou respingos, as relações (1) e (2) assumem as seguintes formas

$$A \text{ ca} = P \text{ cp} \quad \text{ou} \quad A = P$$

SISTEMAS FECHADO, COM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Da mesma maneira que o anterior, estes sistemas também não são evaporativos e teoricamente não devem apresentar perdas de água. Como do ponto de vista prático isso não ocorre, a expressão (1) terá a seguinte forma:

$$A = P$$

SISTEMAS EM CIRCUITOS SEMI ABERTOS, COM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Nesses sistemas todo calor absorvido pela água é dissipado em forma de calor latente e calor sensível nas torres de refrigeração, à razão de 75 a 90% sob a forma de calor latente e o resto sob a forma de calor sensível. Para tanto, parte da água é evaporada e parte é arrastada pelo vapor e pelo fluxo de ar.

Essa última parcela, que é arrastada pelo fluxo de vapor e de ar, se dá sob a forma de respingos e, como já foi dito, é da ordem de 0,01 a 0,3% sobre a vazão de recirculação, nas torres de tiragem mecânica.

Por outro lado, as perdas por evaporação nas torres de circuitos semi abertos com recirculação de água dependem de:

Diferencial de temperatura;

Umidade relativa do ar;

Grau de aproximação entre a temperatura da água e a temperatura de bulbo úmido.

Essas perdas são calculadas pela expressão abaixo

$$E = 0,185 \times [(\Delta t \times Q_{REC}) \div 100]$$

Sendo,

E = evaporação, em relação a vazão de recirculação

Δt = rebaixamento de temperatura da água recirculada (°C)

Q_{REC} = vazão recirculada (m³/h)

Aplicando a relação acima no exemplo utilizado para ilustrar as “regras práticas”, teríamos 621,6 m³/h como perda por evaporação.

Em função das perdas por evaporação e respingo, a água desses sistemas sofre concentração crescente do teor de sais dissolvidos que podem ser corrosivos ou incrustantes, devendo ser controlados por purgas programadas, que poderão ser contínuas ou intermitentes.

Em termos de vazão, o balanço material é dado pela relação (1), ou seja, há necessidade de uma reposição de um volume água igual a soma das perdas por evaporação, respingos e purgas:

$$A = E + R + P$$

Da equação (2), em termos de carga salina ou iônica tem-se:

$$A c_a = E c_e + R c_r + P c_p \quad (2)$$

Mas a concentração iônica na evaporação, $c_e = 0$; e as concentrações iônicas dos respingos (c_r) e das purgas (c_p) sendo iguais, serão chamadas simplesmente de concentrações salinas c_s , portanto, $c_r = c_p = c_s$. Assim sendo,

$$A c_a = R c_r + P c_p = R c_s + P c_s$$

$$A c_a = (R + P) c_s \quad (3)$$

Uma vez atingido o equilíbrio, as adicionais cargas salinas introduzidas pela água de reposição ou *make up* devem ser removidas na medida em que entram. Em outras palavras, no equilíbrio a carga de alimentação deverá ser igual a carga removida. Consequentemente,

$c_s/c_a = \text{constante} = C = \text{Ciclo de Concentração da Torre}$

Essa constante representa o número de vezes que a água de alimentação se concentrou no sistema.

Da equação (3),

$$cs/ca = A/(R + P)$$

Mas,

$$A = E + R + P$$

Portanto,

$$cs/ca = (E + R + P)/(R + P) \quad (4)$$

Como $cs/ca = C$

$$C = E/(R + P) + (R + P)/(R + P) = E/(R + P) + 1$$

Assim sendo, quando necessitamos limitar o ciclo de concentração de um sistema através de purgas, podemos calculá-las, desde que se conheça os volumes evaporados (E) e os respingos (R).

Da relação (4),

$$\begin{aligned} C(R + P) &= (E + R + P) \\ C.R + C.P &= E + R + P \\ C.P - P &= E - C.R + R \\ P(C - 1) &= E - R(C - 1) \\ P(C - 1)/(C - 1) &= E/(C - 1) - R(C - 1)/(C - 1), \text{ ou} \\ P &= [E/(C - 1)] - R \quad (5) \end{aligned}$$

Uma outra forma de se calcular a necessidade de água de reposição, é substituir o valor das purgas –dado pela relação (5)- na equação (1), ou seja:

$$\begin{aligned} A &= E + R + [E/(C - 1)] - R \\ A &= E + E/(C - 1) \therefore A(C - 1) = E.(C - 1) + [E(C - 1)/(C - 1)] \\ A.(C - 1) &= E.C - E + E \therefore A.(C - 1) = E.C \\ A &= E.C \div (C - 1) \end{aligned}$$

E os respingos podem ser calculados pela equação (1), substituindo o valor de A dado pela relação acima.

Outra informação importante é a taxa de concentração de um determinado íon ao longo do tempo, decorrente das purgas e de sua concentração na água de alimentação.

Chamando-se de W o peso total do íon de interesse, temos:

$$W = V.c - P.c + A.c_i, \text{ onde:}$$

W: peso do íon desejado (kg)

V: volume total de água no sistema (m³)

c: concentração do íon no sistema (kg/ m³)

c_i: concentração do íon na água de alimentação (kg/ m³)

P: vazão de purga (m³/h)

A: vazão de água de alimentação (m³/h)

O peso total (W) de um particular íon, em H horas, será dado por:

$W = (\text{VOLUME TOTAL DE ÁGUA NO SISTEMA} \times \text{CONCENTRAÇÃO DO ÍON NESSE VOLUME}) - [(\text{VAZÃO DE PURGA} \times \text{CONCENTRAÇÃO DO ÍON NO SISTEMA}) + (\text{VAZÃO DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO} \times \text{CONCENTRAÇÃO DO ÍON NA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO})] \times \text{NÚMERO DE HORAS}$

$W = V.c - (P.c + A.c_i)H$

TORRES DE RESFRIAMENTO: QUALIDADE DE ÁGUA

A seguir são apresentados os principais problemas que devem ser considerados em tratamento de água para sistema de resfriamento, bem como as formas de tratamento recomendadas para a produção de água adequada ao uso em torres, a partir de esgotos domésticos.

PROBLEMAS EM SISTEMAS DE CIRCUITOS ABERTOS, SEM CIRCULAÇÃO DE ÁGUA

- Sólidos suspensos

Quando as águas utilizadas em resfriamento são previamente decantadas para remover partículas acima de 0,1 mm, partículas menores como silte e coloidais podem causar depósitos internos nesses sistemas. Essas partículas quando em suspensão, provocam erosão nas paredes dos equipamentos e, em áreas de estagnação, depósitos que restringem o volume de água circulada, contribuindo para a formação de pilhas de aeração diferencial.

- Crostas

São depósitos aderentes, precipitados ou cristalizados na superfície de troca térmica. Esses depósitos resultam da existência de sais dissolvidos na água do sistema, que em determinadas condições se cristalizam na superfície de arrefecimento.

Nas águas ditas incrustantes, o aumento da temperatura provoca a transformação do bicarbonato de cálcio ou magnésio, em carbonato de cálcio e hidróxido de magnésio de muito baixa solubilidade, incrustando tubulações com crostas cristalinas ou amorfas.

Crostas de sulfato de cálcio são dificilmente encontradas nesses sistemas, porquanto sua solubilidade a 70 °C é da ordem de 180 ppm na água doce e de 5000 ppm na água do mar.

- Depósitos biológicos

Algas, fungos e bactérias podem causar problemas de deposição nos trocadores de calor, chegando em certos casos à obstrução.

Além da diminuição na transferência de calor e no fluxo de água, os depósitos biológicos podem propiciar a formação de pilhas de aeração diferencial, com intensa corrosão sob o depósito. O problema pode ser agravado com o aparecimento de bactérias anaeróbias, como as redutoras de sulfato, que geram H₂S atacando os metais formando os sulfetos correspondentes.

Águas ferruginosas, isto é, contendo elevadas concentrações de Fe²⁺, podem formar elevada tuberculização de Fe₂O₃.nH₂O, pela ação de bactérias oxidantes de ferro.

- Corrosão

O problema de corrosão nesses sistemas é bastante grave, devido a impossibilidade de um tratamento químico adequado que possa protege-los. Os tipos de corrosão que aparecem com mais frequência são: galvânicas, ou por metais dissimilares, e aeração diferencial.

A corrosão galvânica é decorrente do uso no equipamento de diferentes metais tais como aço-carbono, aço inox, ferro fundido, cobre e suas ligas, etc.

A corrosão por aeração diferencial é devida à presença de depósitos porosos na superfície metálica, formados por limo bacteriano ou lama. As áreas sob os depósitos que se acham menos aeradas funcionam como anodo e as áreas limpas, mais aeradas, como catodo. A corrosão é do tipo localizada, com o aparecimento de pites ou alvéolos.

- Erosão - cavitação

Sólidos suspensos, velocidade de fluxo elevada e zonas de depressão nos sistemas abertos, sem ou com recirculação de água e em sistemas fechados, podem provocar problemas de erosão por cavitação.

PROBLEMAS EM SISTEMAS EM CIRCUITOS SEMI ABERTOS, COM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

- Depósitos

Originam-se de uma ou mais causas como:

- água com decantação deficiente, provocando pós precipitação no sistema;
- deficiência na filtração, permitindo a passagem de flocos da decantação;
- absorção de poeira do meio ambiente;
- teores elevados de íons de ferro (II), Fe^{2+} , que pela ação das bactérias ferro-oxidantes são oxidados, e posteriormente precipitados como tubérculos nas tubulações.

- Crostas

As seguintes condições propiciam a formação de crostas:

- presença de dureza temporária;
- presença de silicatos solúveis junto a sais de magnésio.

- Fouling

Consiste num aglomerado de materiais, onde o ligante normalmente é a biomassa e, em outros casos, óleo mineral ou fluidos de processo com material aglutinado, sólidos suspensos como silte, lama, produtos de corrosão e outros precipitados inorgânicos.

- Depósitos metálicos

Podem aparecer na superfície de tubos de aço-carbono, decorrentes da redução de sais metálicos solúveis em água e que nela foram colocados para determinados fins, ou então como produto de ataque de um meio corrosivo.

- Borrás ou lamas de fosfato

São comuns quando no tratamento da água se utilizam tripolifosfatos ou polimetafosfatos de sódio empregados como inibidores de corrosão, agentes anti incrustantes e como dispersantes.

PROBLEMAS EM SISTEMAS FECHADOS, COM CIRCULAÇÃO DE ÁGUA

- SISTEMAS DE ÁGUA GELADA

Não apresentam problemas de incrustação devido a temperatura ser inferior àquela necessária para provocar precipitação de dureza. Problemas com microrganismos, somente poderão existir quando a temperatura da água estiver acima de 0°C e mesmo assim de pequena monta. Os problemas nesses sistemas estão restritos à corrosão, principalmente provocada pelas diferenças de potenciais entre os diferentes materiais utilizados.

- SISTEMAS DE ÁGUA QUENTE

São usados para calefação ou para processos em indústrias alimentícias quando se requer água quente ou superaquecida, com temperatura variando entre 80 a 160°C. Esses sistemas podem apresentar problemas de corrosão ou incrustações, quando a água apresentar dureza.

REUSO DE ÁGUA PARA TORRES DE RESFRIAMENTO, A PARTIR DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

QUALIDADE DE ÁGUA REQUERIDA

Em função dos problemas descritos, foram desenvolvidos padrões de qualidade de água de reuso para torres de resfriamento. A tabela 2 a seguir insere os padrões recomendados pela ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY –EPA (1992) para água de reposição em sistemas de resfriamento com circuitos semi abertos, com recirculação.

TABELA 2: QUALIDADE DE ÁGUA DE REPOSIÇÃO OU “MAKE UP” PARA USO EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO COM CIRCUITOS SEMI ABERTOS, COM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

PARÂMETRO ^a	LIMITE RECOMENDADO ^b
Cl ⁻	500
Sólidos totais dissolvidos	500
Dureza	650
Alcalinidade	350
pH	6,9 – 9,0
DQO	75
Sólidos em suspensão totais	100
Turbidez	50
DBO	25
Material orgânico ^c	1,0
NH ₄ -N	1,0
PO ₄	4
SiO ₂	50
Al	0,1
Fe	0,5
Mn	0,5
Ca	50
Mg	0,5
HCO ₃	24
SO ₄	200

^a –Todos os valores em mg/l, exceto pH

^b –Water Pollution Control Federation, 1989

^c –Substâncias ativas ao azul de metileno

REVER

FONTE: Referência (5)

TECNOLOGIA PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA DE QUALIDADE COMPATÍVEL COM O USO EM TORRES DE RESFRIAMENTO

A seleção do *sistema de tratamento* a ser adotado é um passo importante para o êxito da implantação de um projeto de reuso. CULP, G. et al. (1980) conceituam *sistema de tratamento* como uma sequência de operações e processos unitários definidos em função das características do líquido a ser tratado, dos objetivos pretendidos com o tratamento e da capacidade de remoção de cada processo ou operação unitária.

Esses autores **op. cit.** desenvolveram seqüências de processos capazes de produzir efluentes de qualidades variadas, destinadas a diversos usos potenciais. Cada seqüência a ordem dos

processos baseia-se em experiência operacional de instalações, e respectivas relações entre os processos.

De um modo geral, processos e operações unitárias são acrescentadas sucessivamente constituindo *sistemas de tratamento* nos quais há a obtenção de níveis de tratamento cada vez mais acurados, portanto, gerando melhor qualidade do efluente.

A definição dos níveis foi feita a partir de um patamar mínimo de qualidade do efluente, (nível 1), evoluindo para outros subseqüentes, à medida em que novos acréscimos de processos unitários vão sendo adicionados.

O nível mais baixo como condição prévia para o reuso, inclui o tratamento preliminar dos esgotos (gradeamento, desarenação e decantação primária), culminando com o nível 13 definido pelos autores, como sendo aquele de mais alta qualidade para os tipos de reuso mais empregados.

Os *sistemas de tratamento* indicados por modalidade de reuso foram publicados por MANCUSO, P. C. S. (1988), a partir dos trabalhos de CHANEY, R. L (1984), AMARAL, R. (1979) e de CULP, G. et al. (1980). Nessa publicação, os 13 níveis de tratamento aparecem correlacionados com os vários usos de água obtida a partir de esgotos domésticos, e que foram submetidos aos diversos *sistemas de tratamento*

O autor chama a atenção do leitor para o fato de que a escolha de uma determinada sequência de processos unitários, aqui denominada *sistema de tratamento*, através dessa metodologia é preliminar, devendo ser aferida através de estudo piloto desenvolvido em laboratório.

A aplicação dessa metodologia determinou a escolha do nível 6 como sendo o *sistema de tratamento* mais adequado ao reuso de água a ser utilizada em torres de resfriamento de sistemas semi abertos, com recirculação de água.

A figura 6 mostra o fluxograma correspondente ao sistema de tratamento que deve ser projetado para a produção de água de qualidade de nível 6, partindo-se de esgoto doméstico, de acordo com a escala de CULP, G. et al. (1980).

Uma outra alternativa para a produção de água apropriada ao uso em sistemas semi abertos de resfriamento com recirculação de água, pode ser visualizada na figura 7 que foi escolhida pelos consultores da FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (1997), dentro do Programa de Conservação do Sistema Cotia da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, SABESP, no dimensionamento das unidades de reuso para fins industriais em torres de resfriamento, a partir do efluente da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri.

Os dois sistemas de tratamento antes apresentados partem de esgoto doméstico bruto e são bastante eficientes. Entretanto, ambos refletem a experiência de seus autores podendo ser tomados com ponto de partida para embasar estudos em laboratório, em função das características de cada projeto e da qualidade da água bruta.

Como está representado na figura 3, além do tratamento acima referido, chamado de tratamento externo, há necessidade de um tratamento interno que normalmente pode incluir a adição de ácidos para controle de pH, de biocidas e inibidores de depósitos, conforme recomendado por ASANO, T. & Levine, A. D. (1998).

FIGURA 6: TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO A NÍVEL 6

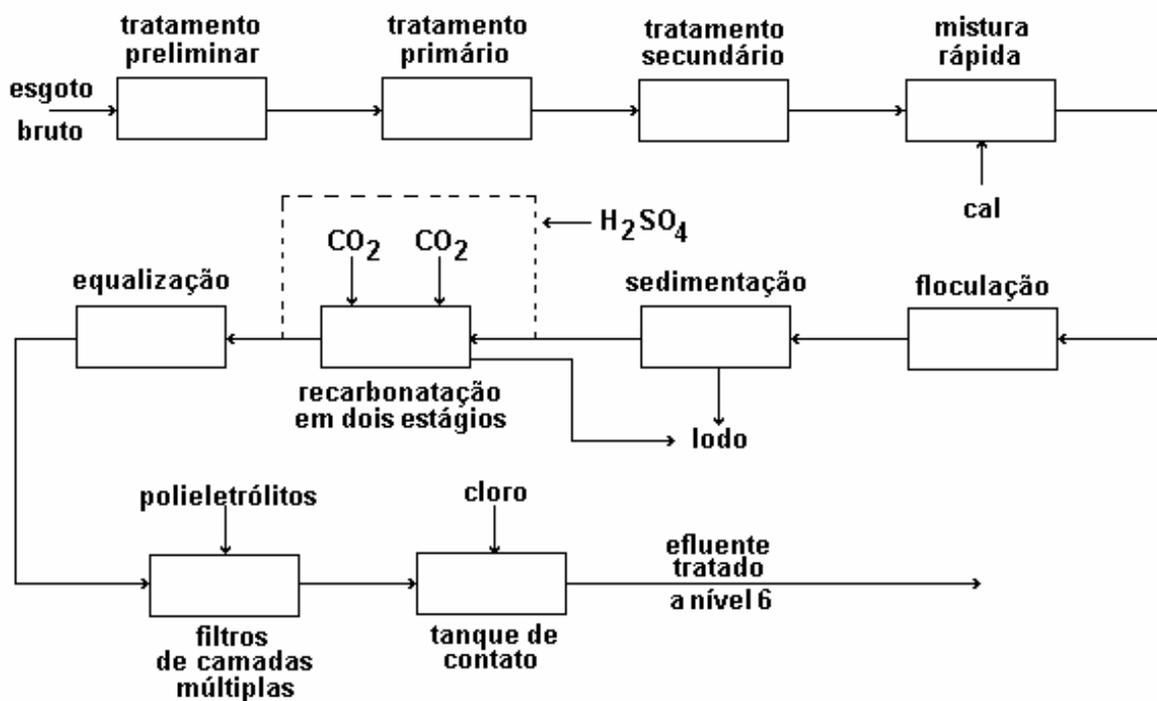
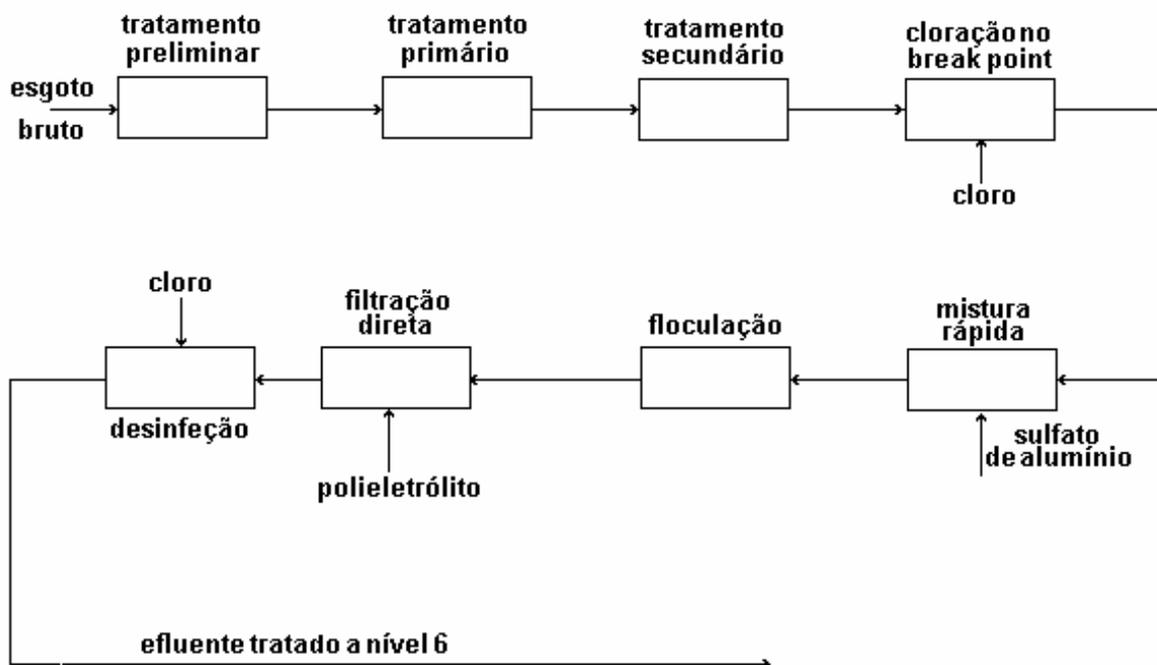


FIGURA 7: TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO A NÍVEL 6. PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA COTIA



4- RESULTADOS

Na tabela 3, são apresentados dados de campo fornecidos pelas fontes referendadas na seqüência. Nessa tabela, as grandezas indicadas em **negrito** referem-se a valores obtidos a partir de medições enquanto que aquelas indicadas em *itálico* foram estimadas, a partir do balanço de massas.

TABELA 3: DADOS SOBRE TORRES EM OPERAÇÃO (VAZÕES EM m³/h)

TORRE	A	P	E	REC	R	PT (%)	$\Delta T(^{\circ}C)$	C
1	170	48	<i>122</i>	6.660	<i>3,33</i>	<i>2,55</i>	<i>9,90</i>	<i>3,30</i>
2	66	19	<i>47</i>	3.800	<i>3,80</i>	<i>1,73</i>	<i>6,68</i>	<i>2,90</i>
3	25	7	<i>18</i>	1.754	<i>3,51</i>	<i>1,42</i>	<i>5,55</i>	<i>2,50</i>
4	16	14	<i>2</i>	120	<i>0,36</i>	<i>13,33</i>	<i>9,00</i>	<i>1,13</i>
5	147,09	8,92	<i>133,20</i>	4.800	<i>9,60</i>	<i>3,06</i>	15,0	<i>8,19</i>
6	<i>2,07</i>	<i>0,55</i>	<i>1,38</i>	136	<i>0,14</i>	<i>1,52</i>	5,5	3
7	<i>5,92</i>	<i>1,18</i>	<i>4,44</i>	300	<i>0,30</i>	<i>1,97</i>	8,0	4
8	<i>6,21</i>	<i>0,92</i>	<i>4,66</i>	630	<i>0,63</i>	<i>0,98</i>	4,0	4
9	<i>1.332</i>	<i>279</i>	<i>999</i>	36.000	<i>54</i>	<i>3,70</i>	15,0	4

Terminologia adotada:

A: água de alimentação (m³/h).

P: água de purga (m³/h).

E: água de evaporação (m³/h).

REC: volume estático do sistema (m³).

R: água de respingo (m³/h).

PT: vazão perdida em relação ao volume estático (%)

$\Delta T(^{\circ}C)$: faixa

C: ciclos de concentração

FONTES

1) Torres 1, 2, 3 e 4: Refinaria de Petróleo de Capuava em Mauá (SP).

2) Torre 5: Usina de Açúcar Equipave em Lins (SP).

3) Torre 6: água de condensação de instalação de ar condicionado (dados fornecidos pela Alpina, Equipamentos Industriais Ltda).

4) Torre 7: resfriamento de água de processo de indústria química (dados fornecidos pela Alpina Equipamentos Industriais Ltda).

5) Torre 8: água de condensação de instalação de ar condicionado (dados fornecidos pela Alpina Equipamentos Industriais Ltda).

6) Torre 9: resfriamento de água de processo industrial (dados fornecidos pela Alpina Equipamentos Industriais Ltda).

5- CONCLUSÕES

Como já foi dito, cerca de 85 a 95% do resfriamento deve-se à evaporação, sendo o resto atribuído à transferência de calor para o ar circundante por convecção, portanto torres que

trabalham com faixas de temperatura mais amplas, necessitam de grandes vazões de reposição.

De acordo com informações coletadas na Alpina Equipamentos Industriais Ltda, fabricante desses equipamentos, cerca de 40% das torres vendidas são destinadas ao resfriamento de água utilizada em instalações de ar condicionado e nesse processo a faixa de temperatura normalmente não é grande, como é o caso das torres 6 e 8, havendo nesses dois casos baixos consumos de água.

Entretanto existem certos processos industriais que exigem torres com altas capacidades de troca de calor, como no caso das torres 5 e 9, consumindo grandes quantidades de água.

Embora as unidades 1, 2, 3 e 4 sejam da mesma empresa, a justificativa para o alto percentual de vazão perdida (PT) da torre 4, não foi esclarecida.

Com base no depoimento e na experiência dos fabricantes de torres de resfriamento e na literatura internacional especializada, é possível afirmar que o planejamento de um programa de reuso de água para fins industriais deve iniciar-se pelo estudo das unidades de resfriamento existentes no local, o que foi comprovado pela pesquisa de mercado efetuada para a SABESP quando do lançamento do seu Plano de Reaproveitamento de Águas para o Abastecimento das Indústrias do Estado de São Paulo.

7- AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos Professores Ana Maria Cervato, Aristides de Almeida Rocha e José Luiz Negrão Mucci da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo pela leitura dos originais, aos Engenheiros Ivo Nicolielo Antonio Junior, José Everaldo Tofano Vanzo e Luiz Henrique Peres e ao Biólogo Nelson Luiz da Silva da SABESP pelas informações prestadas, à Refinaria de Petróleo de Capuava e à Usina Equipave pelos dados fornecidos e à Alpina Equipamentos Industriais Ltda na pessoa do Engenheiro José Celso C. Faria pela cordialidade com que foi recebido em suas instalações, pelas informações prestadas e pela leitura crítica dos originais.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- AMARAL, R. apud Environment of Canada. **Water quality sourcebook**. Canada; 1979.
- 2- ASANO, T. & LEVINE, A. D. In: ASANO, T. **Wastewater reclamation and reuse**. Lancaster, Pennsylvania, USA, Technomic Publishing Company, Inc. p. 1–56; 1998.
- 3- CHANEY, R. L. apud Minister of Supply and Services Canada. **Manual for land application of treated municipal wastewater and sludge**. Ontario, Canada; 1984.
- 4- CULP, g. et al. **Wastewater reuse and recycling technology**. New Jersey, USA. Noyes Data Corporation; 1980.
- 5- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY –EPA. **Guidelines for water reuse**. Washington (DC), USA; 1992.
- 6- DANTAS E. **Geração de vapor e água de refrigeração**. Sem data.
- 7- DREW PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. **Princípios de tratamento de água industrial**. São Paulo; 1979.

8- FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Projeto de Reabilitação, Expansão e Conservação do Baixo Cotia. Relatório Conclusivo (Tomo I): Avaliação Tecnológica.** São Paulo; 1997.

9- LAW, I. B. Refuse, recycling and resource recovery in industrial applications. **Water Science and Technology**, **18** (3): 57 – 67; 1986.

10- MANCUSO, P. C. S. **Reuso de água.** São Paulo; 1988. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da USP].

11- VALIRON, F. et al. **La Reutilization des Eaux Usée.** Paris, França. BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières). Technique et Documentation (Lavoisier); 1983.

12- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** – 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 5v.