

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

TRATAMENTO DAS ÁGUAS DE CHUVA ESCOADAS
SOBRE TELHADO E AVALIAÇÃO DO SEU USO

RODRIGO FELIPE PFAU CIPRIANO

BLUMENAU
2004

RODRIGO FELIPE PFAU CIPRIANO

TRATAMENTO DAS ÁGUAS DE CHUVA ESCOADAS
SOBRE TELHADO E AVALIAÇÃO DO SEU USO

Dissertação apresentada à banca de avaliação do
Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade
Regional de Blumenau, como requisito para obtenção
do grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle

Co-Orientador: Prof. Dr. Adilson Pinheiro

BLUMENAU
2004

FICHA CATALOGRÁFICA

CIPRIANO, Rodrigo Felipe Pfau.

Tratamento das águas de chuva escoadas sobre telhado e avaliação do seu uso. Dissertação de mestrado. Universidade Regional de Blumenau, 2004. 89 p.

Título I. Tratamento das águas de chuva.

Título II. Avaliação do uso das águas de chuva

TRATAMENTO DAS ÁGUAS DE CHUVA ESCOADAS EM TELHADO E AVALIAÇÃO DO SEU USO

por

RODRIGO FELIPE PFAU CIPRIANO

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Regional de Blumenau – FURB.



Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle
Orientador

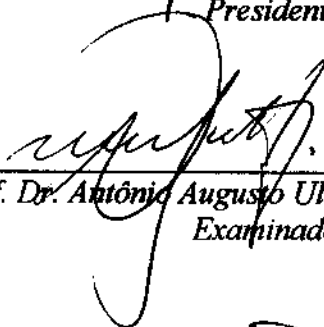


Prof. Dr. Adilson Pinheiro
Co-orientador e Coordenador do PPGA

Banca examinadora:



Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle (FURB)
Presidente



Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza (UFSC)
Examinador



Prof. Dr. Marcos Rival da Silva (FURB)
Examinador



Prof. Dr. Ademar Cordero (FURB)
Examinador

Blumenau, 24 de novembro de 2004.

Ao meu irmão-amigo,
Alexandre,
que,
distante da matéria,
acompanha-me,
desde outra dimensão,
indicando-me o norte –
caminho do exemplo para a retidão.

AGRADECIMENTOS A

meus orientadores,
José Alexandre Borges Vale
Adilson Pinheiro,
que me guiaram,
neste caminho da pesquisa,
e me fizeram crescer;

meus pais,
Waldomiro e Neusa,
com amor, paciência e resignação,
esculpam em mim a integridade
moral,
para que eu possa,
com justiça,
contribuir, para cada qual ao meu
redor,
com a felicidade individual e coletiva;
e
a todos que,
de alguma forma,
estiveram presentes comigo, para
o melhor desempenho desta
realidade.

RESUMO

Esta pesquisa, qualitativa e quantitativa, é resultado de experimentos para o tratamento e qualidade das águas de chuva, escoadas sobre telhados, para uso doméstico e industrial. A escolha do tema se justifica pelo fato de o aproveitamento da água de chuva ser uma resolução auxiliar à escassez de água, principalmente em locais onde a falta deste recurso é uma restrição ao desenvolvimento social. Ainda, resoluciona questões de drenagem urbana, desde que a captação deste tipo de água diminui o escoamento direto e, conseqüentemente, possíveis inundações. Nela, objetivam-se, antes, estudar a qualidade da água de chuva e, posteriormente, a redução das impurezas aí contidas, por um sistema de tratamento de água. Para tanto, instalou-se um coletor de água de chuva, em uma edificação do Campus II - Blumenau, SC, à Universidade Regional de Blumenau, onde efetivaram-se ensaios de tratamento de água e cujos elementos filtrantes foram distribuídos; a saber, um, com carvão e, outro, com areia. Em ambos, houve variação às características construtivas e assim também às condições de operação. Ao que se verificou a influência do tratamento da água. Procedeu-se à desinfecção, por radiação ultravioleta. Ao que se constatou que a filtração, seguida de desinfecção com radiação ultravioleta, apresentou resultados satisfatórios, conforme a Portaria 518/2004. Para efeito, conclui-se que o sistema é simples e de fácil manutenção; pois que não deixa resíduos químicos e dispensa o próprio tratamento químico. Ainda, observou-se que tanto a água bruta quanto a tratada atendem aos requisitos estabelecidos para alguns usos industriais.

Palavras chave: água de chuva, tratamento, radiações, ultravioleta.

ABSTRACT

This research, qualitative and quantitative, is resulted of experiments for the treatment and quality of rain waters, flowed off on roofs, for domestic and industrial use. The choice of the subject is justified by the fact of the exploitation of the rain water to be an auxiliary resolution to the water scarcity, mainly in places where the lack of this resource is a restriction to the social development. Still, resolute questions of urban draining, since that the captation of this type of water diminishes direct draining and, consequently, possible floodings. It is objectified, before, to study the quality of the rain water and, later, the reduction of the impurities in the contained one, by a system of water treatment. For in such a way, a rain water collector was installed, in a construction of the Campus II-Blumenau, SC, at the Regional University of Blumenau, where assays of filter water treatment had been accomplished and whose element had been distributed; to know; one with coal and, another one, sand. In both, it thus had variation to the constructive characteristics and also to the readinesses. Of it was verified there influence of the treatment; of the water. It was proceeded disinfection, for ultraviolet radiations. To that the followed filtration and ultraviolet disinfection was evidenced that, it presented satisfactory results, as Portaria 518/2004. For effect, was concluded that the system is simple and of easy maintenance; therefore that it does not leave chemical residues and it excuses the proper chemical treatment. Still, it is observed that as much the raw water how much the treated one takes care of to the requirements established for some industrial uses.

Key words: rain water, treatment, radiations, ultraviolet.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xii
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA	18
2.2. ÁGUA EM PROCESSOS INDUSTRIAIS	24
2.2.1 Águas de refrigeração	24
2.2.2 Águas de produção de vapor	25
2.2.3 Água para a indústria de refrigerantes	25
2.2.4 Água para a indústria de cervejas	26
2.2.5 Água para a indústria de polpa e papel.....	27
2.2.6 Água para a indústria têxtil.....	28
2.2.7 Água para a indústria alimentícia	29
2.2.8 Água para a indústria de plásticos	29
2.2.9 Água para a indústria farmacêutica.....	29
2.3 SISTEMA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA.....	32
2.3.1 Filtração	33
2.3.2 Leitos filtrantes e camada suporte.....	34
2.3.3 Filtros lentos.....	36
2.3.4 Mecanismos atuantes na Filtração.....	37
2.3.4 Aspectos Operacionais	38
2.3.5 Carvão ativado ou antracito	39
2.3.6 Desinfecção por radiação ultravioleta	41
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA.....	42
3.2 SISTEMA DE CAPTAÇÃO	45
3.3 TRATAMENTO DA ÁGUA	49
3.3.1. Velocidade de interesse na filtração.....	50
3.3.2 Princípios de cálculo do reator ultravioleta.....	51
3.3.3 Ensaios, utilizando areia como meio filtrante	54
3.3.4 Ensaios com carvão ativado como meio filtrante	58
3.4 COLETA DE AMOSTRAS E ANÁLISES.....	61
4 RESULTADOS E DICUSSÕES.....	63
4.1 ANÁLISE DA ÁGUA DE CHUVA DIRETA E DOS RESERVATÓRIOS DE AUTOLIMPEZA E DETENÇÃO	64
4.2 FILTRAÇÃO COM AREIA E DESINFECÇÃO COM RADIAÇÃO UV	69
4.3 TRATAMENTO COM CARVÃO E DESINFECÇÃO COM UV	73
4.3.1 Carvão antracitoso como meio filtrante	73
4.3.2 Carvão ativado padrão adsorção como meio filtrante	74
4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL	79
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	84
6 REFERÊNCIAS.....	86

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Valores médios dos parâmetros da chuva, coletados nos diferentes tipos de cobertura.....	22
QUADRO 2 – Padrões de potabilidade, estabelecidos pela Portaria n.º 518/2004, do Ministério da Saúde	23
QUADRO 3- Efeitos do resultado dos parâmetros nas águas industriais e faixas ideais de utilização.....	30
QUADRO 4 - Análise granulométrica da areia do meio filtrante	54
QUADRO 5 - Análise granulométrica do carvão ativado, utilizado como meio filtrante ao nono e décimo ensaio	58
QUADRO 6 - Médias e desvio padrão (DP) dos parâmetros analisados em relação aos reservatórios de autolimpeza e chuva direta	64
QUADRO 7: Resultados da filtração com areia e desinfecção com ultravioleta.....	70
QUADRO 8: Médias do reservatório de retenção e filtração, com carvão ativado tipo antracitoso de diâmetro maior de 1,7 mm	73
QUADRO 9: Média da caixa de retenção e a filtração com carvão ativado padrão adsorção de diâmetro maior de 1,7 mm	75
QUADRO 10: Média da caixa de retenção e da filtração com carvão ativado padrão adsorção de granulometria menor que 1,7 mm	75
QUADRO 11: Adequação da água em diversos pontos em relação a diversos processos industriais.....	81

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Sistema de captação das águas de chuva	45
FIGURA 2 - Cobertura do Campus II da Furb e sistema de captação onde é coletada a água para o reservatório de detenção	46
FIGURA 3 - Reservatório de auto limpeza	46
FIGURA 4 - Reservatório de detenção com conduto extravazador e válvula globo na saída para o controle da vazão	47
FIGURA 5 - Representação Esquemática da Instalação Piloto de Tratamento de Água de Chuva	48
FIGURA 6 - Abertura das peneiras, pela porcentagem de areia passante	55
FIGURA 7 - Abertura das peneiras, com porcentagem passante de carvão ativado.	58
FIGURA 8 - Tratamento da água de chuva, com carvão ativado, como meio filtrante, desinfecção com ultravioleta	59
FIGURA 9 - Frascos para amostragem da água de chuva	61
FIGURA 10: Regime de chuvas no ano de 2003 e 2004	62
FIGURA 11: Redução de coliformes totais, depois do filtro de areia	71
FIGURA 12: Valores de pH, à entrada e à saída do filtro	76
FIGURA 13: Resultados de cor aparente na entrada e na saída do filtro	76
FIGURA 14: Valores de ferro total, à entrada e à saída do filtro	77
FIGURA 15: Valores de turbidez, à entrada e à saída do filtro, em todos os dez ensaios.....	77

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABN	Associação Brasileira de Normas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AP	padrão absorção
Ca	cálcio
CaCO ₃	carbonato de cálcio
CAG	carvão ativado granulado
Cl	cloro
cm	centímetro
CT	coliformes totais
D _s	diâmetro médio superficial
D _i	diâmetro médio
DDT	agrotóxico
DP	desvio padrão
D _s	diâmetro médio superficial
et al.	e outros
FURB	Fundação Universidade Regional de Blumenau
Log	logarítmo
K	potássio
I	intensidade
J	jaule
L	litro
L/h	litro por hora
m	metro
m/D	metro/dia
ml	milímetro
mg	miligramas
mJ	microjaule
m ²	metro quadrado
m ³	metro cúbico
m ³ / m ² d	metro cúbico por metro quadrado ao dia
min	minuto(s)
mm	milímetro
mW.s	microwat.segundo
ms	metro por segundo
n	número de peneiras
nm	nano metro
n.º	número
p.	página(s)
pH	potencial higrogênico
ppm	parte por milhão
R	raio
S	energia total da fonte
Si	sílica
SP	São Paulo
Q	vazão afluyente ao filtro
T	tempo de exposição à redução

µm	micro metro
µs/cm	micro
uT	unidade de turbidez
uH	unidade de escala Hazen
UV	ultravioleta
W	watt
ΔXi	massa ponderal
<	menor
>	maior
%	percentual
°C	graus centígrados

1 INTRODUÇÃO

A água é um fator limitante, quer para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, mesmo em regiões cujos recursos são abundantes, embora o mau gerenciamento possa comprometer a qualidade dela. Neste contexto, planejadores e entidades gestoras procuram novas fontes, para complementar a pequena disponibilidade hídrica.

Em vários países do Oriente Médio, onde há precipitações médias, em torno de 100 e 200 mm, ao ano, dependem de reservatórios subterrâneos e de poucos rios perenes. A água potável é mantida por sistemas de dessalinização, impossíveis de atender à demanda de uma agricultura irrigada; razão por que, para manter o mercado interno, importam-se mais de 50% dos alimentos. A escassez não é privilégio apenas de regiões áridas; muitas outras regiões cujos recursos hídricos são abundantes e passíveis de escassez podem sofrer por demandas excessivamente elevadas e de conflitos entre usos e restrições de consumo.

Pode-se afirmar também que a água é essencial para a existência da própria vida sobre este Planeta, pois é um dos principais componentes do protoplasma (no caso do homem, 70% são de seu corpo e 90%, de seu sangue) é responsável pelo equilíbrio térmico da terra (VIANNA, 1992).

Estas razões justificam a importância das pesquisas nessa área cuja proteção da qualidade da água, desde a captação até a entrega ao consumidor, não dispensa atenção, em virtude de a água ser uma fonte de transmissão de uma série de doenças, causadas por agentes físicos, químicos e biológicos.

O conceito de substituição de fontes se mostra alternativa mais plausível, para satisfazer demandas mais restritivas, liberando a água de melhor qualidade, para uso mais nobre, enquanto as águas de qualidade inferior tais como esgotos, águas de drenagem agrícola e águas salobras são consideradas fontes, para uso menos restritivo.

Segundo Fendrich (2002), uma fonte alternativa de água é o aproveitamento das águas de chuva e, ainda, sua captação e armazenamento são maneiras de prevenção de cheias, pois a água, captada, não é jogada diretamente na rede de drenagem, de modo a reduzir o escoamento rápido, principal causador de enchentes e enxurradas. A água, coletada em telhados, é, normalmente, usada para fins não-potáveis, tais como descargas de banheiros ou rega de jardins, dessa forma contribui para a diminuição do consumo de água residencial. Entretanto, é na indústria que essa água parece deter o maior potencial, em função das maiores áreas de telhados e de um grande consumo de água que necessita, para esse caso, de análises capazes de determinar, respectivamente, uso e tratamento com vistas a atender a qualidade e quantidade requeridas.

Tordo (2004) demonstrou que a água de chuva, escoada sobre edificações, apresenta qualidade que atende à maior parte dos padrões de potabilidade, estabelecida pela Portaria 518, de 2004, do Ministério da Saúde. Condição que implica esforço para transformar tal água para usos potáveis. Neste contexto, duas questões se impõem de modo pertinente: em função da qualidade da água, escoada sobre telhado, qual o tratamento adequado para potabilizar a água de chuva? Quais os usos a serem recomendados para a água da chuva,

coletada de escoamento sobre coberturas das edificações, segundo os requisitos industriais?

Para se obterem respostas às questões, estabeleceram-se os seguintes objetivos:

- Objetivo geral

a) Estudar um processo de tratamento às águas de chuva, para obter aproveitamento cujos fins sejam potáveis e industriais.

- Objetivos específicos

a) Construir um sistema para a captação seletiva da água de chuva e um sistema

b) para tratamento;

c) operar o sistema de tratamento de água cuja canalização confere influência aos seus diferentes módulos e parâmetros;

d) comparar os parâmetros de qualidade da água à entrada e à saída do sistema para tratamento, com os padrões de potabilidade e requisitos industriais, com cujo resultado se há de propor as melhores condições operacionais, para o tratamento da água de chuva, nos sistemas estudados; e

e) indicar o uso adequado à água de chuva, coletada e tratada.

Este estudo está distribuído em capítulos e, nesta ordem, apresentado.

Ao primeiro capítulo, consta esta introdução e, nela, uma visão geral do tema que aqui é objeto deste estudo, a problemática, a justificativa, os objetivos e a disposição do trabalho.

Ao segundo capítulo, revisão bibliográfica, constam conteúdos de autores especialistas e estudiosos afins, nos quais se buscou apoio, ou sejam, qualidade da água de chuva, água em processos industriais e sistema para tratamento de água.

Ao terceiro capítulo, material e método, constam, além da descrição, referencial ao título, a caracterização da água, sistema de captação, tratamento da água e coleta de amostras e análises.

Ao quarto capítulo, para as questões resultados e discussão, constam análise da água de chuva e dos reservatórios de autolimpeza e detenção; filtração com areia e desinfecção com radiação UV; tratamento com carvão e desinfecção com UV e, por fim, considerações sobre a utilização industrial.

E, para efeito desta pesquisa, as conclusões e recomendações; ainda, por fim, constam as referências de autores de cujas obras foram aqui utilizadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Objetivou-se, para este capítulo, apresentar um estudo sobre a fundamentação teórica de autores, tais como Abbas e Bruns (1998), Pereira e Mueller (2001), Flues *et al.* (2002), Tordo (2004); Simmons *et al.* (2001), Appan (1999), e Coombes, Argue e Kuczera (1999) com cujos respaldos se puderam tratar da qualidade da água analisada e dos sistemas para tratamento da água, existentes.

Para a água cujo uso se destina a processos industriais, em 2.2, buscaram-se estudos em Germain (1972), Beber (2004), Santos Filho (1976) e Kemmer (1988).

Para o sistema de tratamento da água, em 2.3, os estudos apresentados advieram de Di Bernardo (1972), Smith, Khow e Hill (2002), Reinold (2002) Oosteron, Koenhen e Bos (2000), Laire *et al.* (1998), Murtha (1999), Murtha e Heller (2003), Sperling (1996), Richter (1995), Di Bernardo *et al.* (2002), Baird (2002), Schaeffer (2003), Funshen *et al.* (2002), Duck e Voorde (2003), Daniel (2001), Gonçalves (2003), Tarran (2003), Giesy e Darby (2000), e, por fim, Lehtola *et al.* (2003).

2.1 QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

Abbas e Bruns (1989), em seus estudos sobre a qualidade da água, caracterizaram as águas de chuva, da cidade de Cubatão (SP), conforme os níveis de íons inorgânicos (Na^+ , Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , NH_4^+ , PO_4^{-3}) e cujos

resultados mostraram que a concentração iônica da água é diferente em bairros diferentes, e se associam às atividades antrópicas locais (poluição industrial) e também à contribuição natural oceânica.

Pereira e Mueller (2001) estudaram a ocorrência de chuva ácida em duas localidades de Blumenau (SC), ao que obtiveram que a caracterização química das águas das chuvas revelou que os bairros Velha e Asilo possuem ocorrência de chuvas ácidas. Os resultados de pH das amostras coletadas no bairro Velha ficaram na faixa 4,62 a 5,50, e, no bairro Asilo, a acidez detectada foi maior com valores entre 4,47 a 5,15.

Appan (1999) avaliou a possibilidade de aproveitamento das águas de chuvas, coletadas de telhados, para uso não-potável, para uma região urbana, onde a precipitação média anual é da ordem de 2250 mm. Apresentou as qualidades das águas das chuvas coletadas (pH, cor, turbidez, sólidos totais suspensos e dissolvidos, dureza, fosfato, coliformes fecais e totais), e as dimensões do tanque de armazenamento, em função da percentagem de utilização assim como do processo automático de bombeamento. Ao que concluiu que a água detém qualidades aceitáveis, para usos não-potáveis, é, portanto, recomendável a realização da elevação do pH e desinfecção.

Coombes, Argue e Kuczera (1999) monitoraram, durante dois anos, um conjunto habitacional cujas águas de chuvas, coletadas de telhados, servem tanto para usos domésticos, recargas de aquíferos e/ou retenções superficiais. Foram analisadas a qualidade das águas, escoadas sobre telhado, no tanque de

armazenamento e a água abastecida. A água de chuva pode atender cerca de 45% dos usos internos e 60%, quando incluída também a irrigação.

Simmons *et al.* (2001) investigaram a qualidade das águas, coletadas de telhados, em regiões rurais na Nova Zelândia. Foram analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Os resultados demonstraram que 17,6% das amostras apresentavam valores, de um ou mais parâmetros químicos, superiores aos estabelecidos pelo padrão de potabilidade. Em relação aos aspectos microbiológicos, em 56% dos casos, os parâmetros excederam ao padrão de potabilidade.

Flues *et al.* (2002) avaliaram a acidez da água de chuva, em regiões rurais, localizadas no Noroeste do Paraná. As amostras apresentaram pH com valor médio 4,7, e desvio padrão, 0,7. A análise das concentrações de ânions e cátions resultou em valores elevados de sulfatos (69 ueq/L), seguido de sódio, cálcio e amônio, respectivamente (35, 32 e 30 ueq/L).

Tordo (2004) refere que, de estudos, houve resultados sobre a qualidade das águas de chuvas que atingem diretamente o solo e cujas características são diferentes das águas, escoadas sobre telhados, em função do contato com áreas mais poluídas. Embora isso, poucas informações são disponíveis sobre a qualidade das águas, coletadas de telhados.

Na região de Blumenau (SC), Tordo (2004) realizou estudos para avaliar a qualidade da água em três diferentes tipos de cobertura, quais sejam: fibrocimento, cerâmica e metálica; com relação aos parâmetros - *pH*, alcalinidade total, cloretos, cor aparente, dureza total, ferro total, sílica, turbidez e coliformes - e cujos

resultados demonstraram que o telhado de fibrocimento apresenta uma capacidade de neutralizar os ácidos e, presentes na água da chuva, maior que as outras duas coberturas estudadas, cujo valor médio, encontrado, foi 6,99, e uma alcalinidade total média de 37,06 ppm. Quanto ao aspecto bacteriológico, as amostras apresentaram elevada quantidade de organismos patogênicos e, em algumas amostras, a turbidez e a cor aparente não alcançaram o padrão de potabilidade e, portanto, não é recomendada para consumo humano, sem prévio tratamento por filtração e desinfecção. Tais valores constam do Quadro 1.

Parâmetros	Fibrocimento			Cerâmica			Metálica (Zinco)		
	Valor Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Máximo	Valor Mínimo
PH	6,99	8,63	5,57	5,73	6,82	5,21	4,70	6,57	4,13
Alcalinidade Total (ppm)	37,06	55,96	18,00	11,73	16,00	8,00	9,71	12,00	8,00
Cloretos (ppm)	5,09	11,28	1,41	3,72	5,64	2,82	6,85	15,51	2,82
Cor Aparente (uH)	17,33	95,00	4,00	18,45	43,00	7,00	18,71	71,00	4,00
Dureza Total (ppm)	60,44	108,00	20,00	21,91	48,00	3,00	35,14	60,00	20,00
Ferro Total (ppm)	0,35	2,85	0,068	0,32	2,02	0,026	0,23	0,53	0,073
Sílica (ppm)	3,18	16,74	0,00	2,92	13,21	0,212	1,70	5,78	-
Temperatura (°C)	25,22	27,00	25,00	25,09	27,00	24,00	25,00	25,00	25,00
Turbidez (uT)	2,34	1,79	0,28	1,70	5,00	0,20	2,13	11,36	0,24
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	280,79	1299,70	0,00	236,93	900,00	2,00	269,00	≥1600	Ausente
Coliformes totais (NMP/100mL)	1453,85	>2419,60	1,00	1054,45	≥1600,00	39,50	934,40	≥1600	140,80

Fonte: Adaptado de Tordo (2004).

QUADRO 1 – Valores médios dos parâmetros da chuva, coletados nos diferentes tipos de cobertura.

O padrão de potabilidade da água, para consumo humano, vigente no Brasil, consta da Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, publicada no Diário Oficial da União, e dispõe sobre procedimentos e responsabilidades, inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água, para consumo humano. Nele estabeleceu-se o padrão de potabilidade da água, para consumo humano, e constam outras providências. Ainda, ali, estabeleceram-se os limites máximos, permitidos, para dezenas de parâmetros, os quais precisam ser respeitados para toda a água que se destine para consumo humano. Pois, toda água, destinada ao consumo humano, deve obedecer ao Padrão de Potabilidade e ao Padrão de Aceitação para Consumo Humano e está sujeita à vigilância em nome da qualidade da água. Os parâmetros, apontados na Portaria 518/2004, constam do Quadro 2, relativos aos parâmetros estudados.

Parâmetros	Limites Máximos
PH	6,0 a 9,5
Alcalinidade total (ppm)	--
Cloretos (ppm)	250
Cor Aparente (ppm PtCo)	15
Dureza Total (ppm)	500
Ferro Total (ppm)	0,3
Sílica (ppm)	--
Temperatura	--
Turbidez (NTU)	1
Eucherichia coli (NMP/100ml)	Ausência
Coliformes Totais(NMP/100ml)	Ausência

Fonte: Brasil (2004).

QUADRO 2 – Padrões de potabilidade, estabelecidos pela Portaria n.º 518/2004, do Ministério da Saúde

2.2. ÁGUA EM PROCESSOS INDUSTRIAIS

Chama-se água de processo a que participa diretamente das reações químicas por um mecanismo de hidrólise ou de dissolução. O tratamento da água compreende a remoção da acidez, da alcalinidade, da dureza, do ferro e de outros minerais, conforme as exigências da aplicação (Germain *et al.*, 1972). O Quadro 3 contém os efeitos de parâmetros, relevantes nas indústrias de alimentos, refrigerantes, cervejas, papéis, têxteis e plásticos assim como os efeitos para água de refrigeração e produção de vapor.

2.2.1 Águas de refrigeração

Água de refrigeração é a que se aplica no campo industrial, como líquido refrigerante, na absorção de calor de um corpo quente. A presença de sais de cálcio e magnésio e de microrganismos na água de refrigeração deve ser evitada. A formação de depósitos de silicato, carbonatos de cálcio e magnésio, no interior de equipamentos e tubulações, provoca a redução da eficiência da troca de calor. Além da corrosão das tubulações, causada pela presença de gases dissolvidos, e do tratamento inadequado da água, também o crescimento de algas, nas linhas, afeta a taxa de transferência de calor e, portanto, a economia do processo (Germain *et al.* 1972; Beber, 2004).

2.2.2 Águas de produção de vapor

Os processos de produção de vapor fazem parte da maioria dos processos industriais e, de algum modo, podem afetar, direta ou indiretamente a qualidade de alguns produtos, pela contaminação da água, usada nos processos industriais (SANTOS FILHO, 1976).

No caso de água para produção de vapor, à medida que a água se evapora dois fenômenos ocorrem. A concentração de sólidos dissolvidos aumenta até à solubilidade total e, ao se precipitam no interior das caldeiras e tubulações, formam incrustações as quais acarretam queda de pressão, diminuição na taxa transferência de calor e menor vazão de vapor. Em certos casos, essas incrustações se desprendem, e há variação repentina de gradiente térmico, entre a superfície da incrustação e a superfície metálica, que provoca a explosão da caldeira. Os sólidos que, porventura, não formarem incrustações se lançam à fase de vapor e mantêm sua má-qualidade. O maior problema, nesse caso, é a presença de sílica em cujas caldeiras as pressões sejam superiores a 27 atmosferas; pois, então, sílica é lançada à fase de vapor e pode causar deformações mecânicas e, até mesmo, a explosão do equipamento (GERMAIN *et al.*, 1972; BEBER, 2004).

2.2.3 Água para a indústria de refrigerantes

Em muitas fábricas de refrigerantes, a água para abastecimento público é utilizada para produzir bebidas, embora raramente essas águas apresentem condições para essa finalidade, razão por que, maioria das vezes, impõe-se a

necessidade de um tratamento especial, tal como remoção de cloro, ajuste de alcalinidade, remoção da matéria em suspensão e redução de dureza total.

Uma água, que obedeça ao padrão mencionado e que apresente alcalinidade total, entre 50 e 100 ppm, como CaCO_3 , é ideal para a indústria de refrigerantes. A alcalinidade é limitada a essa faixa de valores, para evitar reação com ácido cítrico e, conseqüente, degradação do gosto da bebida.

Água de dureza zero é ideal para a lavagem das garrafas, a fim de as manter em excelente estado de aparência e limpeza (SANTOS FILHO, 1976).

2.2.4 Água para a indústria de cervejas

A qualidade da água, requerida para industrialização de cervejas, é muito semelhante à da industrialização de refrigerantes. Considera-se que a água ideal, para o processo industrial, além de ser potável deve também conter um máximo de 25 ppm de alcalinidade, 100 a 200 ppm de sulfato de cálcio, 200 ppm de cloreto de sódio, exatos 0,2 ppm de cloreto de férrico e Mn, sem contudo a presença de cloro e flúor.

Sulfato de cálcio e cloreto de sódio devem ser adicionados à água, para se obter concentrações desejadas; pois que o cloreto de sódio estimula a ação enzimática e melhora o gosto da cerveja.

Ferro e manganês escurecem as cervejas, tendem a produzir bebidas de gosto amargo e conferem certa turbidez; mas, flúor e cloro tendem a matar a levedura.

Em muitas cervejarias modernas, para se obter uma constância na qualidade da água e conseqüentemente nas cervejas, são usadas águas desmineralizadas, convenientemente tratadas (SANTOS FILHO, 1976).

2.2.5 Água para a indústria de polpa e papel

Em geral, a qualidade das águas para a industrialização de polpa e papel, varia de acordo com a qualidade do produto requerido. De aí a possibilidade de uso desde água da rede de distribuição até água desmineralizada.

À industrialização de papelão, pode-se empregar água com certa cor, tal como 15 unidades Hazen, dureza de 150 ppm, ferro e manganês de 1,0 ppm e sólidos totais de até 300 ppm.

Papéis cuja qualidade é superior, no entanto, exigem água de melhor qualidade tal como cor, com 5 unidades Hazen, dureza de 50 ppm, ferro 0,1 ppm, manganês 0,05 ppm e sólidos totais até 200 ppm.

Papéis, para a indústria de eletrônica, de cigarros e de material fotográfico, exigem água desmineralizada, para o respectivo processo de fabricação.

São necessárias águas com baixas concentrações de ferro e manganês, para a maioria das indústrias de papel; pois esses metais tendem a produzir manchas nos papéis manufaturados. Cumpre referir que a celulose retém com facilidade o ferro, presente em soluções muito diluídas.

Ainda, águas para lavagem de polpa devem deter dureza zero, para evitar a precipitação de sais de cálcio e magnésio, que interferem no próprio branqueamento (SANTOS FILHO, 1976; KEMMER, 1988).

2.2.6 Água para a indústria têxtil

De modo geral, para o processo têxtil requer-se água abrandada, de baixa turbidez, livre de matéria orgânica, de ferro e de manganês. Valores máximos de 10 ppm de dureza, 5 unidades Hazen de cor e 0,25 ppm de ferro, manganês e magnésio.

À produção de *rayons* e de outras fibras sintéticas, requerem-se águas desmineralizadas.

Às tinturarias, requerem-se águas abrandadas, de baixa alcalinidade e baixas concentrações de manganês e de óxido de alumínio. Os valores máximos desses constituintes podem ser considerados iguais aos previamente mencionados, sendo que a alcalinidade não deve exceder 20 ppm, e o óxido de alumínio deverá ser inferior a 0,5 ppm. Pois considera-se que altos valores de alcalinidade interferem na dissolução dos corantes e podem conferir ao tecido um tingimento sem uniformidade. Diferente, ferro e manganês tendem a conferir ao tecido cores foscas.

As águas, para o preparo de soluções de lavagens de tecidos e de fibras, e soluções de branqueamentos, devem ser abrandadas, e a preferência deve recair sobre as que apresentem dureza zero (SANTOS FILHO, 1976).

2.2.7 Água para a indústria alimentícia

Água para a industrialização alimentícia, devem ser respeitados os padrões de potabilidade vigentes. Impõem-se cuidados especiais, de modo a evitar a contaminação de alimentos por certos produtos, utilizados no tratamento de condensados. A pureza do vapor que entra em contato com os alimentos é de grande importância; pois, o vapor, produzido por caldeiras, pode carregar consideráveis quantidades de óxidos de ferro, indesejáveis à produção de alimentos (GERMAIN *et al.*, 1972; BEBER, 2004).

2.2.8 Água para a indústria de plásticos

Para a indústria de plástico, há que se observar cor da água que não deve exceder a 2 unidades Hazen, ferro e manganês, em concentrações inferiores a 0,02 ppm. Ferro e manganês, em concentrações superiores às mencionadas, podem produzir plásticos manchados. Geralmente é necessário passar a água por resinas catiônicas, para reduzir o ferro e o manganês à concentração requerida (SANTOS FILHO, 1976; KEMMER, 1988).

2.2.9 Água para a indústria farmacêutica

Para a indústria farmacêutica, requer água de baixa concentração de sólidos, também obtida por destilação ou desmineralização. À fabricação de muitos produtos, requer água livre de pirogênio, passível de obtenção por destilação especial; ou seja, destilar a água sob pressão. Ainda pode ser obtida por desmineralização, seguida de

esterilização. Observe-se, contudo, que águas destiladas não apresentam mais do que traços de cloretos, sulfatos e gás carbônico (SANTOS FILHO, 1976).

Parâmetros	Efeitos / Faixa de ideal de utilização									
	Água de refrigeração	Água para vapor	Indústrias						Alimentícias	Plásticos
			Refrigerante	Cerveja	Papelão	Papel Fino	Têxtil			
pH	Pode formar depósitos ou corrosão	Pode formar depósitos ou corrosão	6 a 9,5	6 a 9,5				6 a 9,5		
Alcalinidade	Pode formar depósitos ou corrosão	Pode formar depósitos ou corrosão/ <700ppm	Reações indesejáveis/ 50 a 100ppm	<25ppm			Altera a dissolução de corantes/<20ppm			
Dureza	Pode formar depósitos duros	Pode formar depósitos/ <20ppm	Difícil limpeza das garrafas/<500pp	Difícil limpeza das garrafas/<500ppm	<150ppm	<50ppm	Dificulta na lavagem do tecido	<500ppm		
Condutividade	Pode formar depósitos ou corrosão	Pode formar depósitos ou corrosão								
Sílica	Pode formar depósitos duros	Pode formar depósitos duros/ <180ppm								
Turbidez			Alteração na aparência /<uT	Alteração na aparência/<uT						
Cloretos			<250ppm	<250ppm				<250 ppm		
Cloro			Alteração no sabor	Destrói microrganismo do processo						
Gases dissolvidos	Provocam corrosão									
Algas	Atrapalham a transferência de calor									
Flúor				Destrói microrganismo do processo						
Ferro			<0,3ppm	Alteração de cor e gosto/<0,3ppm	Pode formar manchas/ >1ppm	Pode formar manchas/>0,1ppm	Alteração do tingimento/<0,25p	<0,3ppm	Pode formar manchas/<0,02ppm	
Manganês				Alteração de cor e gosto	Pode formar manchas/ >1ppm	Pode formar manchas/>0,05 ppm	Alteração do tingimento/<0,25 ppm		Pode formar manchas/<0,02	
Cor			<15 uH	<15 uH	<15 uH	<5 uH	<5 uH	<15uH	<2uH	
Sólidos totais		<3000ppm			<300ppm	<200ppm				

Fonte: GERMAIN *et al.*(1972); SANTOS FILHO (1976); e BEBER (2004), modificado pelo autor.

QUADRO 3 - Efeitos do resultado dos parâmetros nas águas industriais e faixas ideais de utilização.

2.3 SISTEMA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento de água é o conjunto de processos e operações, realizado com a finalidade de adequar as características físico-químicas e biológicas da água bruta, com padrão organolépticamente agradável que não ofereça riscos à saúde humana.

As tecnologias para tratamento de água são classificadas em: a) convencionais, que incluem todas as etapas tradicionais do processo (coagulação, floculação, decantação e filtração); e b) não-convencionais, que incluem a filtração direta ascendente e a descendente, a dupla filtração e a filtração lenta.

A simples desinfecção não é mais considerada tecnologia para tratamento de águas superficiais, por que é aplicada apenas em águas brutas subterrâneas cujas condições naturais organolépticas sejam agradáveis e sanitariamente seguras (DI BERNARDO, 2003).

Smith, Khoo e Hills (2002) apresentaram uma planta para instalações de uma estação de tratamento de água para tratar águas de chuvas, coletadas de telhados e do uso doméstico, baseada no uso de membranas para ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. O sistema possibilita a redução da demanda bioquímica de oxigênio em cerca de 58 a 67%.

Nesse contexto, Oosterom, Koenhen e Bos (2000) usaram membranas para produção de águas desmineralizadas, oriundas de águas de chuvas, e

demonstraram que o processo de microfiltração e ultrafiltração é mais atrativo que a osmose reversa. Embora isso, essa tecnologia é de alto custo.

Ora, as instalações de uma Estação para Tratamento de Água devem ser dimensionadas para manter a qualidade da água, tratada dentro das especificações, mesmo quando ocorrem oscilações das características da água bruta (REINOLD, 2002). De aí, depreende-se que a água de chuva pode oscilar de qualidade em função da localização, e até mesmo para um mesmo local, assim também como pode oscilar durante períodos de tempo; por isso, ao sistema para tratamento, devem-se prever tais oscilações e, portanto, as estações devem estar dimensionadas para a pior situação.

Laine *et al.* (1998), na França, estudaram um tratamento para águas de chuvas, a fim de obter águas cujas qualidades fossem para banho, e consistia de flotação, filtração e desinfecção por radiação ultravioleta e cujos resultados foram satisfatórios.

2.3.1 Filtração

Na filtração, a finalidade é remover da água as partículas em suspensão e, juntamente delas, também os microorganismos a elas associados.

Existem diversos tipos de filtros, concebidos para atuarem de diferentes formas no processo de tratamento de água; a forma mais comum de classificar são as seguintes:

Filtração de fluxo descendente

- de baixa taxa de filtração (filtros lentos); e
- de alta taxa de filtração (filtros rápidos):
- de camada simples; e
- de camadas múltiplas; ex.: duplos (areia e antracito).

Filtração de fluxo ascendente

- de baixa taxa de filtração (filtros lentos ascendentes); e
- de alta taxa de filtração (filtros rápidos ascendentes).

2.3.2 Leitos filtrantes e camada suporte

Basicamente, os filtros são constituídos por uma ou mais camadas de material granular, instaladas sobre um sistema drenante, denominado fundo-falso. Em tais situações, deve ser instalada uma camada suporte, constituída de seixos rolados com granulometria decrescente, cujos diâmetros efetuam a transição entre a partícula do leito filtrante e o fundo-falso, de forma a impedir que os grãos se percam através dos orifícios diametrais.

As características dos leitos filtrantes dependem de muitos fatores. A rigor, elas deveriam ser determinadas com base em ensaios em filtro piloto. Caso tais ensaios não possam ser realizados, na NBR 12.216 descrevem-se as características básicas dos materiais para composição, tal como se as descrevem:

- “a) Areia para filtros lentos.
Tamanho efetivo: de 0,25 a 0,35 mm
Coeficiente de uniformidade: menor que 3

- b) Areia para filtros rápidos de fluxo descendente, de camada simples.
Tamanho efetivo: de 0,45 a 0,55 mm
Coeficiente de uniformidade: de 1,4 a 1,6
- c) Areia para filtros rápidos de fluxo descendente, de camada dupla.
Tamanho efetivo: de 0,40 a 0,45 mm
Coeficiente de uniformidade: de 1,4 a 1,6
- d) Areia para filtros rápidos de fluxo ascendente.
Tamanho efetivo: de 0,70 a 0,80 mm
Coeficiente de uniformidade: inferior ou igual a 2
- e) Antracito para filtros rápidos de fluxo descendente, de camada dupla.
Tamanho efetivo: de 0,80 a 1,00 mm
Coeficiente de uniformidade: inferior ou igual a 1,4"

Os leitos filtrantes, constituídos pelos materiais antes especificados, permanecem estratificados no interior dos filtros (filtros rápidos). Isto é, o tamanho dos grãos decresce de baixo para cima.

Essa estratificação se realiza, durante a lavagem do leito, no sentido ascensional, sempre que a água, destinada a esse fim, for injetada com velocidade suficiente para fluidificá-lo, ou seja, separar os grãos uns dos outros (o leito filtrante é expandido). Nessas condições, os grãos menores passam a ocupar as posições mais altas.

A camada suporte (número de subcamadas e diâmetros extremos dos grãos dos seixos rolados que a constituem) depende do material filtrante a ser colocado, sobre ela, e do fundo-falso, sobre o qual ela se apóia.

De modo geral, aplicam-se as seguintes características para a camada suporte (NBR 12.216):

- a) "Espessura mínima igual ou superior a duas vezes a distância entre os bocais do fundo do filtro;

- b) Material distribuído em estratos com granulometria decrescente no sentido ascendente, espessura de cada estrato igual ou superior a duas vezes e meia a dimensão característica dos seixos maiores que o constituem;
- c) Cada estrato deve ser formado por seixos de tamanho máximo superior ou igual ao dobro do tamanho dos menores;
- d) Os seixos maiores de um estrato devem ser iguais ou inferiores aos menores do estrato situado imediatamente abaixo;
- e) O estrato situado diretamente sobre os bocais deve ser constituído de material cujos seixos menores tenham o tamanho pelo menos igual ao dobro dos orifícios dos bocais;
- f) O estrato em contato direto com a camada filtrante deve ter material de tamanho mínimo igual ou inferior ao tamanho máximo do material da camada filtrante adjacente.”

2.3.3 Filtros lentos

Os filtros lentos são destinados a potabilizar águas de excelente qualidade; é um método para tratamento de água, adotado principalmente para uso em comunidades de pequeno porte, cujas águas apresentem baixos teores de turbidez e cor (menor que 50uT). O desempenho desses filtros apresenta expressivas reduções no índice de coliformes. O processo consiste em fazer a água passar, através de um meio granular, com a finalidade de remover impurezas físicas, químicas e biológicas (SPERLING, 1996).

Murtha e Heller (2003) estudaram filtros lentos de areia e relacionaram características e influência da água em parâmetros de projeto, e obtiveram importantes conclusões: a filtração só ocorre de uma maneira efetiva nos primeiros 30 cm de camada filtrante e remove sólidos e bactérias; apesar disso, nas demais camadas não são observadas variações significativas. A grande eficiência, demonstrada nos 30 cm iniciais é capaz de indicar a possibilidade de espessura útil para faixas de 40 a 60 cm. Os resultados sugerem um adequado desempenho na

remoção de bactérias. As taxas de filtração não apresentaram significativa influência, após o monitoramento dos parâmetros de qualidade de água, senão que a qualidade se relaciona ao tempo de limpeza ou retrolavagem dos filtros. Ocorrem, no sobrenadante dos filtros descendentes, processos de purificação, responsáveis por significativas reduções nos níveis de sólidos e bactérias e a remoção de coliformes, essa camada parece guardar relação com o tempo de detenção do afluente.

No filtro lento, as baixas taxas de filtração (3 a 9 m³/(dia m²)) determinam um desempenho bastante diferente daquele, característico dos filtros rápidos. Ao contrário desses, a camada superficial do filtro é responsável por praticamente todo o mecanismo da filtração (MURTHA e HELLER, 2003).

2.3.4 Mecanismos atuantes na Filtração

O processo de filtração é caracterizado por alguns processos de purificação que podem agir em conjunto ou em separado no leito filtrante, são eles (RICHTER, 1995):

“Ação mecânica de coar: retenção das partículas maiores nos interstícios existentes entre os grãos de areia;
Sedimentação: reposição de partículas sobre a superfície dos grãos de areia;
Ação biológica: feita através de uma camada gelatinosa formada pelo desenvolvimento de certas variedades de bactérias, que envolvem os grãos de areia na superfície do leito, que por adsorção retém microorganismos e partículas finamente divididas.”

2.3.4 Aspectos Operacionais

No início da filtração, com a areia ainda limpa, a formação da camada gelatinosa se há de processar apenas após alguns dias de operação. Portanto, durante o período de operações, maiores cuidados devem ser tomados quanto à desinfecção da água filtrada.

Com o prosseguimento da filtração, a camada superior da areia se suja cada vez mais, e diminui, em consequência, a vazão da água filtrada. Quando essa vazão cai consideravelmente, deve-se proceder à limpeza do filtro. Cujo processo se dá pela remoção de uma camada de 2 a 3 cm da areia que, após lavada deve ser colocada no local de origem.

Segundo Murtha (2003) o conteúdo orgânico da água bruta, a remoção de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, as taxas de filtração e as características granulométricas do leito são citados como variáveis, para determinação da profundidade útil do leito filtrante. O autor comprovou uma elevadíssima remoção de sólidos e bactérias, localizadas nos 30 cm iniciais do leito filtrante, e para a extensão restante, observaram-se apenas variações pouco significativas. Essa performance foi verificada para todos os parâmetros monitorados e indicaram a possibilidade de redução da espessura útil (mínima) até um valor limite de 40 cm, tendo em vista a eficiente redução dos indicadores básicos de qualidade da água.

2.3.5 Carvão ativado ou antracito

Segundo Baird (2002), o carvão ativado (carvão vegetal ativado) é um sólido muito útil, para purificar a água e, em baixas concentrações, eliminar a presença de moléculas orgânicas pequenas. A capacidade desse material, à remoção das impurezas da água e melhorar o seu sabor, a cor e o odor, é conhecida há muito tempo. Os antigos egípcios usaram recipientes, revestidos com carvão vegetal, para armazenar água para beber.

Para Schaeffer (2003), as altas temperaturas (982 °C à 1093 °C), a atmosfera especial do forno e a injeção de vapor do processo de fabricação do carvão ativado que ativam e criam a porosidade e deixam, em grande parte, uma esponja de esqueleto de carvão. Os poros variam de tamanho, desde microporos menores que 20 angstroms e mesoporos de 20 a 100 angstroms até macroporos de >100 angstroms em uma faixa de até mais de 100.000 angstroms.

Para o mesmo autor, na década de 1960, várias estações de tratamento de água começaram a utilizar o carvão ativado em pó ou carvão ativado granulado para o tratamento do gosto e do cheiro. Atualmente, utiliza-se o carvão ativado em centenas de aplicações diferentes, tanto para sistemas de vapor como para tratamento de líquidos.

Para tratamento de água, a norma da ABNT nº. 592, referente ao “Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público”, estabelece uma espessura mínima de camada de 45 cm, tamanho efetivo de 0,8 a 1,0 mm e coeficiente de uniformidade de 1,4 a 1,6.

Segundo Di Bernardo (2002), o tempo de contato nas colunas de carvão ativado granulado (com camada compreendida entre 1 a 4 m) varia desde alguns minutos até algumas horas, para concretizar a absorção de algumas substâncias orgânicas. A taxa de aplicação varia entre 150 a 180 m/dia, com valores típicos compreendidos entre 200 e 300 m/d.

A remoção de impurezas pelo carvão ativado é um processo de adsorção física, e, como tal, é reversível, se energia suficiente é aplicada. A característica que faz do carvão ativado um excelente adsorvente é a respectiva enorme área superficial, de cerca de 1400 m²/g. A superfície das partículas individuais do carvão é interna, de maneira que a pulverização do material não aumenta e nem diminui a área de maneira significativa. A estrutura interna do sólido envolve um conjunto de canais (poros), cujo tamanho progressivamente decrescente, produzidos pelo processo de queima e oxidação parciais. Os sítios internos, onde ocorre a absorção são suficientemente grandes, apenas para moléculas pequenas, e incluem os solventes clorados. Nas concentrações típicas da ordem de ppm normalmente encontrados na forma de contaminantes orgânicos na água, cada grama de carvão ativo pode absorver um percentual pequeno da massa de poluentes, tal como clorofórmio e dicloroetenos, e massas muito maiores de TCE, PCE e pesticidas, como dieldrin, heptaclor e DDT.

Uma vez que uma amostra de carvão ativado esteja próxima do respectivo ponto de saturação, em termos de produtos orgânicos adsorvidos, são três as alternativas disponíveis: a) pode ser simplesmente disposto em aterro sanitário; b) pode ser incinerado para ser destruído junto com os contaminantes adsorvidos; c)

pode ser aquecido, para regenerar a superfície e expelir os poluentes orgânicos, que podem, então, ser incinerados ou oxidados por via catalítica (BAIRD, 2002).

Funshen *et al.* (2002) relacionaram a capacidade de absorção de matéria orgânica ao tamanho dos poros, pH da água, tipo e origem do carvão ativado. Concluíram que a capacidade de absorção aumenta com a diminuição do pH e o volume de poros nas dimensões de 30 a 100 angstroms.

De acordo com Duck e Voorde (2003), o tratamento com carvão ativado reduz drasticamente a quantidade de microorganismos na água e responde positivamente com a qualidade do carvão usado.

2.3.6 Desinfecção por radiação ultravioleta

A radiação por ultravioleta atua por meio físico, atinge principalmente os ácidos nucléicos dos microrganismos e promove reações fotoquímicas que inativam os vírus e bactérias (DANIEL, 2001). Dela, a faixa de variação cujo efeito se dá sobre os seres vivos é de 200 a 400 nm e cujos 260 nm de comprimento de onda é o de máxima absorção; no entanto, 254 nm (UV254) é o comprimento de onda, relativo à emissão máxima de lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio. O intervalo do comprimento de onda, compreendido entre 245 nm e 285 nm, é considerado a faixa germicida ótima, para inativação de microrganismos (GONÇALVES, 2003). Em determinados comprimentos de onda que produzem ozônio, o UV também oferece propriedades de oxidação (TARRAN, 2003).

Giesy e Darby (2000) estudaram a eficiência germicida com diferentes comprimentos de onda (254, 280 e 301 nm) e concluíram que a eficiência não varia para 280 nm de comprimento de onda; e varia muito pouco para 301 nm.

Segundo Lehtola *et al.* (2003), doses entre 15 a 50 mW.s/cm² reduzem a concentração de carbono orgânico assimilável; doses, em torno de 50 mW.s/cm²; inativam 90% das bactérias, para água potável. Doses maiores, em torno de 204 mW.s/cm², são necessárias, para reduzir fósforo; e uma dose ainda maior, cerca de 501 mW.s/cm², é necessária, para inibir o crescimento biológico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo, descreveram-se todos os materiais e metodologias, empregadas no trabalho. Inicialmente, contam a caracterização da água e a descrição da construção do sistema de captação, e por fim, o sistema de tratamento implantado.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

Todas as análises, realizadas, serviram para estudar as características da água de chuva, em diferentes partes do sistema, com o objetivo de avaliar a eficiência do tratamento.

Para caracterização das águas de chuva, as análises realizadas foram: pH, alcalinidade total, turbidez (uT – unidade de turbidez em unidade Jackson ou nefelométrica), cor aparente (uH – unidade de escala Hazen (de platina-cobalto), dureza total (mg de CaCO_3/L) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$), determinada no próprio potenciômetro. As análises microbiológicas (coliformes fecais e totais) foram realizadas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Blumenau, na FURB, assim como sílica (SiO_2), ferro total e cloretos (Cl). As características estudadas são definidas por Richter (1995); e Di Bernardo *et al.*(2002).

“**pH**: o pH serve para expressar a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução. Mede a concentração do íon hidrogênio ou sua atividade, importante em cada fase do tratamento. Uma água com pH mais ácido pode ser ruim para a utilização industrial, provocando corrosão nas tubulações.

Alcalinidade total: a alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água de neutralizar bases. A medida de alcalinidade é usualmente feita por meio de titulação com ácido padronizado, sendo os resultados expressos em quantidade de carbonato de cálcio. A alcalinidade influi consideravelmente na coagulação química.

Turbidez: é uma característica da água devido à presença de partículas suspensas na água com tamanho variado desde suspensões grosseiras aos colóides, dependendo do grau de turbidez. O excesso de turbidez indica que pode haver depósito de sólidos numa utilização industrial. O padrão de turbidez definido pela Portaria n.º 518/2004 pós-filtração ou pré-desinfecção é de 1 uT.

Cor aparente: é uma característica devido à existência de substâncias dissolvidas, que na grande maioria dos casos, são de natureza orgânica. Para utilização da água em processos de tingimento, esta informação é fundamental.

Dureza: é uma característica conferida a água pela presença de sais alcalinos-terrosos e alguns metais, em menor intensidade. A dureza é conhecida pela sua propriedade de impedir a formação de espuma como sabão, o que aumentaria o consumo de água de chuva, com dureza elevada, se esta fosse utilizada para limpeza doméstica. Para utilização industrial, a água com dureza elevada pode provocar incrustações.

- ◆ **Temperatura:** a temperatura é um parâmetro que influi nas reações de hidrólises de coagulante, na eficiência da desinfecção, na solubilidade dos gases, na sensação de sabor e odor e, em especial, no desempenho das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração. Por isso, é importante conhecer a variação de temperatura na água a ser tratada.
- ◆ **Cloretos:** além de bicarbonatos, sais dissolvidos como cloretos caracterizam os sólidos totais dissolvidos. A presença de cloretos pode indicar alguma forma de poluição assim como a sua presença pode ser excessiva sem que haja contaminação. Além de conferir sabor salino às águas, teores elevados de cloretos podem interferir na coagulação. Do ponto de vista sanitário, concentrações muito elevadas de cloretos podem ser prejudiciais a pessoas portadoras de moléstia cardíaca ou renal.
- ◆ **Coliformes Totais (CT):** reúne um grande número de bactérias, entre elas a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal e que dificilmente se multiplica fora do trato intestinal. O problema é que outras bactérias dos gêneros *Citrobacter*, *Eiterobacter* e *Klebsiella*, igualmente identificadas pelas técnicas laboratoriais como coliformes totais, podem existir no solo e nos vegetais. Desta forma, não é possível afirmar categoricamente que uma amostra de água com resultado positivo para coliformes totais tenha entrado em contato com fezes.
- ◆ **Coliformes Fecais:** pertencem a esse subgrupo os microorganismos que aparecem exclusivamente no trato intestinal. Em laboratório, a diferença

entre coliformes totais e fecais é feita através da temperatura (os coliformes fecais continuam vivos mesmo a 44 °C, enquanto os coliformes totais têm crescimento a 35 °C). Sua identificação na água permite afirmar que houve presença de matéria fecal, embora não exclusivamente humana.”

A determinação microbiológica de coliformes fecais e totais foi realizada, principalmente, devido à presença de resíduos animais, nos telhados e também por que a Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004, define um limite máximo de bactérias para o grupo coliforme (ausência em 100 mL de *Escherichia coli* e coliformes totais).

A utilização da água de chuva, tratada sem acompanhamento microbiológico, pode influenciar, de forma negativa, os processos de indústrias que exigem uma qualidade microbiológica mais elevada (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Para a realização dos ensaios, foram empregadas as técnicas de análise de águas constantes do “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”.

Os valores de referência e para a aceitação, como água potável, constantes na Portaria 518, de 25 de março de 2004, relacionados às análises deste estudo, constam do Quadro 1 (Capítulo 2).

3.2 SISTEMA DE CAPTAÇÃO

A água da chuva passa primeiramente por um filtro (tela), para separação dos materiais grosseiros (folhas e gravetos). Depois, escoar pela tubulação vertical, cujo diâmetro é de 100 mm, até o redutor de área, onde a água começa a se

acumular até à altura de 2 m (reservatório de autolimpeza). Embora esse primeiro passo, a água não é utilizada porque, segundo Fendrich *et al.*(2002), o primeiro milímetro de chuva se apresenta com qualidade mais degradada, por lavar a cobertura e os gases atmosféricos.

Na Figura 1, consta o esquema do sistema de captação, instalado. A água, escoada da cobertura escorre para a calha (a) que, por sua vez, a envia para o reservatório de autolimpeza, onde existe uma derivação (c), para o reservatório de detenção e um sistema de descarte (b), de 20 litros da chuva inicial. O reservatório de detenção possui uma tubulação ladrão, que conduz o excesso de água para fora do sistema.

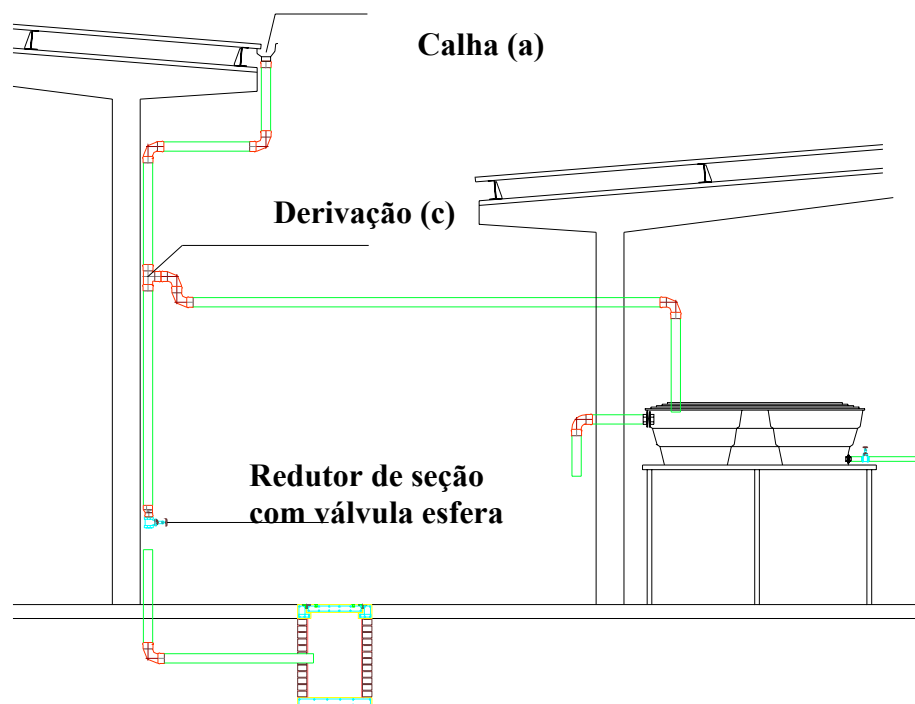
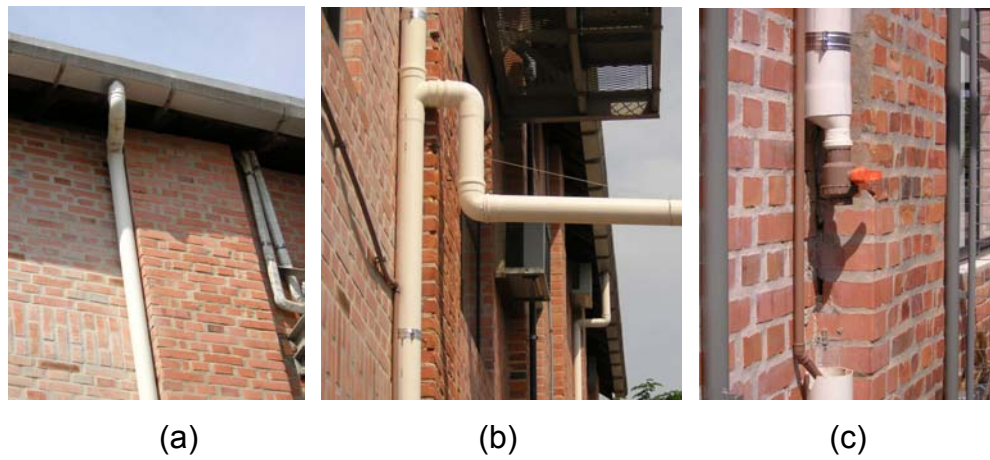


FIGURA 1 - Sistema de captação das águas de chuva.

O sistema de captação recebe a água de uma cobertura (telhas cerâmicas) cuja área é de 102 m² (8,5 x 12 m). O volume de descarte é de 20 litros cuja correspondência é uma precipitação de 0,2 mm. A água coletada no reservatório foi analisada para os parâmetros estudados e comparada com a água em outras partes do sistema. O sistema tem por finalidade remover parte dos sólidos em suspensão, turbidez e parte da água da chuva que se encontra poluída. Na Figura 2, consta o sistema de captação; na Figura 3, há detalhes do reservatório de autolimpeza; e, na Figura 4 consta o reservatório de detenção.



FIGURA 2 - Cobertura do Campus II da FURB e sistema de captação onde é coletada a água para o reservatório de detenção.



Legenda: (a) Calha e conduto vertical; (b) Derivação; (c) Redução com válvula.

FIGURA 3 - Reservatório de auto limpeza.



FIGURA 4 - Reservatório de detenção com conduto extravazador e válvula globo na saída para o controle da vazão.

3.3 TRATAMENTO DA ÁGUA

O tratamento da água de chuva, escoada sobre cobertura do Campus II da FURB, foi constituído de filtração e desinfecção. Não foi utilizado o tratamento convencional, porque a água bruta possui turbidez muito baixa, dispensando coagulantes químicos. Todos os experimentos foram realizados com pelo menos uma hora de duração, e as amostras coletadas, após aquele período, com o objetivo de que houvesse circulação de água e que todo o sistema estivesse em equilíbrio.

Uma representação esquemática da instalação piloto, utilizada, para o tratamento de água de chuva consta da Figura 5.

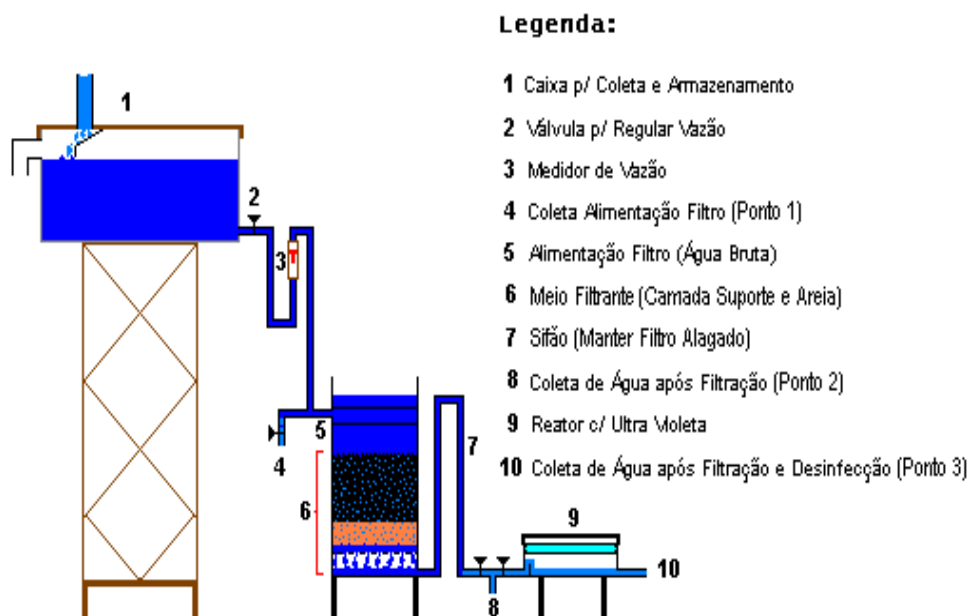


FIGURA 5 - Representação Esquemática da Instalação Piloto de Tratamento de Água de Chuva.

A água é coletada e conduzida para o reservatório de detenção (1). Ela segue para um filtro, constituído por meio filtrante de areia e/ou carvão ativado (6), passa por um medidor de vazão (3). Após o filtro, a água é desinfectada por radiação ultravioleta (9).

3.3.1. Velocidade de interesse na filtração

Velocidade de aproximação (ou taxa de filtração): igual à vazão afluente ao filtro, dividida pela área de sua seção, transversal ao fluxo. Normalmente, em filtros de fluxo ascendente ou descendente, obtém-se esse valor pela vazão afluente, dividida pela área, em planta, do filtro:

$$V_a = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Onde: Q = vazão afluente ao filtro; A = área superficial do leito filtrante.

À NBR 12.216, estabeleceu-se, sobre taxas de filtração:

“Filtros lentos: A taxa de filtração a ser adotada deve ser determinada por experiências em filtro-piloto, em período superior ao necessário para a ocorrência de todas as variações da qualidade da água. Não sendo possível realizar essas experiências, a taxa de filtração não deve ser superior a $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$.

Filtros rápidos: A taxa de filtração a ser adotada deve ser determinada por meio de filtro-piloto operado com a água a ser filtrada, com camada filtrante igual à dos filtros a serem construídos. Não sendo possível proceder a experiência em filtro-piloto, as taxas máximas são as seguintes:

- a) para filtro de camada simples, $180 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$;
- b) para filtro de camada dupla, $360 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$.”

O filtro de areia assim como o filtro de carvão ativado tem uma área superficial reduzida de 450 cm^2 , onde foram aplicadas vazões médias de 23 e 90

litros por hora (L/h). A taxa de aplicação resultante ficou em torno de 12 e 48 m³/m² x dia respectivamente.”

3.3.2 Princípios de cálculo do reator ultravioleta

Para entender os mecanismos e os processos à desinfecção com ultravioleta bem como dimensionar a câmara de desinfecção, é necessário absorver algumas definições e conceitos básicos da física:

“Fonte de energia UV (S): é a energia (W), emitida em todas as direções por uma fonte.

Intensidade (I): pode ser definida como a energia total incidente em todas as direções em um elemento infinitesimal de área transversal dA, contendo o ponto considerado. Em unidades do sistema internacional SI, a unidade é W/m², entretanto, é comum o uso de mW.cm² (1 mW/cm² = 10 W/m²). Para uma posição à distância um raio r, de uma fonte pontual de um meio não absorbante, a intensidade pode ser dada pela seguinte equação (2):

$$I = \frac{S}{4\pi r^2} \quad (2)$$

Onde: I = intensidade UV em um ponto; S = energia total da fonte; r = raio a partir da fonte pontual.

Dose UV (dose): é o principal parâmetro de projeto e controle operacional da desinfecção UV, sendo definida como o produto da intensidade de radiação I e do tempo de exposição t. Em unidade SI a dose é expressa em J/m², entretanto, é

mais comum o uso de mW.s.cm², ou mJ/cm² (1 mJ/cm² = 1 mW.s/cm² = 10 J/m²). A dose de radiação ultravioleta é definida pela equação (3):

$$\text{Dose} = I \times t \quad (3)$$

Onde: I = intensidade UV; t = tempo de exposição à radiação.

Absorbância e Lei de Beer-Lambert: a radiação UV não é transmitida em um meio com intensidade constante e equivalente àquela gerada na fonte. A partir da fonte ocorre um efeito de atenuação, devido à absorção da radiação originalmente emitida no próprio meio. Objetivando estimar a referida atenuação para efeito de projeto, é comum o emprego do termo coeficiente de absorvância (α) para corrigir a absorvância do meio usa-se a equação (3):

$$\alpha = A \times \ln(10) = 2,303^A \quad (3)$$

Onde: α = coeficiente de absorvância; A = absorvância a 254 nm (/cm).

A absorvância de uma radiação luminosa com determinado comprimento de onda através de um líquido pode ser quantificada por espectrofotometria, obtendo a absorvância de energia por unidade de profundidade. A variação da intensidade média efetiva de determinada radiação em um meio pode ser descrita pela Lei de Beer-Lambert (4):

$$I_{\text{méd}} = \frac{I_0}{\alpha \cdot L} (1 - e^{-\alpha \cdot L}) \quad (4)$$

Onde: I_0 = intensidade UV aplicada no meio líquido; L = caminho ótico (cm).

Refração e reflexão: a radiação ultravioleta obedece às leis da refração (Snell) e às de reflexão (Fresnell) utilizada na física ótica da luz visível. Entretanto, os índices de refração e reflexão variam conforme o comprimento de onda (BOLTON, 2000). Portanto, poucos são os materiais que apresentam reflexividade da radiação UV e nem sempre são bons refletores de luz visível (DANIEL, 2001). O aço inoxidável reflete em torno de 20% de radiação UV a 254 nm, seguido do cobre, com cerca de 10 %, e espelho polido, com aproximadamente 7%. Os efeitos de reflexão e refração podem ser desprezados em caso de desinfecção de efluentes com menos de 90% de transmitância (GONÇALVES, 2003).

Segundo Tarran (2003), a câmara de água ou reator deve ser projetada de tal forma que assegure a todos micróbios recebam uma dose suficiente de exposição à luz ultravioleta. Quando não projetados, visando a esse padrão, alguns raios ultravioletas sofrem o que se chama curto-circuito, ou seja, micróbios passam pela câmara, sem receber dose suficiente de luz ultravioleta.

Atualmente, essas câmaras são projetadas da mesma forma que aviões e carros; ou seja, testadas em túneis com fluxo de ar.

Foram feitas análises de absorbância, no Departamento de Química, da FURB em dois pontos do sistema; um, à saída da caixa de armazenamento e outro, após o filtro, resultando em 0,074A e 0,035A respectivamente.

Para fins de cálculo, foi considerada a absorbância à saída do filtro, resultando 1,03 de coeficiente de absorbância.

No reator, foram usadas duas lâmpadas e 15 W cada, como fonte de energia, resultando 30000 mW. A intensidade, na superfície da água, para uma área de contato de 750 cm² fica em torno de 40 mW/cm². A intensidade média, para cujo coeficiente de absorvância foi considerada a intensidade na superfície de uma lâmina d'água de 1 cm fica em torno de 25 mW/cm². O reator possui 1,2 litro de volume e para uma vazão de 90 L/h, o tempo de detenção fica sendo de 48 segundos, resultando em uma dose de 1200 mW.s/cm².

3.3.3 Ensaios, utilizando areia como meio filtrante

A camada filtrante é composta de areia e brita como suporte. A espessura de areia utilizada é de 60 cm, a camada de brita de 12 cm e a altura do sifão foi de 5 cm acima da camada de areia, ao que formam um sobrenadante.

A areia, utilizada, foi classificada em peneiras.

Para a análise da granulometria da areia, foram feitos alguns ensaios, para se determinar o diâmetro médio superficial.

Para a realização da análise granulométrica, utilizou-se de um agitador por vibração, com temporizador, e um conjunto de peneiras da série *Tyler* (9, 14, 20, 28, 32 *Tyler*).

Realizou-se pesagem em balança com precisão de duas casas decimais.

O ensaio consiste em colocar a amostra, previamente seca, sobre a peneira mais grossa, utilizada, no ensaio, e agitar, em ensaio padronizado, o conjunto de

peneiras, colocadas umas sobre outras, em ordem decrescente da abertura das malhas.

Sob a última peneira, após-se um recipiente, recolhedor das partículas mais finas do material, que consegue passar por todas as peneiras da série. A fim de padronizar o ensaio, o conjunto foi vibrado, mecanicamente, por um tempo de 15 min, ajustado ao equipamento.

Terminado o ensaio, as quantidades, retidas nas diversas peneiras e na panela, foram determinadas por pesagem; e as diversas frações retidas podem ser calculadas, ao se dividir as diversas massas retidas, pela massa total da amostra (ΔX_i). Essas quantidades constam do Quadro 4.

Série Tyler	Abertura da peneira (μm)	Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	%acumulada retida	%acumulada passante
16	1000	0,00	0,00	0,00	100,00
20	850	0,00	0,00	0,00	100,00
24	710	16,80	16,80	8,19	91,81
28	600	78,17	94,97	46,30	53,70
32	500	74,33	169,30	82,53	17,47
60	250	35,23	204,53	99,71	0,29
	Fundo	0,60	205,13	100,00	0,00
	Total	205,13			

QUADRO 4 - Análise granulométrica da areia do meio filtrante.

Segundo Perry (1973), o diâmetro médio superficial (D_s) é importante, para o escoamento de fluidos, sobre leitos porosos e, também, para caracterizar os materiais, tais como os absorventes cuja atividade depende da superfície externa. O D_s é calculado conforme equação:

$$D_s = \sqrt{\frac{\sum_1^n \frac{\Delta X_i}{D_i}}{\sum_1^n \frac{\Delta X_i}{D_i^3}}} \quad (5)$$

Onde : n = número de peneiras; ΔX_i = massa ponderal; e D_i = diâmetro médio das partículas.

Também foram determinados o tamanho efetivo e o coeficiente de uniformidade. Para explicar a metodologia, é apresentado um exemplo de cálculo do tamanho efetivo e coeficiente de uniformidade, para uma das amostras de areia utilizada. Para isso, elaborou-se um gráfico, e nele se relacionaram as aberturas das peneiras, à porcentagem acumulada passante, conforme exemplo apresentado na Figura 5. A partir de aí, calculou-se o tamanho efetivo que corresponde a 10% em peso do material que passa, e o coeficiente de uniformidade que é a relação entre 60% e 10% do material passante segundo Di Bernardo (2003).

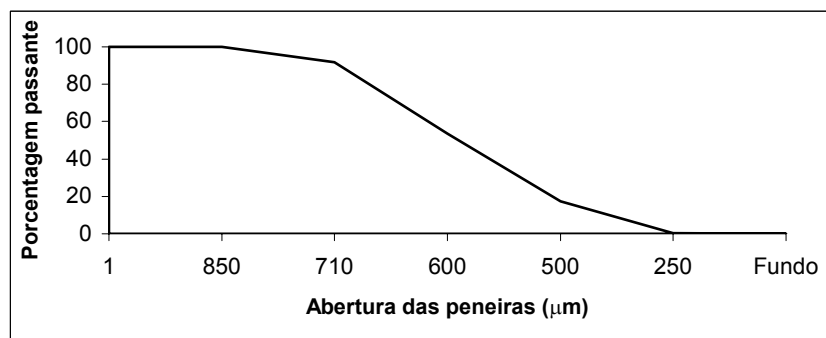


FIGURA 6 - Abertura das peneiras, pela porcentagem de areia passante.

Os valores do diâmetro médio superficial e tamanho efetivo encontrados foram de 0,37 mm; aliás, está um pouco acima do estabelecido em norma para filtro

lento (0,25 a 0,35 mm). A análise resultou em um coeficiente de uniformidade de 1,7, abaixo do valor máximo estabelecido pela NBR 12.216 que é de 3.

O primeiro ensaio, com areia como meio filtrante, foi realizado com uma vazão de teste de 23 L/h e, resultou a taxa de aplicação de 12 m³/m²d, o que corresponde a uma taxa de aplicação de um filtro lento.

O segundo ensaio, com areia como meio filtrante, foi realizado com uma vazão de 90 L/h e resultou a taxa de aplicação de 48 m³/m²d. Os resultados desta taxa de aplicação, relaciona-se à primeira, embora fossem pouco significativos foram adotados; e, portanto, essa taxa de aplicação para padrão foram aplicadas a todos os experimentos, pela facilidade em controlar a vazão (rotâmetro) e se obter um bom aproveitamento da água, do reservatório de detenção, para os experimentos (aproximadamente, 10 h de experimento).

O terceiro e o quarto ensaios com areia ocorreram com todos os parâmetros, conforme o segundo ensaio; entretanto, alteraram-se a amostra de água da chuva e a data do experimento. As medidas foram realizadas, após duas horas de experimento.

Para o quinto ensaio, adicionou-se aos 60 cm de areia uma camada de 10 cm de carvão ativado, com o objetivo de remover cor, sabor e odor da água de chuva. Foi realizada uma medida, após duas horas, para o experimento com essa camada de carvão, e com 90 L/h de vazão, e 48 m³/m²d de taxa da aplicação. Ao dia seguinte, foi realizado o sexto ensaio, ao que se mantiveram todos os

parâmetros, e foram realizadas duas medidas; uma, após duas horas e outra, após 3h30.

Para os parâmetros de cor, sabor e odor, não se alcançaram, ainda, os padrões esperados; por isso, para o ensaio seguinte, aumentou-se ainda mais a camada de carvão, ou seja, para 30 cm além dos 50 cm da camada de areia. Nessas condições, foi realizado o sétimo ensaio, com três medidas dos parâmetros (após 2, 3 e 4 h) nas quais foram mantidas a vazão e, conseqüentemente a taxa de filtração.

3.3.4 Ensaio com carvão ativado como meio filtrante

Ao ensaio, utilizando-se carvão ativado como meio filtrante, visou-se a remoção de uma forma eficiente à cor, ao gosto e odor da água de chuva, uma vez que aos ensaios anteriores não se obtiveram bons resultados com esses critérios.

Entretanto, essa vez, trocou-se a camada suporte de pedra brita por seixos rolados, com duas granulometrias, na parte inferior entre 3,2 e 6,3 mm e 6 cm de espessura e, na parte superior, em contato com o carvão, 1,7 a 3,2 mm com 6 cm de espessura.

Para preenchimento do meio filtrante, usaram-se três tipos de carvão ativado; um, antracitoso comum, nas estações de tratamento com granulometria, entre 0,8 a 1 mm; outros dois, padrão adsorção, usados para remover ferro e manganês de águas subterrâneas, um com granulometria entre 0,8 a 1mm e o

outro com granulometria entre 1,7 a 2,5 mm. Todos com coeficiente de uniformidade de 1,4.

Em todos os ensaios, usou-se uma espessura de 50 cm de carvão ativado que é superior ao valor, 45 cm estabelecido na NBR-12.216 (1992).

Foi elaborado um gráfico, a partir dos dados do Quadro 5, e procedeu-se a relação entre abertura das peneiras e a porcentagem, acumulada passante, conforme a Figura 6. A partir de aí, foi calculado o tamanho efetivo, correspondente a 10% em peso do material passante, e o coeficiente de uniformidade, que é a relação entre 60% e 10%, do material passante, segundo Di Bernardo (2003).

Série Tyler	Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	%acumulada retida	%acumulada passante
9	2	66,50	66,50	34,56	65,44
10	1,7	110,70	177,20	92,09	7,91
12	1,4	2,25	179,45	93,25	6,75
14	1,18	7,24	186,69	97,02	2,98
16	1	3,97	190,66	99,08	0,92
20	0,85	0,60	191,26	99,39	0,61
24	0,71	0,75	192,01	99,78	0,22
28	0,60	0,30	192,31	99,94	0,06
	Fundo	0,12	192,43	100,00	0,00
	Total	192,43			

QUADRO 5 - Análise granulométrica do carvão ativado, utilizado como meio filtrante ao nono e décimo ensaio.

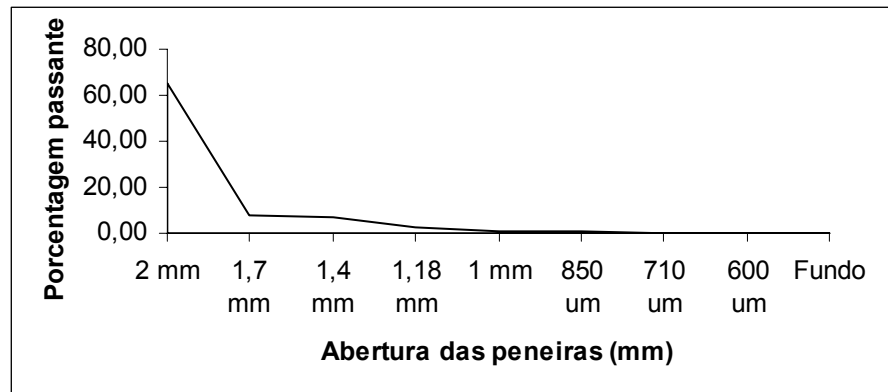


FIGURA 7 - Abertura das peneiras, com porcentagem passante de carvão ativado.

O oitavo ensaio foi realizado com carvão ativado, padrão adsorção com granulometria entre 0,8 a 1 mm, sob o mesmo padrão de vazão e a mesma taxa de aplicação. As amostras foram coletadas, após 2h, 2h30 e 3h30 de funcionamento.

O nono ensaio, com carvão padrão, adsorção AP, com granulometria, entre 1,7 e 2,5 mm foi realizado sem mudar as condições do ensaio. As amostras foram coletadas, após 2h, 3h e 4h de ensaio.

O carvão antracitoso foi utilizado ao décimo ensaio, e, ali, foram empregadas as mesmas condições do nono ensaio. Esse tipo de carvão foi considerado tal como um ensaio de repetição.

Na FIGURA 8, apresenta-se o sistema de tratamento, descrito e implantado.



FIGURA 8 - Tratamento da água de chuva, com carvão ativado, como meio filtrante, e desinfecção com ultravioleta.

3.4 COLETA DE AMOSTRAS E ANÁLISES

Foram determinados os pontos de coleta das amostras a serem analisadas, e estabeleceram-se três pontos de coleta. O primeiro ponto (Ponto 1), Figura 5, foi a alimentação do filtro, ou seja, uma amostra da água da chuva sem tratamento; o segundo ponto (Ponto 2) é a água coletada após filtração; e o terceiro ponto (Ponto 3) foi a coleta de uma amostra, após desinfecção com ultravioleta.

Para as amostras, coletadas, selecionaram-se alguns parâmetros de análise, de acordo com o ponto de coleta. A coleta e a preservação das amostras bem como as análises, a se realizarem, se deram segundo o “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”.

Para amostra do Ponto 1, analisaram-se pH, alcalinidade total, cloretos, cor aparente, dureza total, temperatura, turbidez, coliformes fecais (*Escherichia coli*) e coliformes totais.

Na amostra do Ponto 2, os parâmetros a serem analisados foram os mesmos em relação ao Ponto 1; e, para a amostra do Ponto 3, analisaram-se apenas coliformes fecais (*Escherichia coli*) e coliformes totais.

Sempre foi coletada a quantidade correspondente a três frascos (conforme a Figura 8); um, para coliformes (frasco menor, lacrado e desinfectado); um, para análise no IPTB; e, mais outro, para análise no laboratório do Departamento de Engenharia Química, Campus II, FURB.

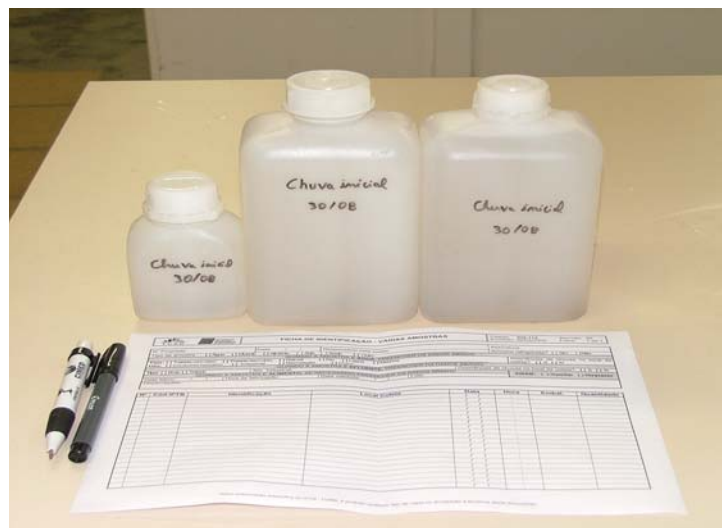


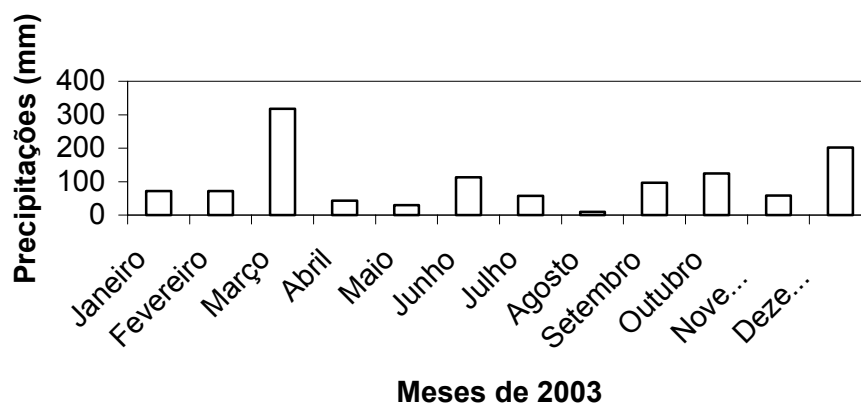
FIGURA 9 - Frascos para amostragem da água de chuva

4 RESULTADOS E DICUSSÕES

Inicialmente, apresenta-se o regime de chuvas em Blumenau, nos anos 2003 e 2004. Constam às análises das águas de chuva, sem passar sobre cobertura, do reservatório de autolimpeza e do reservatório de detenção, os resultados do tratamento, com as diferentes filtrações, respectivos meios filtrantes e desinfecção e, por fim, a análise do uso a que tais águas podem ser destinadas.

O regime de chuvas da região, apresentado na Figura 10, está relacionado com os meses de realização dos ensaios experimentais. Os valores das precipitações.juntamente com a área de 100 m² de telhado fornecem o volume de água de chuva que passou pelo sistema de captação.

A partir do levantamento do regime de chuvas de uma região, pode-se dimensionar o reservatório de detenção.



Fonte: Instituto de Pesquisas Ambientais da FURB.

FIGURA 10: Regime de chuvas no ano de 2003 e 2004.

Na região de Blumenau, a temperatura média anual é 20,1 °C; a umidade relativa do ar, em torno de 85 %; e a precipitação média anual 1460 mm, sendo que a precipitação máxima em 24 horas é de 186 mm segundo Epagri/Climerh – Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina, *apud* Santa Catarina (2003).

As precipitações do ano 2003 são mostradas na Figura 4.1. Para janeiro e fevereiro, as precipitações alcançaram 71,6 e 71,5 mm, respectivamente, enquanto que, em março, a precipitação máxima do ano chegou a 317,6 mm. Mas, reduziu, em abril e maio, 42,6 mm e 29,3 mm, respectivamente. Houve aumento, em junho, 112,7 mm; e reduziu; em julho; para 57,1 mm. No mês de agosto houve a menor precipitação do ano, 9,4 mm; mas aumentou, em setembro, para 96,4 e, em outubro, para 124,5 mm; e, em novembro diminuiu, para 58,7 mm; e, por fim, em dezembro subiu consideravelmente para 201,8 mm. Totalizaram-se 1193,2 mm, durante o ano de 2003; aliás, quantidades bem abaixo da média histórica anual.

Tomaz (2003) apresenta uma metodologia simplificada, para o dimensionamento com base no diagrama de Rippl. No entanto, Fendrinch (2004) apresenta, como critério para dimensionamento do reservatório de retenção, o emprego de uma fração da precipitação máxima horária.

4.1 ANÁLISE DA ÁGUA DE CHUVA DIRETA E DOS RESERVATÓRIOS DE AUTOLIMPEZA E DETENÇÃO

A análise da qualidade da água foi realizada, no período entre setembro de 2003 a agosto de 2004 (12 meses), em três pontos diferentes do sistema de

captação. Ao primeiro, a chuva foi coletada diretamente, sem passar sobre alguma superfície, apenas lavando os gases e suspensão atmosférica. O segundo ponto foi o reservatório de autolimpeza que acumulou apenas os primeiros 20 litros da chuva. O terceiro ponto foi o reservatório de detenção que acumulou o total de 1000 L, para a realização dos experimentos. Todos os valores médios das análises e desvios padrão constam do Quadro 6.

PARÂMETROS	Chuva direta		Autolimpeza		Detenção	
	Média	DP	média	DP	média	DP
pH	5,25	0,53	5,51	0,43	5,82	0,43
Alcalinidade Total (ppm)	13,80	8,22	13,26	3,89	12,09	2,20
Cloretos (ppm)	4,54	3,03	3,41	0,73	3,97	0,81
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	5,61	5,60	21,17	11,23	17,44	0,40
Cor Aparente (ppm PtCo)	16,82	10,50	30,08	20,46	16,60	11,57
Dureza Total (ppm)	25,33	9,43	25,63	15,89	15,30	9,75
Ferro Total (ppm)	0,31	0,36	3,03	6,84	0,43	0,68
Manganês (ppm)	0,07	0,00	3,03	0,00	0,01	0,00
Silica (ppm)	1,45	1,00	4,92	8,11	3,07	4,28
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	25,00	0,00	25,08	0,64	25,09	0,70
Turbidez (μT)	1,87	1,29	4,04	3,79	1,68	1,51
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	18,17	22,63	913,32	925,91	326,10	535,45
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1243,51	569,16	1569,19	1340,74	1251,34	601,15

Legenda – DP: Desvio padrão.

QUADRO 6 - Médias e desvio padrão (DP) dos parâmetros analisados em relação aos reservatórios de autolimpeza e chuva direta.

A chuva direta pode ser considerada ácida, cujo pH é $<5,65$, segundo Di Bernardo (2003), e cuja média é de 5,25. Ao escoar sobre telhado e ser armazenada, ela dissolve algumas substâncias que elevam o pH e adquire propriedades mais alcalinas.

No caso do reservatório de autolimpeza, o pH médio é de 5,51 e no reservatório de detenção se eleva para 5,82. Todos esses valores não atendem ao padrão de potabilidade, o que justifica o tratamento e, no caso de uso industrial, esses valores são indicativos de uma água que pode facilitar a corrosão em tubulações.

A alcalinidade total, 13,80 ppm, foi maior em chuva direta, seguida do reservatório de autolimpeza, 13,26 ppm; porém, reduzida no reservatório de detenção, 12,09 ppm em média. A baixa alcalinidade e o baixo pH facilitam a corrosão de tubulações.

Com relação aos cloretos, as análises indicaram concentrações muito baixas, inferiores ao padrão de potabilidade, estabelecido como limite máximo 250 ppm. As concentrações marcaram 3,41 ppm, para o reservatório de autolimpeza e, 3,97 ppm, para o de detenção; ou seja, um pouco mais elevado em chuva direta, 4,54 ppm. As baixas concentrações de cloretos sugerem que as chuvas, coletadas, no local, são pouco influenciadas por massas de ar vindas do oceano; ocorrentes apenas quando há vento leste.

A condutividade, encontrada na chuva direta, foi a menor, cerca de 5,61 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e indicou menor quantidade de sólidos, dissolvidos nessa água.

Os resultados do reservatório de detenção ficaram em torno de 17,44 $\mu\text{S}/\text{cm}$; aumentando consideravelmente no reservatório de autolimpeza, cerca de 21,17 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Evidenciam que a maior parte dos sólidos dissolvidos, encontrados na água, provêm da lavagem da cobertura; ainda, quantidade considerável dos sólidos

dissolvidos é carregada no começo da chuva e descartadas no reservatório de autolimpeza.

A cor obtida, em média, nos três pontos de coleta, vai além do limite 15 ppm PtCo, estabelecido pela Portaria 518/2004; e, de acordo com a amostra, varia muito. Foi no reservatório de autolimpeza que se encontraram os maiores valores, 30 ppm PtCo em média, enquanto que, no reservatório de detenção e na chuva direta, foram encontradas médias bem próximas, 16,60 e 16,82 ppm PtCo, respectivamente. Para uso potável, essa água deve passar por algum tipo de tratamento para a remoção de cor.

Assim como cloretos, os valores de dureza total são bem abaixo do estabelecido limite máximo 500 ppm. Os baixos valores de dureza classificam a água muito mole; condição permissível à formação de espuma na água de lavagem, e dificulta a formação de incrustações, ao que se julga, com esse quesito, que a água é apropriada para uso industrial e potável.

As análises de ferro total na água apresentaram valores altos, principalmente no reservatório de autolimpeza, 3,03 ppm em média. No reservatório de detenção, esse valor é bem reduzido, média 0,43 ppm e, da chuva direta, média 0,31 ppm; mas, ainda assim, nenhum desses valores atende ao limite máximo do padrão de potabilidade, 0,3 ppm. Na amostragem, os valores das análises variaram muito e podem ter sido provocados pelas emissões atmosféricas de uma indústria metalúrgica, localizada na proximidade da área, onde aconteceu o experimento. Com efeito, para ser potável, essa água deve passar por algum tipo de tratamento específico, para remoção deste parâmetro, ou ser coletada em outro local.

Para o manganês, o reservatório de autolimpeza apresentou valores altos (3,03 ppm), acima do padrão de potabilidade (0,1 ppm). Decresceu consideravelmente, no reservatório de detenção, para 0,01 ppm; aliás, valor que não apresenta riscos à saúde.

Às análises de sílica, houve valores muito baixos, se comparados àqueles valores exigidos, para uso industrial (< 180 ppm). Registre-se, pois, que em nenhuma análise houve valores acima de 15 ppm. Ao que se conclui, conforme esse parâmetro, não apresenta riscos de formação de incrustações.

Os valores de turbidez foram baixos, em todos os pontos analisados. O valor para chuva direta foi 1,87 uT; para o reservatório de detenção, 1,68 uT e 4,04 uT para o reservatório de autolimpeza. Essa condição demonstra, mais uma vez, a retenção de sólidos em suspensão, nesse compartimento. Mesmo os valores baixos não atendem ao padrão de potabilidade (1 uT); então, há necessidade para redução desses valores, uma filtração cujo meio filtrante seja de baixa granulometria.

Às amostras, analisadas, houve a presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, em todos os pontos. No reservatório de autolimpeza, há os maiores valores, razão por que justifica um processo de desinfecção, para alcançar o padrão de potabilidade.

4.2 FILTRAÇÃO COM AREIA E DESINFECÇÃO COM RADIAÇÃO UV

A filtração com areia cuja principal finalidade é remover a turbidez (substâncias em suspensão) e cor (substâncias dissolvidas) da água de chuva, coletada do telhado.

Com relação à turbidez, o tratamento apresentou resultados satisfatórios (Quadro 6) e reduziu a turbidez média da água da alimentação de 1,8 ut para 0,56 ut, à saída do filtro. À cor aparente apresentou diminuição de 24 para 15 ppm de PtCo, está no limite do padrão de potabilidade vigente. Isso se deve à retenção do material em suspensão, na água de chuva, pelo meio filtrante. O pH das amostras, na alimentação, apresentou resultados relativamente baixos, em torno de 5,3; mas, após a filtração, aumentou para o valor médio 6,1, com poucas variações, devido ao contato com o meio filtrante e a camada suporte.

Com relação aos cloretos, não se observaram muitas alterações; após a filtração, o valor médio de 3,5 ppm, e uma pequena dispersão de resultados.

Todos os valores estão abaixo do padrão de potabilidade. À saída do filtro de areia, foi notado acréscimo, de 10 ppm para 14 ppm, na dureza total, do qual pôde-se concluir que o filtro pode soltar alguns sais alcalino-terrosos.

Em relação à sílica, nota-se um aumento da alimentação à saída do filtro de 0,75 ppm, em média. Ao que se conclui que o filtro libera sílica na água. Há uma redução significativa de ferro total de 0,1, na detenção para 0,047 ppm após o filtro;

pois o limite, estabelecido na Portaria 518/2004, é de 0,3 ppm. Isso se deve à retenção de material pelo filtro.

Com relação aos microrganismos, houve uma redução considerável, depois do filtro de areia, também devido à retenção de sólidos, suspensos pelo filtro. Acredita-se que não foram maiores por que trabalhou-se em batelada e não houve tempo suficiente, para formar uma camada de biofilme, para retenção de microrganismos. Entretanto, após a passagem no reator, ultravioleta, todas as amostras não apresentaram *Escherichia coli* e Coliformes Totais, comprovando a eficiência do reator UV, conforme pode ser visto Quadro 7.

O sistema atende aos padrões de potabilidade, em todos os parâmetros analisados; porém, para o parâmetro cor, há valores altos, próximos do limite e, também, certo sabor e odor, condições geradoras de insatisfação aos consumidores, os quais as rejeitam para uso potável, conforme foi constatado por Tordo (2004), que executou um trabalho associado com as mesmas amostras deste trabalho.

No filtro de areia e carvão, observou-se, ainda mais, a elevação do pH, no reservatório de detenção, e, algumas amostras, deteve pH neutro e, até mesmo, levemente básico. Conseqüentemente, a alcalinidade foi, em média, mais elevada, mesmo com uma dispersão pouco maior; as amostras, com valores mais baixos, estão a montante do reservatório de detenção e do filtro de areia.

Não foram observadas grandes alterações nos cloretos, à saída do filtro de areia e carvão; esse parâmetro assim como os de alcalinidade total apresentam valores muito baixos e sem qualquer restrição sanitária ou industrial.

Os valores de cor, ao contrário do que se esperava, aumentaram, após a passagem pelo filtro. Esse aumento pode ser devido a algum problema operacional.

Com relação à dureza, o filtro proporcionou redução, de 36 ppm para 22,67 ppm, em média, provavelmente devido à capacidade de adsorção.

Com relação a ferro total, o filtro foi bem eficiente, removendo de 2,02 ppm para 0,29 ppm, em média, com poucas dispersões, devido à adsorção do ferro, no carvão ativado utilizado. Para esse parâmetro atende o padrão de potabilidade.

A sílica, à saída do filtro, foi reduzida consideravelmente, de 13,21 ppm para 1,15 ppm, em média; ao que se pode julgar, nestes ensaios, que houve retenção em relação a esse parâmetro. À turbidez, à entrada do filtro, houve valores baixos e, em relação a esse parâmetro, não apresentou reduções muito significativas, passando, em média, de 0,69 uT para 0,63 uT.

Com relação às análises microbiológicas, o filtro reteve microorganismos que constam do Quadro 7 e da Figura 11. A redução completa ocorreu no reator com radiação ultravioleta.

Meio filtrante	Areia			Areia e Carvão		
Parâmetros	Detenção	Filtro	Reator UV	Detenção	Filtro	Reator UV
pH	5,3	6,1±0,22	X	5,21	6,75±0,64	X
Alcalinidade total (ppm)	12	11±1,15	X	10	19,33±7,57	X
Cloretos (ppm)	3,5	3,5±0,81	X	2,82	3,76±0,81	X
Cor Aparente (ppm PtCo)	24	15±12,32	X	7	29±13,86	X
Dureza Total (ppm)	10	14±4,62	X	36	22,67±2,31	X
Ferro Total (ppm)	0,11	0,047±0,01	X	2,02	0,29±0,04	X
Sílica (ppm)	ND	0,75±0,05	X	13,21	1,15±0,08	X
Temperatura	25	25	X	25	25,00	X
Turbidez (NTU)	1,8	0,56±0,32	X	0,69	0,63±0,42	X
<i>E. coli</i> (NMP/100ml)	2	Ausente	Ausente	900	418,47±434,58	Ausente
Coliformes Totais (NMP/100ml)	1200	500±843,39	Ausente	1600	1126,43±820,24	Ausente

QUADRO 7: Resultados da filtração com areia e desinfecção com ultravioleta.

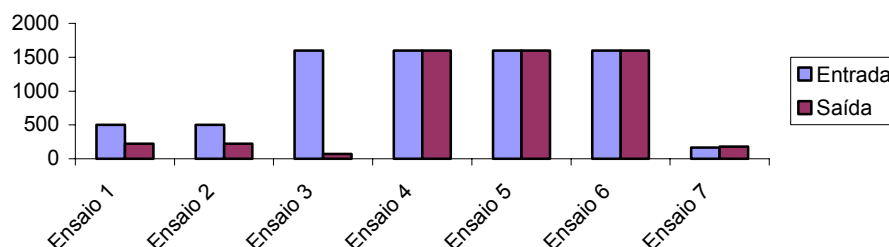


FIGURA 11: Redução de coliformes totais, depois do filtro de areia.

Observou-se que, no processo de tratamento da água de chuva, coletada sobre telhado, todos os parâmetros, relacionados ao padrão de potabilidade, foram atendidos, exceto o de cor, sabor e odor. Os resultados constam do Quadro 7, no qual a coluna de areia se refere aos quatro primeiros ensaios; e a coluna de areia e carvão é referente ao quinto, sexto e sétimo ensaios.

4.3 TRATAMENTO COM CARVÃO E DESINFECÇÃO COM UV

Os resultados do tratamento da água de chuva, utilizando-se somente carvão como meio filtrante, foram separados, de acordo com o tipo de carvão utilizado: antracitoso com granulometria, entre 1,7 e 2,5 mm; padrão adsorção com granulometria, entre 1,7 e 2,5 mm, e o padrão adsorção com granulometria, entre 0,8 e 1 mm.

4.3.1 Carvão antracitoso como meio filtrante

Aqui são apresentados os resultados do décimo ensaio, para o tratamento com carvão tipo antracitoso como meio filtrante que é comum às estações de tratamento. Os resultados, à saída do filtro, são apresentados em termos de média e desvio padrão e, então, comparados aos valores da caixa de detenção, antes de passar pelo filtro (Quadro 8). As amostras foram coletadas após duas, três e quatro horas de funcionamento do filtro. Para o pH, houve um acréscimo, de 5,43 para 6,28, em média, à saída da caixa de detenção.

A alcalinidade total aumentou, de 8 para 14 ppm, bem como a dureza total (20 para 33 ppm) e a condutividade (17 para 27 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

A cor aparente e ferro total se mantiveram constantes e, por conterem valores muito baixos, não foram absorvidos pelo carvão.

Para cloretos, os valores aumentaram; mas não apresentaram valores significativos, em relação à Portaria 518/2004.

As concentrações de sílica foram reduzidas sensivelmente; mas não apresentaram valores elevados.

Constatou-se que, para todos os parâmetros estudados, a água tratada apresentou características potáveis, de acordo com o padrão de potabilidade vigente, exceto para os parâmetros sabor e odor, que foram objetáveis.

PARÂMETROS	Detenção	Saída do filtro	
		média	DP
pH	5,43	6,28	0,04
Alcalinidade Total (ppm)	8,00	14,00	0,00
Cloretos (ppm)	2,82	3,29	0,81
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	18,00	27,60	0,36
Cor Aparente (ppm PtCo)	3,00	3,00	1,00
Dureza Total (ppm)	20,00	33,33	2,31
Ferro Total (ppm)	0,09	0,09	0,00
Sílica (ppm)	1,85	1,53	1,96
Temperatura (°C)	25,00	25,00	0,00
Turbidez (uT)	0,84	0,49	0,09

Legenda – DP: Desvio padrão.

QUADRO 8: Médias do reservatório de detenção e filtração, com carvão ativado tipo antracitoso de diâmetro maior de 1,7 mm.

4.3.2 Carvão ativado padrão adsorção como meio filtrante

Em se analisando os resultados do Quadro 9, é possível observar que a qualidade da água, após o filtro, aumentou de valores, para os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade total, condutividade e dureza total. Isso se deve à capacidade de a água dissolver quase tudo, ao contato dela e, também, à

característica do filtro, devida às presenças do seixo rolado e do carvão ativado; ambos responsáveis pelo aumento de valores desses parâmetros.

Para cloretos, a variação não foi significativa, tanto para a entrada como para a saída do sistema; pois as amostras são provenientes de um mesmo local, e a principal fonte de contaminação foi o ar atmosférico, quando a concentração pôde ser influenciada pela distância do mar, devido às correntes marítimas, por que o tempo que influencia a concentração de retenção da água de chuva, antes do tratamento, foi extremamente pequeno (12h), e resultou em valores de baixa concentração. Após o filtro, não foi observada nenhuma redução da concentração da água de chuva, assim também com o ferro total, devido a essa baixa concentração de 0,095 ppm, detectada à entrada do sistema.

A turbidez, à redução de concentração, obtida à saída do filtro, foi de 41,2% a 58,8%. Esse resultado demonstrou que o sistema aplicado se demonstrou eficiente.

Com os dados constantes no Quadro 10, conclui-se que a qualidade da água, após o filtro, não se houve com mudanças significativas. A diferença de granulometria e tipo de carvão aplicado se apresentaram praticamente com os mesmos resultados; exceto a redução de ferro, no qual houve maior eficiência com o carvão cuja granulometria é inferior a 1,7 mm.

Os Quadros 9 e 10 se referem aos ensaios 8 e 9, respectivamente; e os resultados são médias das amostras, coletadas após 2h, 3h e 4h de ensaio.

PARÂMETROS	Detenção	Saída do filtro	
		média	DP
pH	5,43	5,89	0,12
Alcalinidade Total (ppm)	8,00	12,00	0,00
Cloretos (ppm)	2,82	2,35	0,81
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	18,00	29,57	3,17
Cor Aparente (ppm PtCo)	3,00	2,00	1,00
Dureza Total (ppm)	20,00	33,33	2,31
Ferro Total (ppm)	0,09	0,09	0,01
Sílica (ppm)	1,85	2,62	0,70
Temperatura (°C)	25	25,00	25,00
Turbidez (uT)	0,84	0,52	0,07

Legenda – DP: Desvio padrão.

QUADRO 9: Média da caixa de detenção e a filtração com carvão ativado padrão adsorção de diâmetro maior de 1,7 mm

PARÂMETROS	Detenção	Saída do filtro	
		média	DP
pH	5,43	6,24	0,23
Alcalinidade Total (ppm)	8,00	17,33	2,31
Cloretos (ppm)	2,82	3,29	0,81
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	18,00	30,80	2,95
Cor Aparente (ppm PtCo)	3,00	2,67	0,58
Dureza Total (ppm)	20,00	42,67	4,62
Ferro Total (ppm)	0,09	0,01	0,026
Sílica (ppm)	1,85	3,15	0,76
Temperatura (°C)	25	25,00	0,00
Turbidez (uT)	0,84	0,58	0,23

Legenda – DP: Desvio padrão.

QUADRO 10: Média da caixa de detenção e da filtração, com carvão ativado, padrão adsorção de granulometria menor que 1,7 mm.

Conforme se discutiu anteriormente, o filtro eleva o pH da água e, então, observa-se que, após a filtração, o parâmetro pH da água atende à Portaria

518/2004. Na Figura 12, apresentam-se os resultados das análises de pH, para os dez ensaios realizados, assim como o valor mínimo, estabelecido pela Portaria 518/2004.

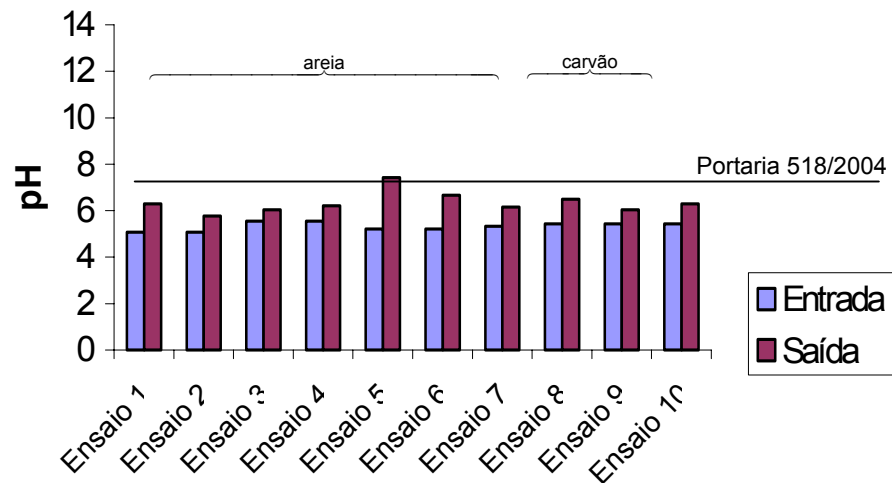


FIGURA 12: Valores de pH, à entrada e à saída do filtro.

Nos resultados ao parâmetro cor aparente, antes e depois do filtro, os ensaios de 3 a 7 resultaram contrários ao esperado, devido a problemas com o meio filtrante (Figura 13).

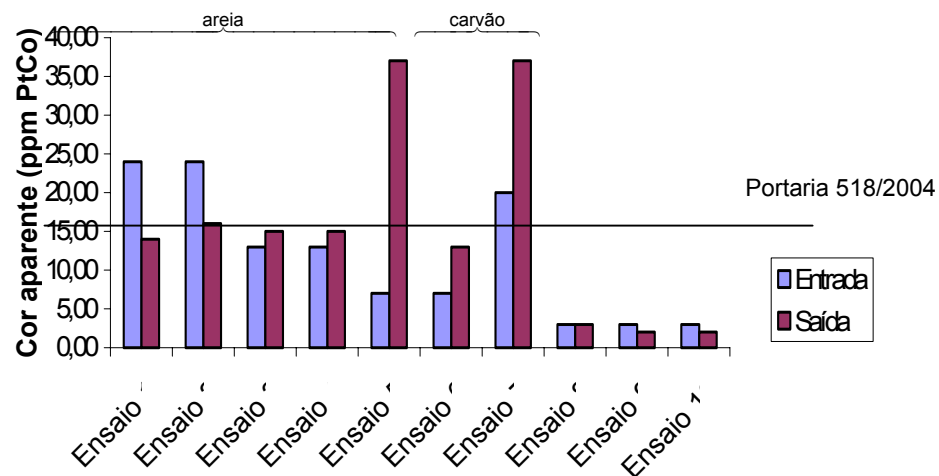


FIGURA 13: Resultados de cor aparente na entrada e na saída do filtro

Conforme a Figura 13, o filtro se demonstrou eficiente, para redução de ferro, quando aparecem valores elevados à entrada; porém, nos ensaios 5 e 6, os valores de ferro, à saída, ficaram acima do padrão de potabilidade.

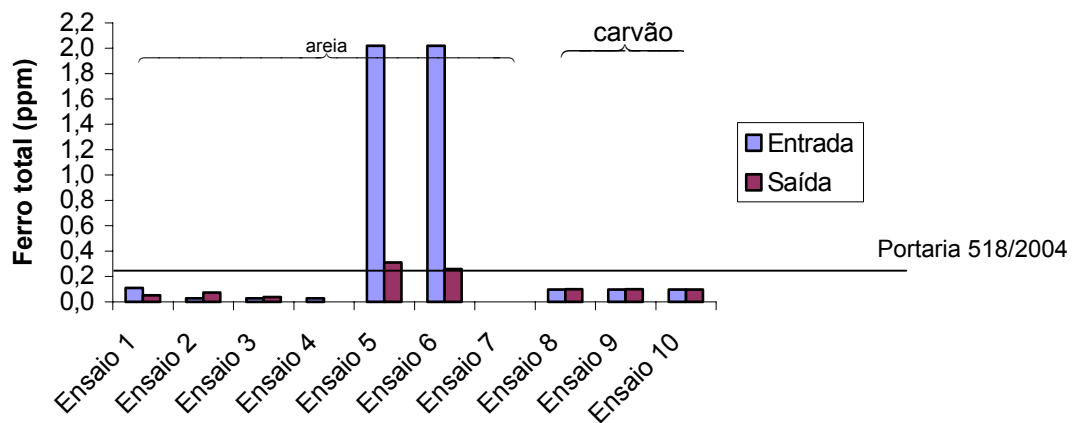


FIGURA 14: Valores de ferro total, à entrada e à saída do filtro.

Conforme descrito, o filtro, em todos os ensaios, apresenta uma redução satisfatória, em relação à turbidez, e atende ao padrão de potabilidade, mostrado na Figura 15.

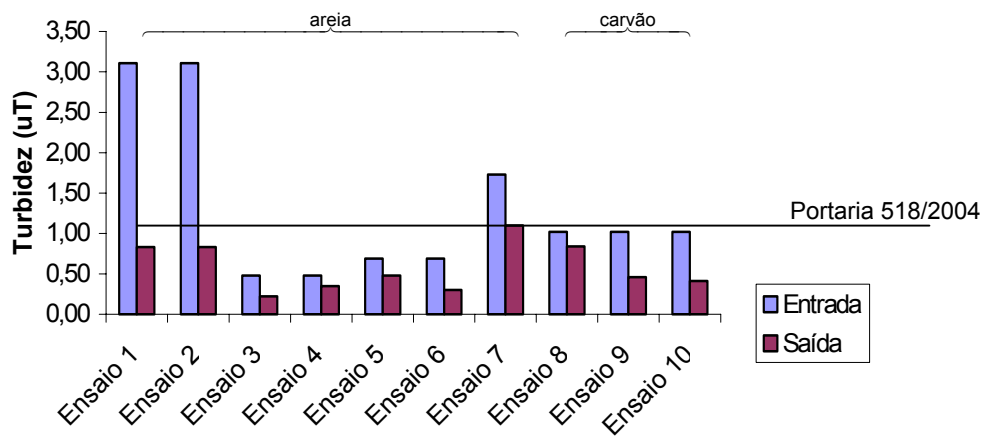


FIGURA 15: Valores de turbidez, à entrada e à saída do filtro, em todos os dez ensaios.

4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL

No Quadro 11, apresenta-se uma síntese comparativa dos requisitos, para diferentes atividades industriais, em relação aos resultados, obtidos no processo de tratamento estudado. Algumas considerações são descritas, a seguir, sobre essa comparação.

Para utilização industrial, na maioria dos processos, o pH é um parâmetro que domina também a maioria das reações. Foi de 5,85 o valor médio de pH, encontrado no reservatório de detenção.

Tanto para indústrias de bebidas como de alimentos, esse valor está um pouco abaixo do especificado, para esses setores (6,0 a 9,5). Para sistema de geração de vapor, essa condição não seria problema; pois, para caldeiras de baixa pressão (10 bar), o tratamento é realizado internamente, resolucioando o

problema. É recomendado o valor entre 10,5 a 11,8, aproximadamente; porém, os valores de dureza, para esse processo, ainda estão superiores aos recomendados. Ainda, para a indústria de alimentos e de bebidas, a água da caixa de detenção não se adequou aos parâmetros: turbidez, ferro e cor. Para essas indústrias, a água deve atender aos padrões de potabilidade.

A alcalinidade, encontrada nas amostras, analisadas, indica que, ao usá-la não causa nenhum inconveniente, para indústrias de bebidas. Para uso em caldeiras, o valor é considerado baixo; mas, devido ao seu tratamento interno, a questão valor é solucionado, e mantém o valor, no máximo 700 ppm, de alcalinidade total e de, no mínimo 200 ppm, de alcalinidade hidroxila.

No caso da indústria têxtil, a água, da caixa de detenção, é inadequada para os parâmetros ferro total e cor aparente.

Tanto para a indústria de plásticos quanto para a indústria de papel em geral, a cor da água da caixa de detenção é inadequada.

Se for analisado o parâmetro ferro total, nota-se o valor acima do recomendado, para a indústria de papel fino.

A água de chuva, filtrada por areia, e desinfetada, com ultravioleta, se demonstrou adequada para o uso como água de refrigeração e, para produção de vapor, assim com o para a indústria de papelão.

Para a indústria alimentícia assim como para indústria de bebida, a água de chuva se demonstrou inadequada, apenas por apresentar sabor e odor objetáveis (TORDO, 2004).

Para a indústria de papel fino e a indústria têxtil, essa água se demonstrou inadequada pela cor aparente e, para a indústria de plásticos, além da cor aparente, o ferro total passou do limite 0,02 ppm recomendado.

A água filtrada por carvão foi adequada como água de refrigeração; porém, como água para vapor, apresentou-se inadequada por deter dureza, acima dos 20 ppm recomendados. Para indústria alimentícia e de bebidas em geral, essa não se adequou, por ainda apresentar sabor e odor objetáveis.

Porém, para a indústria de papel em geral, demonstrou-se adequada, inclusive para a indústria de papel fino.

Na indústria de plásticos, essa água não se adequou; pois, os valores inferiores, recomendados, são muito abaixo a 2 uH para cor aparente e menos de 0,02 ppm para ferro total.

Para efeito, recomenda-se, para esse tipo de indústria, o tratamento com resinas catiônicas, para a redução de ferro.

Ainda, essa água se adequou para a indústria têxtil e atende a todos os parâmetros, recomendados.

Na indústria farmacêutica, é requerida água de baixa concentração de sólidos, que pode ser obtida por destilação ou desmineralização. Outrossim, essa água pode ser obtida por destilação especial cuja obtenção se dá sob pressão. Ainda pode ser obtida por desmineralização, seguida de esterilização.

Papéis para a indústria eletrônica, cigarros e material fotográfico exigem água desmineralizada, para o devido processo de fabricação, o qual pode ser muito eficiente, por ter baixa concentração de sólidos.

Parâmetros	Análise de adequação da água para uso industrial (parâmetro fora da faixa de utilização)								
	Água de refrigeração	Água para vapor	Indústrias						
			Refrigerante	Cerveja	Alimentícias	Papelão	Papel Fino	Têxtil	Plásticos
Caixa de detenção	inadequado (pH)	inadequado (pH,dureza)	inadequado (pH,turbidez, ferro e cor)	inadequado (pH,turbidez, ferro e cor)	inadequado (pH, turbidez, ferro e cor)	inadequado (cor)	inadequado (ferro e cor)	inadequado (ferro e cor)	inadequado (cor)
Filtração com Areia e desinfecção	adequado	adequado	inadequado	inadequado	inadequado	adequado	inadequado (cor)	inadequado (cor)	Inadequado (ferro e cor)
Filtração com Carvão e desinfecção	adequado	inadequado (dureza)	inadequado	inadequado	inadequado	adequado	adequado	adequado	Inadequado (ferro e cor)

QUADRO 11: Adequação da água em diversos pontos em relação a diversos processos industriais.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para realização deste experimento, foi construído um sistema de captação e de tratamento das águas, escoadas sobre uma cobertura de telha cerâmica, e, nele, foram estudados diversos parâmetros, relevantes à caracterização da água de chuva para uso potável, estabelecidos pela Portaria 518/2004, e adequação para uso industrial.

O tratamento da água, escoada da cobertura, estudada, não apresentou características potáveis pelo sabor e odor que se demonstraram objetáveis. Os outros parâmetros foram atendidos, e abriram possibilidades à caracterização, para alguns ramos da indústria.

Para uso doméstico, essa água tem características adequadas, para quase todas as funções, tais como descarga de banheiros, chuveiros, pias, rega de jardim e lavagens em geral; pois dureza e teores de sólidos são baixos nela e não apresentam risco de entupimento ou incrustação nas tubulações. Até mesmo para uso na cozinha, à lavagem de alimentos, louças e cozimento, esta água pode ser utilizada, por não apresentar contaminação microbiológica. Apenas se a água for consumida diretamente, por ter sabor desagradável, então esse uso não é recomendado, razão por que muitas pessoas usam água mineral.

Para uso industrial, a água, filtrada e desinfetada com radiação ultravioleta, se demonstrou adequada para alguns fins, tais como à indústria de papel e à indústria têxtil assim como à geração de vapor e água de refrigeração.

Para a indústria de alimentos e de bebidas, de uma maneira geral, foi inadequada pelo sabor e odor.

Para vários ramos da indústria que necessitam de água desmineralizada, o aproveitamento da água de chuva pode ser uma solução econômica, uma vez que ela detém baixos teores de sólidos, dissolvidos (cloretos, cálcio e magnésio) e em suspensão.

Recomendam-se estudos futuros sobre qual a substância que confere à água de chuva, escoada sobre coberturas cerâmicas, a remoção da propriedade sabor desagradável e, assim fundamentado, proceder à definição de um tratamento eficiente. Assim feito, tal remoção possa se enquadrar no padrão de potabilidade e se adequar a outros vários ramos da indústria como a alimentícia e a de bebidas em geral.

6 REFERÊNCIAS

- ABBAS, M. Z. M. **Técnicas quimiométricas na avaliação da água das chuvas em Cubatão**. Dissertação de mestrado. Departamento de Agronomia, USP, Piracicaba, São Paulo, 1989. 122p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS**. Instituto de Pesquisas Ambientais. Centro de Operações do Sistema de Alerta. Blumenau, 2004.
- AGUIAR, M.de S.; NETO, M. de L. F; BRITO, L. L. A. de, REIS, A. MACHADO; P. M. R; SOARES, A F. S; VIEIRA, M.B.C.M; LIBANO, M. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas**. V. 7, p. 47, 2002.
- APPAN A. **A dual mode system for harnessing roofwater for non-potable uses**, Urban water. V. 1, p. 317-321, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB-592**: Elaboração de projetos de sistemas de tratamento de água para abastecimento público : procedimento. Rio de Janeiro, 1977. 28 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público : procedimento. Rio de Janeiro, 1992. 18p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.234**: Produtos químicos para tratamento de água de abastecimento, carvão antracitoso: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1998. 16p.
- BAIRD, Colin. **Química ambiental**. 2.ed. Porto Alegre; Bookman, 2002. XII, 622p.
- BEBER, A. J. **Química básica da água e tratamento de água de caldeira**. Santa Catarina, Blumenau, 2004. 45 transparências.
- BOLTON, J. R. **Calculation of ultraviolet fluence rate distributions in an annular reactor: significance of refraction and reflection**. Water Research, V. 34, n.13, p.3315-3324, 2000.

- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 518, de 25 de março de 2004**, Brasília: DOU (25/03/2004).
- CIOCCHI, L. **Para utilizar água de chuva em edificações**. Técnica – Revista de Tecnologia de Construção. São Paulo, n. 72, p. 58-60, mar, 2003.
- Coombes, P.J., Argue, J.R. e Kuczera, G. **Figtree Place: a case study in water sensitive urban development**, Urban water. V. 1, p. 335-342, 1999.
- DANIEL, Luiz Antonio (coord.). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**: Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 155 p.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; FILHO, P. L. C. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. Ed. RiMa, São Carlos, 2002.
- DI BERNARDO, Luiz; BRANDÃO, Cristina Celia Silveira; HELLER, Leo, et al. . **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro : ABES, 1999. 114p.
- DI BERNARDO, Luiz. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. São Carlos, (SP) : ABES, 2003. xiv, 480 p.
- DUCK, P. J. Van; VOORDE, H. Van Den. **Activated charcoal and microflora in water treatment**, Water Research, V. 18, p.1361-1364, 2003.
- EATON, Andrew, D; AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington, D.C : APHA, 1995. 1 v. (paginação irregular), il.
- FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. **Manual de utilização das águas pluviais**. Curitiba: Livr. Chain, 167 p., 2002.
- FIORILLO,C.Antonio Pacheco.; RODRIGUES,M.Abelha. **Manual de direito ambiental e legislação aplicável**. 2. ed. São Paulo: Max Limonad, 1999.127 p.
- FLUES M.; HAMA P.; LEMES M.J.L.; DANTAS F.S.K.; e FORNARO A. **Evaluation of the rainwater acidity of a rural region due to a coal-fired power plant in Brazil**. Atmospheric Environment. V. 36, p. 2397-2404, 2002.
- FUSHENG, Li et al. **Factors affecting the adsorption capacity of dissolved organic matter onto activated carbon: modified isotherm analysis**, Yanagido, 2002.
- GERMAIN, L; COLAS, L; ROUQUET, J. **Tratamento de Águas**. São Paulo: Polígono, 1972.

- GIESE, N.; DARBY, J. **Sensitivity of microorganisms to different Wavelengths of uv light: implications on modeling of medium pressure uv systems.** Water Research, v 34, n°.16, p. 4007-4013, 2000.
- GONÇALVES, Ricardo Franci (coord). **Desinfecção de efluentes sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 438 p.
- GRANZIERA, M. Luiza Machado. **Direito de Águas: disciplina jurídica das águas doces.** São Paulo:Atlas, 2001.
- HAMMER, Mark J. **Sistemas de abastecimento de água e esgoto.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977. 564 p.
- HUFFMAN, Debra E. et al. **Low and medium pressure UV inactivation of microsporidia encephalitozoon intestinalis,** Water Research, v 36, p. 3161–3164, 2002.
- KEMMER, Frank N. **The NALCO Water handbook.** 2.ed. V1New York: McGraw-Hill, c 1988. (paginação irregular).
- LAINÉ et al. **Treatment of stormwater to bathing water quality by dissolved air flotation, filtration and ultraviolet disinfection,** Water Science and Technology, V. 38, p. 99-105, 1998.
- LEAL, U. **Ciclo da água na edificação.** Técnica – Revista de Tecnologia de Construção. São Paulo, n. 48, p. 45-46, set/out, 2000.
- LEHTOLA, Markku J. et al. **Impact of UV disinfection on microbially available phosphorus, organic carbon, and microbial growth in drinking water.** Water Research, v 37, p. 1064-1070, 2003.
- MURTHA, N. A. **Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia.** Artigo Técnico. Ed Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 8, 2003.
- OOSTERON H.A.; KOENHEN D. M.; e BOS M. **Production of demineralized water out of rainwater: environmenatly saving, energy efficient and cost effective,** Desalination. N. 131, p. 345-352, 2000.
- PEREIRA, C. T.; MUELLER, H. **Estudo da ocorrência de precipitações ácidas em bairros da periferia de Blumenau.** Monografia. Departamento de Química, Universidade Regional de Blumenau, 1999, p. 48
- PERRY, Robert H; CHILTON, Cecil H. **Manual de engenharia química.** 5. ed. V. 2, Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. il. Tradução de: Chemical engineers handbook..
- REINOLD, M. R. **O tratamento de água na indústria de bebidas.** Engarrafador Moderno, p. 24-30, 2002.
- RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1995.

- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado e Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Desenvolvimento Regional. **Caracterização Regional**. Blumenau, 2003. 37p.
- SANTA CATARINA. **Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina**. Epagri/Climerh. 2003.
- SANTOS FILHO, Davino Francisco dos. **Tecnologia de tratamento de água : água para indústria**. Rio de Janeiro: Almeida Neves, 1976. 251p.
- SCHAEFFER, Kenneth. Carvão Ativado: **Magia Negra para o tratamento de água**, Oceanside, 2003.
- SIMMONS G.; HOPE V.; LEWIS G.; WHITMORE J.; e GAO W. **Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland**. *Water Research*. New Zealand, v. 35, n. 6, p. 1518-1524, 2001.
- SMITH A.; Khow J.; e HILLS S. **Water reuse at the UK's Millenium Dome**. *Membrane Technology*. N. 118, p. 5-8, 2002.
- SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas a ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA, 1996. 243 p.
- SPERLING, Marcos Von. **Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos**. Vol. 3, n. 1. Belo Horizonte: RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.
- TARRAN, Elion Pietrobon. **Desinfecção por luz ultravioleta**. Monografia. Departamento de Química, São Paulo, 2003
- TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2003. 180p.
- TORDO, Olga Catarina. **Caracterização e avaliação do uso de águas de chuva para fins potáveis**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004. 122p.
- VIANNA, M.R. Hidráulica **Aplicada às Estações de Tratamento de Água**. Minas Gerais: Instituto de Engenharia Aplicada, 1992.