

SIMONE MAY

**CARACTERIZAÇÃO, TRATAMENTO E REÚSO
DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM
EDIFICAÇÕES**

**Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Doutora em Engenharia.**

**São Paulo
2009**

SIMONE MAY

**CARACTERIZAÇÃO, TRATAMENTO E REÚSO
DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM
EDIFICAÇÕES**

**Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Doutora em Engenharia.**

**Área de Concentração:
Engenharia Hidráulica e Sanitária**

**Orientador:
Prof. Dr. Ivanildo Hespanhol**

**São Paulo
2009**

**Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, so
responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.**

São Paulo, 15 junho de 2009.

Assinatura do autor.....

Assinatura do orientador.....

FICHA CATALOGRÁFICA

May, Simone

**Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e apro-
veitamento de águas pluviais em edificações / S. May. -- São
Paulo, 2008.**

222 p.

**Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.**

**1.Água pluvial 2.Reúso da água 3.Tratamento de água
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento
de Engenharia Hidráulica e Sanitária II.t.**

*A minha mãe Olinda Ricken May e
ao amigo Adhemar Paulo Rizzoli.
(In memoriam)*

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos meus pais, pela vida.

Ao meu marido André, meu porto seguro.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ivanildo Hespanhol, pela inestimável sabedoria.

Aos colegas do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA), pelo incentivo e apoio.

Ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Adolfo Lutz, nas pessoas de seus pesquisadores Ana Maria R. de Paula, Gisele I. S. L. Lopes, Júlia T. U. Yoshida e Maria Anita Scorsofava, pela realização de análises qualitativas de amostras de águas cinzas e de águas pluviais.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo fomento da pesquisa por meio da bolsa de Doutorado.

A Tigre S.A. pelo patrocínio desta pesquisa.

As empresas Alpina Ambiental, Jacuzzi e a Netsch, pela doação e empréstimo de equipamentos para a realização desta pesquisa.

Aos amigos e a todos que me apoiaram fazendo com que os momentos de dificuldades fossem superados.

*Para ser grande, sê inteiro: nada
Teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és
No mínimo que fazes.
Assim em cada lago a lua toda
Brilha, porque alta vive.*

*Fernando Pessoa
Odes de Ricardo Reis, 14-2-1933*

RESUMO

O reúso de águas cinzas e o aproveitamento de águas pluviais aplicados para fins não potáveis vêm ao encontro das premissas de sustentabilidade e ao conceito de conservação de água. Sistemas de reúso de águas cinzas e sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais devem seguir quatro critérios: segurança higiênica, estética, proteção ambiental e viabilidade técnica e econômica. As águas cinzas e as águas pluviais devidamente tratadas podem ser utilizadas no consumo não-potável em edificações como em bacias sanitárias, em torneiras de jardins, na irrigação de gramados e plantas, na lavagem de veículos, na lavagem de roupas, na limpeza de calçadas, na limpeza de pátios, na produção de concretos, na compactação de solos, na recarga de aquíferos e no uso ornamental como em chafarizes e em espelhos d'água desde que sua utilização não ofereça riscos à saúde de seus usuários.

As águas cinzas podem ser divididas em dois grupos: águas cinzas escuras e águas cinzas claras. As águas cinzas claras são as águas residuárias originadas de banheiras, chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupas. Já as águas cinzas escuras incluem ainda as águas residuárias provenientes da pia da cozinha e máquina de lavar pratos. O efluente oriundo de vasos sanitários não é denominado de águas cinzas, mas águas negras. A composição das águas cinzas é principalmente influenciada pelo comportamento do usuário, podendo também apresentar variação conforme a região onde a cultura, os costumes, as instalações e a utilização de produtos químicos são diferentes. Microrganismos patogênicos podem ser encontrados nas águas cinzas e nas águas pluviais como, por exemplo, a *Escherichia Coli*, que é comumente utilizada como indicador de contaminação fecal. Assim, o tratamento das águas cinzas e das águas pluviais deve ser praticado com o intuito de eliminar a matéria orgânica e remover ou inativar os microrganismos patogênicos presentes nessas águas, evitando-se o contato humano direto com águas poluídas e a disseminação de doenças. Alguns cuidados com o uso de sistemas de reúso de águas cinzas e sistemas de aproveitamento de águas pluviais devem ser tomados, a saber: verificar a qualidade da água tratada, fazer manutenção adequada ao sistema, dispor de operação eficaz e segura ao sistema e ao operador, verificar a não ocorrência de conexões cruzadas no sistema de distribuição, fazer uso de avisos com indicação "água não potável", fazer uso de tubulações de cores e de conexões diferenciadas, de modo que o sistema ofereça segurança a seus usuários.

Este projeto visa a caracterização e o tratamento de águas cinzas e de águas pluviais para consumo não potável em edificações. A primeira etapa do projeto destinou-se à caracterização das águas cinzas residenciais através de análises físicas, químicas e bacteriológicas para a verificação de sua qualidade. A segunda etapa foi dividida em dois grupos: tratamento das águas cinzas residenciais e tratamento das águas pluviais. Neste trabalho foi abordada a caracterização e o tratamento das águas cinzas claras, isto é, as águas residuárias oriundas de chuveiros, de lavatórios e da máquina de lavar roupas. O tratamento das águas pluviais se deu com base nos resultados de caracterização obtidos em May (2004), anexo 2. Para o tratamento das águas cinzas fez-se uso de tratamento biológico aeróbio e para o tratamento das águas pluviais, filtração e desinfecção com cloro. Alguns dos parâmetros analisados durante o período de monitoramento do sistema

de tratamento de águas cinzas obtiveram uma redução bastante significativa, por exemplo: cor aparente - 95,1%, turbidez - 98,2%, SST - 94,1%, DBO - 93,4%, DQO - 86,3%, COT - 84,9%, Coliformes termotolerantes - 99,8% e Coliformes totais - 97,8%. Durante os ensaios foi mantido um residual mínimo e máximo de cloro de 0,8 – 1,7 mg/L. No sistema de tratamento de águas pluviais alguns parâmetros analisados durante o período de monitoramento obtiveram as seguintes reduções: cor aparente - 62%, turbidez - 75,7%, Coliformes termotolerantes - 100% e Coliformes totais - 100%. Durante os ensaios foi mantido um residual mínimo e máximo de cloro de 0,6 – 1,2 mg/L. Baseado nos resultados das análises realizadas e nos resultados obtidos com o tratamento dessas águas, seus usos para fins não potáveis devem ser estimulados.

ABSTRACT

The reuse of greywater and the rainwater catchment for non potable uses meets the premises of sustainability and the concept of water conservation. Properly conceived greywater reuse systems and rainwater catchment systems should follow four basic criteria: hygienic reliability, aesthetics, environmental protection and technical/economic feasibility. The greywater and the rainwater, when properly treated, can be used for consumption at buildings, for non potable purposes such as flushing toilet bowls, floors and backyards cleaning, garden irrigation, ornamental uses as in water mirrors and water fountains as long as its use avoid any risk to users' health. Greywater can be divided in two groups: dark greywater and light greywater. The greywater is originated from bathtubs, showers, lavatories and washer machines. Dark greywater, has its origin from kitchen lavatory and dishwasher machine. Water from toilet bowls is not called greywater but wastewater. Greywater composition is mainly influenced by user habits and usually results on variations depending on the region, the culture, the costumes, the installation and the kind of chemical products used. Pathogenic microorganisms can be found on greywater and on rainwater as, for example, *Escherichia Coli*, commonly used as faecal contamination indicator. Greywater and rainwater treatment should be taken so that organic material can be removed or pathogenic microorganisms found can be inactivated, avoiding direct human contact and disease dissemination. Care on processing greywater reuse systems and rainwater catchment systems should be taken, as: verifying treated water quality, appropriated system maintenance, secure and efficient operation for the operator and for the system, the avoidance of crossing connections on distribution system, usage of alert signs about "non potable water", different colors and different connection dimensions so that the reuse system offers secure operation for its users.

This paperwork aims to the characterization and the treatment of greywater for non potable use in buildings, divided in two sections. The first section of the project aimed the residential greywater characterization through physical, chemical and bacteriological analysis for quality evaluation. The second section was divided in two groups: the treatment of residential greywater and the treatment of collected rainwater. This project focus on the characterization and on the treatment of light greywater, defined as water collected from showers, lavatories and washer machines. Rainwater treatment was based on the results achieved from May (2004), annex #2. Filtration and chloride disinfection treatment was applied on rainwater and aerobic biological treatment was applied on greywater. Some of the parameters analysed during the monitoring period of the greywater treatment system, achieved a significant reduction as, for example: color: - 95.1%; turbidity: - 98.2%; TSS: - 94.1%; BOD: - 93.4%; COD: - 86.3%; TOC: - 84.9%; Thermotolerants Coliforms: - 99.8%; e Total Coliforms: - 97.8%. During the analysis, the residual chloride was kept on 0.8 to 1.7 mg/L range. On rainwater treatment system some parameters analysed during the monitoring period achieved the following reductions: color: - 62%; turbidity: - 75.7%; Thermotolerants Coliforms: - 100%; and Total Coliforms: - 100%. During the analysis, the residual chloride was kept on 0.6 to 1.2 mg/L range. Based on the results from the water analysis and on the results from the resulting treated water, its non potable uses should be stimulated.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FOTOS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
1.1.	ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2.	OBJETIVOS	12
3.	REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1.	CONSUMO DE ÁGUA RESIDENCIAL	13
3.2.	COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	19
3.3.	CONSERVAÇÃO DE ÁGUA	21
3.4.	TIPOS DE REÚSO	25
3.5.	NORMAS TÉCNICAS E REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS REFERENTES AO APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS E AO REÚSO DE ÁGUAS CINZAS.....	26
3.6.	NORMAS TÉCNICAS E LEGISLAÇÕES PARA A COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA O BRASIL.....	27
3.7.	NORMAS TÉCNICAS E LEGISLAÇÕES PARA O REÚSO DE ÁGUAS CINZAS RESIDENCIAIS PARA O BRASIL	31
4.	SISTEMAS DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES ..	35
4.1.	BREVE HISTÓRICO SOBRE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM ALGUNS PAÍSES ..	35
4.2.	COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	39
4.2.1.	<i>Coleta e aproveitamento de águas pluviais no semi-árido brasileiro.....</i>	<i>42</i>
4.3.	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	49
4.4.	TÉCNICAS DE COLETA DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA IRRIGAÇÃO DE JARDINS E LIMPEZA DE VASOS SANITÁRIOS.....	52

**CARACTERIZAÇÃO, TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES**

4.5.	COMPONENTES QUE FAZEM PARTE DE UM SISTEMA DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	55
4.5.1.	<i>Coeficiente de Escoamento Superficial.....</i>	<i>60</i>
4.6.	QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS OBTIDAS EM ALGUMAS PESQUISAS	62
5.	SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS EM EDIFICAÇÕES	69
5.1.	REÚSO DE ÁGUAS CINZAS	69
5.2.	SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS EM ALGUNS PAÍSES	73
5.3.	COMPONENTES QUE FAZEM PARTE DE UM SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS.....	75
5.4.	QUALIDADE DAS ÁGUAS CINZAS OBTIDAS EM ALGUNS PAÍSES.....	77
5.4.1.	<i>Características físicas.....</i>	<i>78</i>
5.4.2.	<i>Características químicas.....</i>	<i>81</i>
5.4.3.	<i>Características microbiológicas.....</i>	<i>91</i>
5.5.	QUALIDADE DAS ÁGUAS CINZAS OBTIDAS EM ALGUMAS PESQUISAS NO BRASIL.....	93
6.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	103
6.1.	SISTEMA EXPERIMENTAL PARA A COLETA DAS ÁGUAS PLUVIAIS.....	103
6.2.	SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS.....	105
6.3.	SISTEMA EXPERIMENTAL DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS RESIDENCIAIS.....	111
6.4.	SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZAS RESIDENCIAIS	116
6.4.1.	<i>Reator Biológico de Contato (RBC).....</i>	<i>119</i>
6.4.2.	<i>Dimensionamento do sistema de biodisco para tratamento das águas cinzas residenciais utilizado na pesquisa.....</i>	<i>122</i>
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	125
7.1.	QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS TRATADAS OBTIDAS NO SISTEMA EXPERIMENTAL INSTALADO NO CTCC	125
7.2.	QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS OBTIDAS NO SISTEMA EXPERIMENTAL INSTALADO NO CIRRA..	129
7.3.	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DAS ÁGUAS CINZAS OBTIDAS NA PESQUISA	132
7.4.	QUALIDADE DAS ÁGUAS CINZAS TRATADAS OBTIDAS NA PESQUISA	142
7.5.	BIOFILME - SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS CLARAS.....	156

7.6.	VOLUME DE BIOMASSA GERADO NO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS	163
8.	USOS ATRIBUÍDOS ÀS ÁGUAS CINZAS E ÀS ÁGUAS PLUVIAIS TRATADAS	166
8.1.	PROBLEMAS RELACIONADOS AO REÚSO DAS ÁGUAS CINZAS E AO APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	176
9.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	179
9.1.	CONCLUSÕES	179
9.2.	RECOMENDAÇÕES	182
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	184
	ANEXO 1	
	ANEXO 2	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL	2
FIGURA 2: ESTIMATIVA DAS MEDIDAS CONVENCIONAIS PARA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA	22
FIGURA 3: CISTERNA DO POVO MAIA, CHAMADA CHULTUN.....	36
FIGURA 4: CISTERNA DE CONCRETO COM TELA DE ARAME	44
FIGURA 5: CISTERNA DE PALCAS DE CIMENTO PRÉ-MOLDADAS	45
FIGURA 6: MODELO DE CISTERNA SUBTERRÂNEA TRADICIONAL ADAPTADA	46
FIGURA 7: PROJETO DE COLETA DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA IRRIGAÇÃO	47
FIGURA 8: ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS COM RESERVATÓRIO DE AUTO-LIMPEZA	50
FIGURA 9: IRRIGAÇÃO DE JARDINS: ÁREA DE COLETA, CONDUTOR HORIZONTAL (CALHA), CONDUTOR VERTICAL, SISTEMA DE ARMAZENAMENTO (RESERVATÓRIO) E SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PARA REGA DO JARDIM	52
FIGURA 10: IRRIGAÇÃO DE JARDIM: ÁREA DE COLETA, CONDUTOR HORIZONTAL (CALHA), CONDUTOR VERTICAL, SISTEMA MÚLTIPLO DE ARMAZENAMENTO E SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PARA REGA DO JARDIM	53
FIGURA 11: ÁREA DE COLETA - TELHADO: COMPRIMENTO X LARGURA	56
FIGURA 12: ÁREA DE COLETA - LAJE: COMPRIMENTO X LARGURA.....	56
FIGURA 13: ÁREA DE COLETA - TELHADO E PÁTIO: ARMAZENAMENTO EM RESERVATÓRIO SUBTERRÂNEO.....	56
FIGURA 14: SISTEMA DE GRADE LOCALIZADA SOBRE A CALHA	57
FIGURA 15: TONEL COMO RESERVATÓRIO DE AUTO-LIMPEZA.....	58
FIGURA 16: RESERVATÓRIO DE AUTO-LIMPEZA COM TORNEIRA BÓIA.....	58
FIGURA 17: DISPOSITIVO DE DESCARTE DA ÁGUA DE LIMPEZA DO TELHADO UTILIZADO NA AUSTRÁLIA	59
FIGURA 18: ESQUEMA DO USO DE SISTEMAS DE ÁGUAS CINZAS EM RESIDÊNCIAS	71
FIGURA 19: FATORES PARA IMPLANTAÇÃO DO REÚSO DE ÁGUA.....	72
FIGURA 20: ESQUEMA DO SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS EM EDIFICAÇÕES	75
FIGURA 21: CLASSIFICAÇÃO DOS POLUENTES PRESENTES NAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS	77
FIGURA 22: SISTEMA DE PENEIRA UTILIZADO PARA A RETIRADA DE FOLHAS E GALHOS DAS ÁGUAS PLUVIAIS	105
FIGURA 23: ESQUEMA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS.....	106
FIGURA 24: CLASSIFICAÇÃO DA FILTRAÇÃO NO TRATAMENTO DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO	107
FIGURA 25: ESQUEMA DO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS	117

LISTA DE FOTOS

FOTO 1: RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	104
FOTO 2: VISTA DO FILTRO DE AREIA E DA BOMBA AUTO-ESCORVANTE UTILIZADOS PARA FILTRAR AS ÁGUAS PLUVIAIS	108
FOTO 3: VISTA EXTERNA FRONTAL DO SISTEMA EXPERIMENTAL DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS RESIDENCIAIS	112
FOTO 4: VISTA DOS RESERVATÓRIOS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUAS CINZAS.....	112
FOTO 5: VISTA INTERNA FRONTAL DOS CHUVEIROS E VASO SANITÁRIO DO BANHEIRO MASCULINO	113
FOTO 6: VISTA INTERNA LATERAL DO LAVATÓRIO DO BANHEIRO MASCULINO.....	113
FOTO 7: VISTA DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS	114
FOTO 8: RESERVATÓRIOS ONDE AS ÁGUAS CINZAS ERAM COLETADAS SEPARADAMENTE	115
FOTO 9: AMOSTRAS DE ÁGUAS CINZAS COLETADAS DOS DIFERENTES PONTOS DE AMOSTRAGEM	116
FOTO 10: BOMBA HIDRÁULICA UTILIZADA NO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS ..	118
FOTO 11: VISTA DO SISTEMA DE BIODISCO PARA TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZAS RESIDENCIAIS.....	120
FOTO 12: VISTA DOS DISCOS ONDE O BIOFILME É ADERIDO.....	121
FOTO 13: AMOSTRA DE ÁGUAS PLUVIAIS TRATADA	128
FOTO 14: SISTEMA EXPERIMENTAL DE COLETA DE ÁGUAS PLUVIAIS: OS RESERVATÓRIOS DE	129
FOTO 15: VISTA DA CHEGADA DA TUBULAÇÃO COLETORA E DO RESERVATÓRIO DE AUTO-LIMPEZA	130
FOTO 16: RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO CONTENDO ÁGUAS CINZAS MISTURADAS	133
FOTO 17: AMOSTRA DE ÁGUA CINZA BRUTA (À DIREITA) E ÁGUA CINZA COLETADA NA SAÍDA DO BIODISCO (À ESQUERDA)	155
FOTO 18: AMOSTRA DE ÁGUA CINZA BRUTA (À DIREITA), ÁGUA CINZA COLETADA NA SAÍDA DO BIODISCO (NO MEIO) E ÁGUA CINZA JÁ FILTRADA E CLORADA (À ESQUERDA).....	156
FOTO 19: BIOFILME FORMADO NO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS CLARAS.....	157
FOTO 20: BACTÉRIAS FILAMENTOSAS PRESENTES NOS DOIS PRIMEIROS DISCOS DO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS.....	158
FOTO 21: PROTOZOÁRIOS LIVRE NADANTES PRESENTES NO BIOFILME FORMADO NO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS	159
FOTO 22: PROTOZOÁRIOS PENDUCULADOS PRESENTES NO BIOFILME FORMADO NO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS	161

FOTO 23: ANELÍDEOS PRESENTES NO BIOFILME FORMADO NO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS.....	162
FOTO 24: ANELÍDEO PRESENTE NO BIOFILME FORMADO NO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS.....	162
FOTO 25: ROTÍFEROS PRESENTES NO BIOFILME FORMADO NO SISTEMA EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS.....	163

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: MÉDIA DOS RESULTADOS OBTIDOS COM A CARACTERIZAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS, SUSPENSOS TOTAIS E DISSOLVIDOS TOTAIS DAS ÁGUAS CINZAS CLARAS	136
GRÁFICO 2: MÉDIA DOS RESULTADOS OBTIDOS COM A CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS NAS ÁGUAS CINZAS CLARAS	141
GRÁFICO 3: REMOÇÃO DA COR APARENTE PRESENTE NAS ÁGUAS CINZAS BRUTAS	144
GRÁFICO 4: REMOÇÃO DA TURBIDEZ PRESENTE NAS ÁGUAS CINZAS	145
GRÁFICO 5: REMOÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS NAS ÁGUAS CINZAS.....	147

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PERCENTAGEM DA POPULAÇÃO NAS ÁREAS URBANA E RURAL.....	3
TABELA 2: DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO NAS REGIÕES DO BRASIL EM 2000.....	3
TABELA 3: VOLUME MÉDIO <i>PER CAPITA</i> DO CONSUMO DE ÁGUA POR REGIÃO GEOGRÁFICA NO BRASIL.....	9
TABELA 4: VOLUME MÉDIO <i>PER CAPITA</i> DO CONSUMO DE ÁGUA PARA ALGUNS PAÍSES DESENVOLVIDOS.....	9
TABELA 5: ESTIMATIVA DE CONSUMO RESIDENCIAL PARA OS EUA.....	14
TABELA 6: ESTIMATIVA DE CONSUMO RESIDENCIAL PARA A HOLANDA.....	14
TABELA 7: ESTIMATIVAS DA DEMANDA RESIDENCIAL DE ÁGUA POTÁVEL PARA USO INTERNO NOS EUA.....	15
TABELA 8: ESTIMATIVAS DE DEMANDA RESIDENCIAL DE ÁGUA POTÁVEL PARA USO EXTERNO NOS EUA.....	15
TABELA 9: ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA NA TORNEIRA DE JARDINS POR TEMPO DE REGA.....	16
TABELA 10: ESTIMATIVAS DE CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA POTÁVEL PARA O BRASIL.....	16
TABELA 11: DÉFICIT NA OFERTA DE SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL EM 2003.....	20
TABELA 12: ALGUNS EXEMPLOS DE REDUÇÃO NO CONSUMO DE ÁGUA COM A APLICAÇÃO DO PURA.....	24
TABELA 13: PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA USOS RESTRITIVOS NÃO POTÁVEIS.....	29
TABELA 14: FREQUÊNCIA DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	29
TABELA 15: PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA REÚSO SEGUNDO NBR 13969/1997 E SINDUSCON (2005).....	33
TABELA 16: COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL ADOTADO POR HOFKES (1975) E FRASIER (1975)	60
TABELA 17: COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL UTILIZADO POR TUCSON E PHOENIX.....	60
TABELA 18: COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL UTILIZADO NA BÉLGICA.....	61
TABELA 19: COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL UTILIZADOS POR KHAN PARA A ÍNDIA.....	61
TABELA 20: COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL UTILIZADO EM ALGUNS PAÍSES.....	62
TABELA 21: MÉDIA DOS RESULTADOS OBTIDOS COM A CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM DIFERENTES PESQUISAS.....	63
TABELA 22: CARACTERIZAÇÃO DO PH DAS ÁGUAS PLUVIAIS PARA CUBATÃO , VILA PARISI, SANTOS, RIO DAS PEDRAS E SÃO PAULO.....	64
TABELA 23: CÓDIGO DE CORES DOS EFLUENTES.....	70

**CARACTERIZAÇÃO, TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES**

TABELA 24: MONITORAMENTO DA DIFUSÃO DE AEROSSÓIS EM DIFERENTES DISTÂNCIAS E ALTURAS DO VASO SANITÁRIO UTILIZANDO ÁGUAS CINZAS SINTÉTICAS	74
TABELA 25: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ÁGUAS CINZAS OBTIDAS EM ALGUNS PAÍSES.....	80
TABELA 26: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS CINZAS OBTIDAS EM ALGUNS PAÍSES – COMPOSTOS NITROGENADOS	83
TABELA 27: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS CINZAS OBTIDAS EM ALGUNS PAÍSES – PARÂMETROS DIVERSOS.....	84
TABELA 28: CONSUMO <i>PER CAPITA</i> ANUAL DE DETERGENTES EM ALGUNS PAÍSES.....	86
TABELA 29: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS CINZAS OBTIDAS EM ALGUNS PAÍSES – COMPOSTOS FOSFORADOS	87
TABELA 30: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS CINZAS OBTIDAS EM ALGUNS PAÍSES – COMPOSTOS ORGÂNICOS.....	90
TABELA 31: VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DE BACTÉRIAS ENCONTRADAS NAS ÁGUAS CINZAS DE ALGUNS PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	92
TABELA 32: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ÁGUAS CINZAS PARA O BRASIL	95
TABELA 33: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS CINZAS PARA O BRASIL – COMPOSTOS NITROGENADOS	96
TABELA 34: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS CINZAS PARA O BRASIL – COMPOSTOS FOSFORADOS	97
TABELA 35: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS CINZAS PARA O BRASIL – COMPOSTOS ORGÂNICOS..	98
TABELA 36: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS CINZAS PARA O BRASIL – PARÂMETROS DIVERSOS...	99
TABELA 37: CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DAS ÁGUAS CINZAS PARA O BRASIL	102
TABELA 38: POTENCIAL DE OXIDAÇÃO DE ALGUNS DESINFETANTES QUÍMICOS.....	109
TABELA 39: PARÂMETROS DE PROJETO PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM REATOR BIOLÓGICO DE CONTATO (RBC).....	123
TABELA 40: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS PLUVIAIS SEM TRATAMENTO E APÓS O TRATAMENTO	126
TABELA 41: DOSAGENS UTILIZADAS PARA A DESINFECÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS	127
TABELA 42: MÉDIA DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS PLUVIAIS/CIRRA	131

**CARACTERIZAÇÃO, TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES**

TABELA 43: RESULTADOS OBTIDOS COM A CARACTERIZAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS FÍSICOS DAS ÁGUAS CINZAS CLARAS	134
TABELA 44: RESULTADOS OBTIDOS COM A CARACTERIZAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS QUÍMICOS DAS ÁGUAS CINZAS CLARAS	137
TABELA 45: RESULTADOS OBTIDOS COM A CARACTERIZAÇÃO DE CLORETO, SULFATO E ÓLEOS E GRAXAS DAS ÁGUAS CINZAS CLARAS	138
TABELA 46: RESULTADOS OBTIDOS COM A CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS DAS ÁGUAS CINZAS CLARAS	139
TABELA 47: RESULTADOS OBTIDOS COM A CARACTERIZAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E TERMOTOLERANTES DAS ÁGUAS CINZAS CLARAS.....	141
TABELA 48: RESULTADOS DO PARÂMETRO COR OBTIDOS COM O TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZAS.....	143
TABELA 49: RESULTADOS DO PARÂMETRO TURBIDEZ OBTIDOS COM O TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZAS.....	144
TABELA 50: RESULTADOS DAS ANÁLISES SE SÓLIDOS TOTAIS, SUSPENSOS E DISSOLVIDOS DAS ÁGUAS CINZAS TRATADAS.....	146
TABELA 51: RESULTADOS DOS PARÂMETROS QUÍMICOS ANALISADOS NO ESTUDO DE TRATABILIDADE DE ÁGUAS CINZAS CLARAS	148
TABELA 52: RESULTADOS DO PARÂMETRO FÓSFORO OBTIDOS NOS ENSAIOS DE TRATABILIDADE DAS ÁGUAS CINZAS	149
TABELA 53: RESULTADOS OBTIDOS COM ANÁLISES DE NTK, NITROGÊNIO AMONÍACAL, NITRATO E NITRITO NAS ÁGUAS CINZAS TRATADAS.....	150
TABELA 54: RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE DBO E DQO PARA AS ÁGUAS CINZAS TRATADAS	151
TABELA 55: RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) OBTIDOS NO ESTUDO DE TRATABILIDADE DAS ÁGUAS CINZAS	152
TABELA 56: RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES TOTAIS E COLIFORMES TERMOTOLERANTES OBTIDOS NO ESTUDO DE TRATABILIDADE DAS ÁGUAS CINZAS.....	153
TABELA 57: DOSAGENS UTILIZADAS PARA A DESINFECÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS CLARAS	154
TABELA 58: LIMITES ESTABELECIDOS PARA CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE REÚSO NÃO POTÁVEL EM REFERÊNCIAS INTERNACIONAIS.....	170
TABELA 59: LIMITES ESTABELECIDOS PARA REÚSO DE ÁGUA NA DESCARGA DE VASOS SANITÁRIOS SEGUNDO ALGUMAS REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS.....	171

**CARACTERIZAÇÃO, TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES**

TABELA 60: PARÂMETROS DE CONTROLE DA ÁGUA DE REÚSO PARA VASOS SANITÁRIOS	171
TABELA 61: PARÂMETROS DE CONTROLE DA ÁGUA DE REÚSO NÃO POTÁVEL DESCRITOS NA NBR 13.969/1997 ITEM 5.6.4.....	172
TABELA 62: PARÂMETROS DE CONTROLE DA ÁGUA DE REÚSO NÃO POTÁVEL DESCRITOS NO MANUAL DO SINDUSCON (2005).....	172
TABELA 63: PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS	175
TABELA 64: ENSAIO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS PROVINDAS DO 1º CICLO DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS	196
TABELA 65: ENSAIO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS PROVINDAS DO 1º, 2º E 3º CICLO DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS.....	197
TABELA 66: ENSAIO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS PROVINDAS DO CHUVEIRO E LAVATÓRIO	197
TABELA 67: ENSAIO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS MISTURADAS.....	197

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional da Águas
ANCCT	Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica
CIRRA	Centro Internacional de Referência em Reúso de Água
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTCC	Centro de Técnicas de Construção Civil
EPA	Environment Protection Agency
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MS	Ministério da Saúde
PMSS	Programa de Modernização do Setor de Saneamento
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
RBC	Reator Biológico de Contato
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USEPA	United States Environmental Protection Agency
USP	Universidade de São Paulo
WMO	World Meteorological Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área (m ²)
As	Área superficial
C	Coefficiente de Escoamento Superficial
Ca	Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
C _{DQO}	Concentração de DQO
CH	Chuveiro
Cl-	Cloretos
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
C _{SUP}	Carga Superficial
CT	Coliformes Totais
CV	Coefficiente de variação
C _{VOL}	Carga volumétrica
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DM	Deutch Mark – Antiga unidade monetária da Alemanha
DP	Desvio padrão
DQO	Demanda Química de Oxigênio
F-	Fluoretos
Fe	Átomo de ferro
H	Átomo de hidrogênio
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
HNO ₃	Ácido nítrico
Ip	Investimento pronto
K	Átomo de potássio
LV	Lavatório
Max	Valor Máximo
Min	Valor Mínimo
Mg	Átomo de magnésio
Na	Átomo de sódio

NH ₃ - N	Nitrogênio em amônia
NO ₂ - N	Nitrogênio em nitrito
NO ₃ - N	Nitrogênio em nitrato
NMP	Número mais provável
NO	Monóxido de nitrogênio
NO _x	Óxidos de nitrogênio
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NTK	Nitrogênio Total Kjeldal
O ₂	Oxigênio
O ₃	Ozônio
OD	Oxigênio dissolvido
O&G	Óleos e Graxas
P	Precipitação (mm)
P/P	Peso por peso
pH	Potencial hidrogeniônico
P _{TOTAL}	Fósforo total
Q	Vazão (m ³ /s)
S	Enxofre
S ⁻²	Sulfeto
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO ₃	Trióxido de enxofre
SO ₄ ⁻²	Sulfato
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico
UC	Unidade de cor
UFC	Unidade formadora de colônia
uH	Unidade Hazen
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
uT	Unidade de Turbidez
µm	Micrômetro
%	Porcentagem

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A água encontrada na natureza é essencial à vida no nosso planeta. No entanto, o volume de água potável disponível para consumo tem se tornado cada vez mais escasso. O crescimento da demanda e o crescimento populacional acentuado e desordenado são os principais fatores que influenciam o aumento do consumo de água, principalmente nos grandes centros urbanos. Segundo Shiklomanov (2001) existem cerca de 1.386 milhões de km³ de água no planeta Terra, sob as formas líquida e congelada, sendo que 97,5% do volume total são águas salgadas que estão nos oceanos, e 2,5% são águas doces que estão nos lagos, rios, geleiras e no subsolo.

Tomaz (2001) descreve que em termos nacionais, o Brasil possui 12% da água doce do mundo, a qual é mal distribuída no país. Em estados da região nordeste, a disponibilidade hídrica *per capita* (disponibilidade relativa) é insuficiente para atender à demanda necessária atual. Já a região norte dispõe da maior parte do volume de água doce e a menor concentração demográfica resultando maior disponibilidade hídrica *per capita*. Nas regiões onde há predominância das atividades industriais e agrícolas existe uma pequena percentagem do volume de água, verificando-se o oposto nas regiões onde essas atividades são pouco desenvolvidas. Na figura 1, verifica-se a distribuição de água doce no Brasil.

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DOCE NO BRASIL

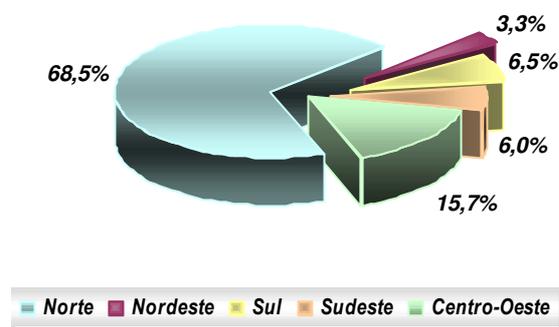


Figura 1: Disponibilidade hídrica no Brasil

FONTE: Tomaz (2001)

O crescimento acelerado da população mundial e sua concentração nas cidades podem ser verificados nos seguintes dados: em 1800 aproximadamente 3% da população mundial vivia nas cidades. Já em 1950, 29% da população concentrava-se nas áreas urbanas, totalizando 734 milhões de habitantes. Deste período até 1990, a população urbana mundial mais do que triplicou, chegando a 2,39 bilhões, representando 45% da população (LEAL et al., 1999).

No Brasil, em 1940, a população das cidades correspondia a 30% da população total e a população rural, 70%. Em 1996, cerca de 75% da população já vivia em cidades. Em duas regiões metropolitanas, São Paulo e Rio de Janeiro, concentrava-se aproximadamente 20% da população do país. Nas tabelas 1 e 2, verificam-se as percentagens da população nas áreas urbana e rural e a distribuição da população nas regiões do país em 2000.

Tabela 1: Percentagem da População nas Áreas Urbana E Rural

Regiões do Brasil	População em Área Urbana (Km ²)	População em Área Rural (Km ²)	Porcentagem da população (%)	Porcentagem da população (%)
			Área Urbana	Área Rural
Norte	9.014.365	3.886.339	5,30	2,28
Nordeste	32.975.425	14.766.286	19,42	8,70
Sudeste	65.549.194	6.863.217	38,60	4,04
Sul	20.321.999	4.785.617	11,98	2,82
Centro Oeste	10.092.976	1.543.752	5,95	0,91
TOTAL	137.953.959	31.845.211	81,25	18,75

FONTE: IBGE – Instituto de Geografia e Estatística (2000a)

Tabela 2: Distribuição da População nas Regiões do Brasil em 2000

Regiões do Brasil	Área (Km ²)	População (hab.)	Porcentagem da população por região (%)
Norte	3.869.637,9	12.900.704	7,58
Nordeste	1.561.177,8	47.741.711	28,12
Sudeste	927.286,2	72.412.411	42,64
Sul	577.214,0	25.107.616	14,8
Centro Oeste	1.612.077,2	11.636.728	6,86
Ilhas	10,4	-	-
TOTAL	8.547.403,5	169.799.170	100,0

FONTE: IBGE – Instituto de Geografia e Estatística (2000a)

Observa-se nas tabelas 1 e 2 que a maior concentração de população é nas áreas urbanas, principalmente nas regiões Sudeste e Nordeste. Comparando-se a figura 1 com a tabela 2, verifica-se ainda, a existência de um grande desequilíbrio entre a disponibilidade de água e a população no país. Nas regiões nordeste, sul e sudeste onde há predominância das atividades industriais e agrícolas existe uma pequena percentagem de água, verificando-se o oposto nas regiões onde essas atividades não são intensas. Conforme a WMO (1997), o consumo mundial de água cresceu mais de seis vezes entre 1900 e 1995 e continua a crescer rapidamente com a elevação de consumo dos setores agrícola, industrial e residencial.

Segundo Palmier (2001), a questão dos recursos hídricos em diversos países apresenta um grande desafio para as autoridades responsáveis. De fato, em muitas regiões, a demanda de água excede a quantidade disponível. Petry; Boeriu (2000) relatam que nos últimos anos, tem-se observado o desenvolvimento de novas tecnologias referentes ao manejo de recursos hídricos, porém há muito a ser aprimorado.

Outro problema bastante preocupante no país é a falta de saneamento básico. Segundo IBGE (2000b) somente 52,2% dos municípios brasileiros são munidos de rede coletora de esgoto e apenas 20,2% tratam o esgoto coletado. Nos demais municípios, o esgoto é despejado *in natura* nos rios, no solo e no mar, comprometendo a qualidade das águas que entram em contato com o esgoto. As águas poluídas trazem conseqüências diretas à saúde humana, uma vez que essas águas servem como veículo de transmissão de doenças como tifo, malária e esquistossomose e também, responsáveis pelos altos índices de mortalidade infantil. Vesentine (1999) descreve que 80% das doenças existentes nos países subdesenvolvidos estão associadas à utilização dos recursos hídricos de maneira inadequada.

Em estudos realizados pela Agência Nacional de Águas (2005) sobre demanda de água por atividade no Brasil, dos 840 mil litros de água consumidos no Brasil a cada segundo, a maior demanda é destinada à irrigação, correspondendo a 69% dos usos. O segundo maior consumo corresponde ao uso urbano com 11% e ao consumo animal com 11%, na seqüência o uso industrial com 7% e o abastecimento rural com 2%. A ANA (2005) afirma ainda que o Brasil possui cerca de 60 milhões de hectares plantados. Nos últimos 25 anos, a produtividade de grãos chegou a 2,5 t/ha devido à utilização de irrigação. Estima-se que o Brasil apresente

em torno de 3,7 milhões de hectares irrigados, ou seja, 6% das áreas plantadas são irrigadas.

Os fatores que propiciam o maior desperdício de água na irrigação são: evaporação devido à ação do sol e infiltração no solo. Porém, existem medidas que podem ser tomadas para que esse desperdício seja minimizado, como: redução de perdas na captação, armazenamento e distribuição; manejo correto da irrigação em escala parcelar (controle da umidade do solo); escolha do método e sistema de irrigação para as condições locais e; manutenção de equipamentos.

Segundo Pereira Jr. (2004), em determinadas indústrias, a parcela de água que pode ser reaproveitada é de 87% do consumo total. De modo geral, a maior parte da água consumida na indústria é destinada a torres de resfriamento, com exceção de indústrias que utilizam a água como principal fonte de insumo, por exemplo, indústria de alimentos e de bebidas.

Pereira Jr. (2004) afirma ainda que em algumas cidades do Brasil, 75% das águas utilizadas para usos urbanos e domésticos retornam, na forma de esgotos, para os corpos d'água. Segundo o IBGE (2000b) em termos nacionais, o volume anual de águas servidas que retornam aos corpos de água doce e aos mares é estimado em 1.400km^3 , ou 40% do total derivado. Ao retornarem aos corpos hídricos, as águas servidas normalmente estão poluídas por sólidos em suspensão, matéria orgânica, óleos e graxas, nutrientes, metais pesados e outras impurezas. As maiores fontes de poluição dos corpos hídricos são os efluentes domésticos urbanos, os industriais e as águas de escoamento superficial, que carregam lixo das áreas urbanas e, defensivos e fertilizantes das zonas agrícolas.

Dentro deste contexto, faz-se necessário aprimorar estudos referentes à conservação de água potável. Existem várias maneiras de se conservar água, duas

delas são: aproveitar águas pluviais e reutilizar águas cinzas para consumos não potáveis. Segundo Hespanhol (1997), o conceito de substituição de fontes se mostra como uma alternativa para atender demandas menos restritivas, deixando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres como abastecimento doméstico.

Sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas são utilizados em países que incentivam a conservação de água potável devido à sua escassez, como a Alemanha, Estados Unidos e o Japão. Philippi (2003) afirma que uma das alternativas que tem demonstrado bastante eficácia na conservação de água potável é o reúso de águas servidas que é um importante instrumento de gestão ambiental do recurso água e detector de tecnologias já consagradas para a sua aplicação. Segundo ANA (2005) incentivos de conservação de água potável como o reúso de águas cinzas para a limpeza de vasos sanitários resultaria numa economia de 1/3 do volume necessário para atender o consumo doméstico.

“Reusar água é aproveitar a água residuária recuperada, através da remoção ou não de parte dos resíduos por ela carregada em uso anterior, e usá-la novamente em aplicações menos exigentes que o primeiro uso, encurtando assim o ciclo da natureza em favor do balanço energético” (METCALF & EDDY, 2003). Segundo Langergraber e Muellegger (2005), as águas residuárias domésticas são conhecidas como um recurso que pode ser disponível para reúso.

As águas cinzas podem ser definidas como águas residuárias originadas de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas e tanques de lavar roupas e pias de cozinha. De acordo com a *CALIFÓRNIA GRAYWATER STANDARDS* (1994), as águas cinzas são resíduos líquidos não tratados originados de edificações

residenciais sem contato com resíduos originados do vaso sanitário. Nas águas cinzas residuárias não estão inclusas as águas oriundas dos vasos sanitários.

Segundo Otterpohl (2001), as águas residuárias residenciais são classificadas da seguinte maneira:

- ✓ águas negras (*blackwater*): efluentes provenientes dos vasos sanitários, como urina, fezes e papel higiênico;
- ✓ águas cinzas (*greywater*): águas servidas, excluindo o efluente proveniente dos vasos sanitários;
- ✓ Águas amarelas: efluente representado somente pela urina;
- ✓ Águas marrons: efluente representado somente pelas fezes;

Henze & Ledin (2001) dividem as águas cinzas em duas categorias: águas cinzas claras e águas cinzas escuras. As águas cinzas claras são águas residuárias provenientes do chuveiro, do lavatório e da máquina de lavar roupas. Já as águas cinzas escuras apresentam em sua mistura as águas provenientes da pia da cozinha e da máquina de lavar pratos.

Para estimular o uso de sistemas de reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais faz-se necessário verificar a qualidade e a necessidade de tratar essas águas. As águas cinzas e as águas pluviais devidamente tratadas podem ser utilizadas no consumo não-potável em edificações como em bacias sanitárias, em torneiras de jardins, na irrigação de gramados e plantas, na lavagem de veículos, na lavagem de roupas, na limpeza de calçadas, na limpeza de pátios, na produção de concretos, na compactação de solos, na recarga de aquíferos em usos ornamentais como em chafarizes e em espelhos d'água de modo que sua utilização não ofereça riscos à saúde de seus usuários.

A classificação da água em termos de qualidade, só tem sentido quando se leva em consideração o uso previsto para ela (BLUM, 2003). Na atualidade, a metade dos seis bilhões de habitantes do mundo carece de água com tratamento adequado, e mais de um bilhão de pessoas não tem acesso à água potável. (BIO, 2001).

Delphi (1999) relata que aproximadamente 76% dos peritos internacionais interrogados no estudo “Tecnologia de Água no Ano 2010” consideram possível tecnicamente utilizar água reciclada em edificações residenciais antes do ano 2010 sem que ocorram riscos à saúde pública.

É válido afirmar que aproximadamente 30% da água utilizada em residências podem ser recicladas para os vasos sanitários. Segundo Arbués et al. (2003), é possível estimar a demanda de água não potável em residências através de métodos estatísticos, utilizando dados como: tarifa exercida pela companhia de saneamento, renda familiar, condições climáticas (precipitação, temperatura); características das residências (tamanho, área externa), número de moradores e faixa etária.

O Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS (2004) demonstrou no diagnóstico dos serviços de água e esgoto em 2003 que o consumo *per capita* médio no Brasil é de 141 L/hab.dia. Em termos regionais, a região sudeste apresentou um consumo *per capita* de 174 l/hab.dia. Na tabela 3 observa-se o consumo de água médio *per capita* no Brasil.

Tabela 3: Volume Médio *Per capita* do Consumo de Água por Região Geográfica no Brasil

Regiões do Brasil	Por habitante (L/hab.dia)	Por economia (m ³ /economia.mês)
Norte	118,2	15,1
Nordeste	113,2	12,2
Sudeste	171,9	15,7
Sul	129,8	11,6
Centro Oeste	141,0	13,4
BRASIL	144,2	13,9

Fonte: SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2006)

Em países desenvolvidos, o consumo de água *per capita* tende a ser maior que em países subdesenvolvidos. Na tabela 4 observa-se o consumo médio per capita de água para alguns países desenvolvidos.

Tabela 4: Volume Médio Per capita do Consumo de Água para Alguns Países Desenvolvidos

Países	Por habitante (L/hab.dia)
Austrália	270 ⁱ
Canadá	300 ⁱ
Escócia	410 ⁱ
Alemanha	165 ⁱⁱ
Inglaterra	141 ⁱⁱⁱ
Suíça	159 ^{iv}
Holanda	135 ^v

Fonte: i – Jacobi, P. A água na terra está se esgotando? É verdade que no futuro próximo teremos uma guerra pela água?. Disponível em: <http://www.geologo.com.br/aguahisteria>.

ii – Berliner Wasserbetriebe. Disponível em: http://www.bwb.de/englisch/trinkwasser/water_consumtion.html.

iii – National Statistics of England. Disponível em: <http://www.statistics.gov.uk>.

iv – Federal Office of Environment of Switzerland. Disponível em: http://www.sig-ge.ch/fr/vous/priv/statistiques/eau_conso.eng.asp.

v – Tomaz, P. Previsão de consumo de água. São Paulo: Navegar, 2000.

Observa-se na tabela 4 que na maioria dos países desenvolvidos citados, o consumo médio de água *per capita* apresentou-se acima do consumo médio de água *per capita* no Brasil, com exceção, da Inglaterra que apresentou consumo equivalente e da Holanda que apresentou consumo pouco inferior ao do Brasil.

Segundo Eriksson et al. (2002), em edifícios residenciais de grande porte é possível o uso de águas cinzas provenientes do banho e da lavagem de roupas para suprir a demanda de consumo não potável da edificação.

Contudo, existem vários riscos relacionados à utilização inadequada de sistemas de reúso de águas cinzas e de aproveitamento de águas pluviais, tais como:

- ✓ risco de disseminar doenças devido à exposição de microrganismos na água causando danos à saúde pública;
- ✓ risco de proliferação bacteriológica na água;
- ✓ risco de proliferação de algas na água;
- ✓ presença de elevado odor produzidos pela decomposição de matéria orgânica;
- ✓ risco de entupimento de tubulações de alimentação e distribuição dessas águas;
- ✓ risco de corrosão de peças e equipamentos no uso de águas ácidas e,
- ✓ risco de manchar louças e metais que estejam em contato com essas águas.

A identificação e a caracterização do risco potencial da presença de organismos na reutilização de águas cinzas e no aproveitamento de águas pluviais são a base para o sucesso do uso desses sistemas. O conhecimento técnico sobre esses efluentes determinam o tipo de tratamento a ser aplicado, a eficiência do tratamento e principalmente o atendimento aos requisitos mínimos de qualidade para que essas águas sejam aproveitadas e reutilizadas de forma segura.

1.1. Estrutura do trabalho

Após este capítulo introdutório, segue o capítulo 2, onde são descritos os objetivos deste trabalho. Em seguida, o capítulo 3 apresenta conceitos fundamentais para o entendimento do objeto de estudo.

No capítulo 4, são abordados conceitos e técnicas sobre sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais e no capítulo 5, são abordados conceitos e técnicas sobre sistemas de reúso de águas cinzas em edificações.

O capítulo 6 refere-se aos materiais e métodos utilizados no sistema experimental de coleta e aproveitamento de águas pluviais para coletar e caracterizar amostras de águas pluviais. Neste capítulo são abordados também os materiais e métodos utilizados no sistema experimental de reúso de águas cinzas para coletar e caracterizar amostras de águas cinzas sem e com tratamento.

Já no capítulo 7 são descritos os resultados obtidos na caracterização das águas pluviais tratadas e na caracterização das águas cinzas sem e com tratamento.

No capítulo 8 são descritos os principais usos atribuídos às águas cinzas e às águas pluviais e o capítulo 9 refere-se as conclusões e as recomendações deste trabalho.

No Anexo 1 são apresentados os ensaios de coagulação/floculação realizados nas águas cinzas claras e o anexo 2 refere-se aos resultados das análises de caracterização das águas pluviais obtidas em May (2004).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral estudar um sistema experimental de reúso de águas cinzas residenciais e um sistema experimental de aproveitamento de águas pluviais com o intuito de aplicar técnicas de coleta e tratamento para o uso não potável.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- ✓ caracterizar por meio de análises físicas, químicas e bacteriológicas as águas cinzas residenciais;
- ✓ estudar o tratamento biológico aeróbio de águas cinzas com o uso de Reator Biológico de Contato, popularmente chamado de biodisco;
- ✓ estudar o tratamento físico de águas pluviais;
- ✓ avaliar os pontos de consumo não potáveis onde águas cinzas residenciais e águas pluviais poderão ser utilizadas após tratamento, sem riscos à saúde de seus usuários.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Consumo de água residencial

Segundo Hinrichsen, Hobey e Upadhyay (1997), 69% do consumo de água doce no mundo é destinada à agricultura, 23% à indústria e 8% ao uso urbano. O uso da água para consumo em áreas urbanas subdivide-se em três categorias, como relata Tomaz (2000), a saber:

- ✓ consumo residencial: relativo à residências unifamiliares e edifícios multifamiliares;
- ✓ consumo comercial: relativo a restaurantes, hospitais e serviços de saúde, hotéis, lavanderias, lava jatos, clubes esportivos, bares, lanchonetes e lojas;
- ✓ consumo público: relativos aos edifícios públicos, escolas, parques infantis, prédios de unidade de saúde pública, cadeia pública, e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes.

Segundo Brow (1986); Caldwell (1986) apud Tomaz (2000), na estimativa de consumo interno em uma residência para os EUA, o vaso sanitário é o aparelho que consome maior volume de água, ou seja, cerca de 35% do consumo total. O segundo equipamento que consome maior volume é a máquina de lavar roupas, correspondente a 22% do consumo residencial. Na tabela 5 é apresentada a estimativa de consumo residencial para os EUA.

Tabela 5: Estimativa de Consumo Residencial para os EUA.

Consumo interno em uma residência	Porcentagem de consumo em uma residência
Vaso Sanitário	35%
Lavagem de Roupa	22%
Chuveiros	18%
Torneiras	13%
Banheiras	10%
Lavagem de Pratos	2%
TOTAL	100%

FONTE: Brow (1986); Caldwell (1986) apud Tomaz (2000)

Segundo Qasim (1994) apud Tomaz (2000), na Holanda, o vaso sanitário representa o maior consumo de água residencial, atingindo 41% do consumo total. Na tabela 6 é apresentada a estimativa de consumo residencial para a Holanda.

Tabela 6: Estimativa de Consumo Residencial para a Holanda

Consumo de água numa residência	Porcentagem de consumo em uma residência
Descarga do vaso sanitário	41%
Banho e lavagem de roupa	37%
Cozinha – água para beber e cozinhar	2 a 6%
Cozinha – lavagem de pratos	3 a 5%
Cozinha – disposição de lixos	0 a 6%
Lavanderia	4%
Limpeza e arrumação geral na casa	3%
Rega de jardim com sprinkler	3%
Lavagem de carros	1%
TOTAL	100%

FONTE: Qasim (1994) apud Tomaz (2000)

Observa-se na tabela 6 que o volume correspondente ao banho e a lavagem de roupa são próximos ao volume gasto na limpeza dos vasos sanitários e a soma dos três pontos de consumo equivale a 78% do volume total consumido em uma residência. Nas tabelas 7 e 8, são apresentadas as estimativas da demanda residencial de água potável para uso interno e externo nos EUA.

Tabela 7: Estimativas da Demanda Residencial de Água Potável para Uso Interno nos

EUA

Uso Interno	Unidades	Faixa	
Gasto mensal	m ³ /pessoa/mês	3	5
Nº de pessoas na casa	pessoa	3	5
Descarga do vaso sanitário	Descarga/pessoa/dia	4	6
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18
Vazamentos nas toilets	Porcentagem	0	30
Freqüência de banho	Banho/pessoa/dia	0	1
Duração do banho	Minutos	5	15
Vazão nos chuveiros	Litros/segundo	0,09	0,31
Uso da banheira	Banho/pessoa/dia	0	0,2
Volume de água	Litros/banho	113	189
Máquina de lavar roupa	Nº de vezes/pessoa/dia	0,2	0,3
Volume de água	Litros/ciclo	170,1	189
Torneira de cozinha	Minuto/pessoa/dia	0,5	3
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189
Torneira de banheiro	Minuto/pessoa/dia	0,5	4
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189

FONTE: Brow (1984); Caldwell (1984) apud Tomaz (2003)

Tabela 8: Estimativas de Demanda Residencial de Água Potável para Uso Externo nos

EUA

Uso Externo	Unidades	Faixa
Casa com piscina	Porcentagem (%)	0,1
Gramado ou jardim	Litros/dia/m ²	2
Lavagem de carros	Litros/lavagem/carro	150
Lavagem de carro: freqüência	Lavagem/mês	2
Mangueira de jardim 1/2" x 20m	Litros/dia	50
Manutenção de piscina	Litros/dia/m ²	3
Perdas por evaporação em piscina	Litros/dia/m ²	5,75
Reenchimento de piscina	anos	5
Tamanho da casa	m ²	30 a 450
Tamanho do lote	m ²	125 a 750

FONTE: Brow (1984); Caldwell (1984) apud Tomaz (2003)

Segundo Vickers (2001), a estimativa de consumo de água para a torneira de jardim por tempo de rega é a seguinte:

Tabela 9: Estimativa do Consumo de Água na Torneira de Jardins por Tempo de Rega

Diâmetro da mangueira	Volume em litros de acordo com o tempo de escoamento de uma mangueira com 15m de comprimento e pressão de 28 m.c.a.			
	15 min.	30 min.	45 min.	60min.
1/2"	284	568	852	1134
5/8"	363	726	1089	1452
3/4"	499	998	1497	1996

FONTE: Vickers (2001)

No Brasil, os maiores consumos residenciais destinam-se ao vaso sanitário, ao chuveiro e a pia de cozinha. Algumas estimativas de consumo residencial de água potável para o Brasil podem ser observadas na tabela 10.

Tabela 10: Estimativas de Consumo Residencial de Água Potável para o Brasil

Consumo residencial de água potável	Porcentagem de consumo		
	Pesquisa realizada pela USP ⁱ	Pesquisa realizada pelo IPT / PNCDA ⁱⁱ	Pesquisa realizada pela DECA ⁱⁱⁱ
Vaso Sanitário	29%	5%	14%
Chuveiros	28%	54%	46,7%
Lavatório	6%	7%	11,7%
Pia de cozinha	17%	17%	14,6%
Tanque	6%	10%	4,9%
Máquina de lavar roupas	5%	4%	8,1%
Máquina de lavar louças	9%	3%	-
TOTAL	100%	100%	100%

Fonte: i – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Programa de Uso Racional da Água – PURA. 1999. Disponível em: <<http://www.pura.poli.usp.br/main.html>>. Acesso em: 22 out. 2002.

ii – Instituto de Pesquisas tecnológicas – IPT / PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA – PNCDA. Caracterização e monitoramento do consumo predial de água. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA_E1.pdf. Acesso em: 16 out. 2007

iii – DECA. Uso Racional de Água. Disponível em: <http://www.deca.com.br/vitrine/agua/manutencao.html>>. Acesso em: 14 out. 2005.

Observam-se, na tabela 10, que os dados de consumo de água na descarga de vasos sanitários para o Brasil são inferiores aos dados demonstrados para os EUA e para a Holanda, referenciados nas tabelas 5 e 6. Nota-se que com o uso de vasos sanitários de caixa acoplada com capacidade de 6 l/descarga, a tendência é

que cada vez mais o consumo de água residencial na descarga de vasos sanitários seja menor, como demonstram os dados obtidos pela DECA.

Para exemplificar a estimativa do consumo de água potável no vaso sanitário de uma residência pode-se fazer o seguinte cálculo:

- ✓ volume médio *per capita* do consumo de água potável no Brasil: 144,2 l/pessoa, segundo SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2006);

A bacia sanitária é o principal componente do sistema de descarga, no que se refere ao consumo da água, sendo assim, um dos Programas Setoriais da Qualidade (PSQ) do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade da Habitação (PBQP-H) possui um objetivo específico relacionado ao uso racional da água que prevê a qualidade evolutiva das bacias sanitárias (e dispositivos de descarga) de tal forma que até o final do ano de 2002 este volume atinja a meta de volume máximo de descarga, em torno de 6 litros, ou em valor que implique no menor consumo de água (BRASIL, 1998 a, 1998b apud ILHA, M.S.O; GONÇALVES, O.M.; OLIVEIRA JR., O.B. (2002)).

- ✓ para este exemplo foi considerado que o volume de água potável gasto na descarga de vasos sanitários com caixa acoplada seja de 6,8 l/descarga. Este volume está referenciado em Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade da Habitação (2008);
- ✓ residência com 4 pessoas;

Considerando-se que a descarga é acionada 4 vezes ao dia por pessoa, então:

- ✓ volume consumido no vaso sanitário: 16 descargas x 6,8 l/dia = 108,8 l/dia ou 3264 l/mês;

- ✓ volume *per capita* do consumo de água para uma residência com 4 pessoas: 576,8 l/dia ou 17304 l/mês.

Para este exemplo, a estimativa do consumo de água potável utilizado no vaso sanitário de uma residência é de 18,8% do volume total. Se para o mesmo exemplo for considerado um volume de consumo no vaso sanitário de 12 litros/descarga, a estimativa do consumo de água potável utilizado no vaso sanitário de uma residência é de 33,2% ou seja, aproximadamente 1/3 do consumo total de uma residência por mês.

Na pesquisa realizada pelo IPT ao PNCD (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água), observam-se valores de consumo para os vasos sanitários inferiores aos obtidos pela pesquisa da USP e da DECA. Esta pesquisa em específico foi realizada num conjunto habitacional da CDHU (Cia de Desenvolvimento Habitacional e Urbanização do Estado de São Paulo) onde foram utilizadas somente caixas acopladas com capacidade de 6 a 8 l/descarga.

Já os dados referentes ao consumo de água nos chuveiros e máquinas de lavar roupas, ainda mantiveram-se bastante elevados. Nos dados adquiridos pela USP, o consumo nos chuveiros e máquinas de lavar roupas foi de 33% do consumo residencial total, na pesquisa realizada pelo IPT, 58% e na pesquisa realizada pela DECA, 54,8%. Os índices altos de consumo de água nos chuveiros e máquinas de lavar roupas também são observados nas tabelas 5 e 6. Para os EUA o consumo foi de 40% e para a Holanda 37% do volume total residencial.

O consumo de água residencial constitui mais da metade do consumo total de água nas áreas urbanas. Segundo Rodrigues (2005), na região metropolitana de São Paulo, por exemplo, o consumo de água residencial corresponde a 84,4% do consumo total urbano (incluindo o consumo em pequenas indústrias).

O incentivo ao uso racional de água e a conservação de água potável em residências deve ser praticado com intuito de minimizar a escassez de água potável principalmente nos centros urbanos onde este problema está se tornando cada vez mais rotineiro.

3.2. Coleta e tratamento de esgotos

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial compõem a grande parcela de demanda urbana por água no mundo e também são responsáveis pela vasta geração de águas residuárias. Esses efluentes, quando lançados sem tratamento no meio ambiente, poluem e degradam os mananciais onde muitos dos corpos receptores são fontes de abastecimento público. Por isso, o tratamento e a disposição adequados desses efluentes no meio ambiente é extremamente importante para a preservação dos mananciais e da qualidade das águas.

Dados do Census nos EUA (2000) relatam que na cidade de Chicago, nos EUA, dos 2 milhões de domicílios, 98,7% dispõem de coleta e tratamento de esgoto sanitário, 1% possui fossas sépticas e apenas 0,3% do total dispõem os esgotos domésticos através de outros meios. Já em San Diego, na Califórnia, dos 946.240 domicílios existentes na cidade, 93,2% são atendidos por sistema público de coleta e tratamento de esgoto sanitário, 6,5% dispõem de fossas e 0,3% dispõem o esgoto através de outros meios.

Em termos nacionais, segundo IBGE (2003), cerca de 8,6 milhões dos 49,1 milhões de domicílios existentes no Brasil não são atendidos por rede geral de abastecimento de água e 25,6 milhões dos domicílios não dispõem de acesso a sistemas de coleta de esgotos sanitários. É importante ressaltar que coleta e transporte de esgoto não significa tratamento e disposição adequada dos mesmos.

Dados do IBGE (2003) confirmam ainda que apenas 28,2% do esgoto sanitário coletado nos domicílios brasileiros recebem tratamento e só uma pequena parcela tem destinação sanitária adequada no meio ambiente. Na tabela 11 é demonstrado o déficit na oferta de saneamento básico no Brasil em 2003.

Tabela 11: Déficit na Oferta de Saneamento Básico no Brasil em 2003

Área	Número de domicílios (unidades)	Domicílios não atendidos por Rede Geral de Água		Domicílios não atendidos com Coleta de Esgoto Sanitários	
		Unidade	%	Unidades	%
Urbana	42.107.183	3.368.575	8,0	18.821.911	44,7
Rural	7.034.988	5.231.305	74,4	6.754.491	96,0
Total	49.142.171	8.599.880	17,5	25.576.402	52,0

Fonte: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2003)

Obs: Na área rural, o déficit em esgoto é determinado pela inexistência de rede coletora e fossa séptica. Os dados não incluem os domicílios da área rural de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará e Amapá.

A falta de saneamento básico é um problema que tem ganho destaque quando se fala em saúde pública. Da população diretamente afetada, as crianças são as mais prejudicadas. Segundo o PMSS (2003), 15 crianças de 0 a 4 anos morrem por dia no Brasil em decorrência da falta de saneamento básico, principalmente da falta de coleta e tratamento do esgoto sanitário. O saneamento básico ministrado de forma adequada gera muitos benefícios, como a:

- ✓ melhoria da saúde pública;
- ✓ diminuição dos custos de tratamento de água para abastecimento público;
- ✓ melhoria do potencial produtivo da população;
- ✓ dinamização da economia e geração de empregos e;
- ✓ conservação ambiental.

O Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, criado pelo governo federal tem como objetivo promover a aceleração do crescimento econômico, o

aumento do emprego e a melhoria das condições de vida da população brasileira. Segundo a Agência Brasil (2007), uma das metas do PAC prevista para ser cumprida até o ano de 2010 é atender 86% dos domicílios com água potável, 55% com rede de coleta de esgoto e 47% com coleta e destinação adequada do lixo. A Agência Brasil (2007) descreve ainda que a maior parte dos recursos financeiros atribuídos ao PAC será destinada ao Projeto de Integração do Rio São Francisco que objetiva oferecer água para uma população estimada em 12,5 milhões de habitantes dos estados do Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Pernambuco.

3.3. Conservação de água

Segundo Tomaz (1998), a conservação da água é um conjunto de atividades com o objetivo de:

- ✓ reduzir a demanda de água;
- ✓ melhorar o uso da água e reduzir as perdas e desperdícios da mesma;
- ✓ implantar práticas para economizar água.

Santos (2002) define a “conservação de água” como um conjunto de ações que propiciam a economia de água em mananciais, no sistema público de abastecimento de água ou ainda em habitações. Já no Manual de Conservação e Reúso de Água, elaborado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo - Sinduscon (2005), a conservação de água está definida como qualquer ação que reduza a quantidade de água extraída de fontes de suprimento, que reduza o consumo de água, que aumente a eficiência do uso da água ou ainda que aumente a reciclagem e o reúso de água.

As medidas de conservação de água implantadas no uso urbano (residencial, comercial e industrial) podem ser convencionais ou não convencionais.

Na figura 2 estão descritas medidas convencionais em implantação na cidade de Providence, EUA, previstas para conclusão até o ano 2010.

ESTIMATIVAS DAS MEDIDAS CONVENCIONAIS PARA CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

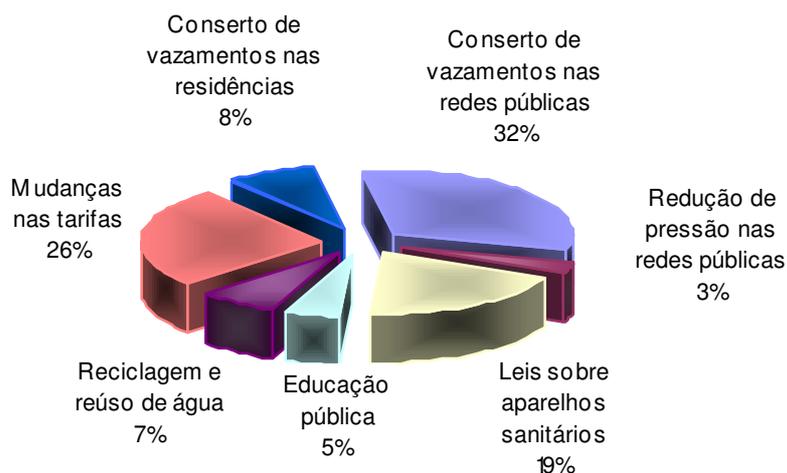


Figura 2: Estimativa das medidas convencionais para conservação de água

Fonte: Tomaz (2001)

Segundo Tomaz (2001), as medidas não convencionais para conservação de água são:

- ✓ reúso de águas cinzas (águas servidas residenciais);
- ✓ utilização de excretas de vasos sanitários em compostagem;
- ✓ aproveitamento de águas pluviais;
- ✓ dessalinização de água do mar ou salobra;
- ✓ aproveitamento da água de drenagem do subsolo de edifícios.

Um dos maiores problemas das companhias de abastecimento é o desperdício de água. Segundo Leal (2000), o índice de perda física (real) e financeira no Brasil é muito alto, se comparado com outros países. Segundo a Sabesp (2004), no de 2003, em São Paulo as perdas totais atingiram 34,1% da água produzida, sendo que 16,6 destinaram-se as perdas reais, que são as perdas

através de vazamentos nas redes de distribuição e ramais, e 17,5% as perdas aparentes, que são decorrentes a erros de medição de hidrômetros, ligações clandestinas e falhas de cadastro, etc.

Para combater o desperdício e incentivar o uso racional de água, a SABESP juntamente com a USP implantaram o Programa de Uso Racional da Água - PURA. O PURA tem como objetivo principal avaliar os potenciais de diminuição do volume de água fornecidos aos edifícios da USP, através da redução de perdas e do uso racional de água.

Segundo Silva (2004), o programa foi estruturado em seis macroprogramas, que incluem:

- ✓ banco de dados;
- ✓ laboratório institucional;
- ✓ avaliação e adequação de tecnologias;
- ✓ caracterização de demandas e impactos da economia de água em edifícios residenciais e habitacionais unifamiliares;
- ✓ programas de qualidade;
- ✓ programas específicos de economia de água em diferentes tipos de edificações.

Silva (2004) afirma ainda que foram realizados estudos de caso em edifícios como escolas, escritórios, hospitais entre outros, com programas específicos de economia de água, visando à determinação de metodologias de auditoria e procedimentos de intervenção a serem posteriormente estendidos a outros locais. Segundo a Sabesp (2004), o PURA foi implantado na escola Fernão Dias, localizada no bairro Pinheiros em São Paulo, onde obteve-se uma redução no consumo de água de 93%. Na tabela 12 estão relacionados alguns exemplos de redução no

consumo de água com a aplicação do PURA em determinados edifícios de São Paulo.

Tabela 12: Alguns Exemplos de Redução no Consumo de Água com a Aplicação do PURA

Locais	Economia
Hospital das Clínicas de São Paulo	25%
Hospital Geral do Exército	14%
Hospital do Servidor Público Municipal	14%
Ceagesp – Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo	32%
Escola Estadual Toufic Jouliam	78%
Escola Vera Cruz	25%
Fundação de Desenvolvimento Administrativo - FUNDAP	29,4%
Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT	53%
Palácio dos Bandeirantes	31%
Edifício sede da SABESP	62%

Fonte: SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (2004)

As questões referentes ao abastecimento de água e ao combate às enchentes influenciam muito dentro do tema “meio-ambiente”, englobando aspectos sociais, políticos e de segurança pública. Racionalização do consumo de água, diminuição das perdas físicas nas redes de abastecimento, combate às ligações clandestinas, reciclagem das águas servidas e campanhas de conscientização são medidas necessárias à conservação de água, porém, seus resultados são percebidos e alcançados no longo prazo.

Com intuito de promover a conservação de água o programa de avaliação para projetos de *Green Buildings* introduz este quesito como uma de suas sete categorias de avaliação. Os sistemas de reciclagem de água e aproveitamento de águas pluviais apresentam avaliação especial nesse programa, sendo considerados aceitáveis nesse quesito os sistemas de edifícios que apresentem economia de água potável maior do que 20% do consumo total.

3.4. Tipos de reúso

Segundo Lavrador (1987), o reúso da água consiste no aproveitamento de água previamente utilizada, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos.

De acordo com a WHO (1973b), o reúso de água é classificado da seguinte maneira:

✓ **Reúso indireto:** ocorre quando as águas já usadas, uma ou mais vezes no uso doméstico ou industrial, são descarregadas nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizadas novamente à jusante, de forma diluída;

✓ **Reúso direto:** é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades, sem lançamento ou diluição prévia em corpos superficiais ou subterrâneos;

Segundo Lavrador (1987), os termos “reúso planejado” e “reúso não planejado” referem-se ao fato do reúso ser resultante de uma ação consciente, subsequente à descarga do efluente, ou do reúso ser apenas um subproduto não intencional dessa descarga. Dessa forma tem-se a seguinte conceituação:

✓ **Reúso planejado:** ocorre quando o reúso é resultado de uma ação humana consciente, com isso, cuidados necessários para a sua prática são previstos;

✓ **Reúso não planejado:** ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada.

Mancuso & Santos (2003) classificam ainda o reúso de água em potável e não potável. O reúso potável direto ocorre quando o esgoto é munido de tratamento avançado e reutilizado diretamente no sistema e, o indireto ocorre quando o esgoto, após tratamento, é disposto nas coleções de águas superficiais ou subterrâneas

para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável. Já o reúso não potável é dividido de acordo com sua finalidade, como por exemplo: para usos agrícolas, industriais, domésticos, recreacionais, em manutenções de vazões, na aquicultura e na recarga de aquíferos subterrâneos.

3.5. Normas técnicas e regulamentações internacionais referentes ao aproveitamento de águas pluviais e ao reúso de águas cinzas

Segundo a United States Environmental Protection Agency - USEPA (2004), não existem regulamentações federais nos EUA relacionadas diretamente à prática do reúso. Entretanto, alguns estados desenvolveram suas próprias regulamentações ou guias para o reúso de água. Um dos primeiros estados a desenvolver regulamentações para reúso agrícola, nos EUA, foi a Califórnia. No ano de 2000, o estado da Califórnia revisou o Water Recycling Criteria (Código de Regulamentações da Califórnia, Título 22, Divisão 4, Capítulo 3), apresentando os usos e possibilidades de aplicação, em função do tratamento previsto para os efluentes (METCALF & EDDY, 2003).

Assim que a água de reúso passou a ser reconhecida como parte integrante dos recursos hídricos, outros estados, seguindo o exemplo da Califórnia, criaram suas próprias regulamentações. Existem estados que desenvolveram seus próprios regulamentos outros, não apresentam nenhum regulamento ou qualquer diretriz relacionada diretamente ao reúso de água. (CROOK, 1998).

A USEPA (2004) objetiva propiciar um direcionamento adequado aos estados que não possuem regulamentação e apresentar, também, uma compilação de dados, referentes às legislações dos diferentes estados.

Com relação regulamentações referentes ao aproveitamento de águas pluviais existe a norma da Deutsches Institut für Normung – DIN 1989-1 aprovada em abril de 2002 onde trata de sistemas de aproveitamento de águas pluviais: planejamento, execução, operação e manutenção.

3.6. Normas técnicas e legislações para a coleta e aproveitamento de águas pluviais para o Brasil

Apesar do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais ser utilizado há anos em algumas regiões do Brasil, somente em setembro de 2007 entrou em vigor a NBR 15527/2007 - “Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis”. Esta norma tem como objetivo fornecer diretrizes para o aproveitamento de águas pluviais no uso não potável em edificações.

A norma NBR 15527/2007 aborda conceitos como:

- ✓ **água de chuva:** água resultante de precipitações atmosféricas coletadas em coberturas, telhados onde não haja circulação de pessoas, veículos e animais;
- ✓ **água não potável:** água que não atente à Portaria nº518 do Ministério da Saúde;
- ✓ **área de captação:** área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada;
- ✓ **coeficiente de escoamento superficial:** coeficiente que representa a relação entre o volume total de escoamento superficial e ao volume total precipitado variando conforme a superfície;
- ✓ **conexão cruzada:** qualquer ligação física através de peça, dispositivo ou outro arranjo que conecte duas tubulações das quais um conduz água potável e a outra água de qualidade desconhecida ou não potável;

✓ **demanda:** consumo médio (mensal ou diário) a ser atendido para fins não potáveis;

✓ **escoamento inicial:** água suficiente da área de captação suficiente para carregar a poeira, fuligem, folhas galhos e detritos;

✓ **suprimento:** fonte alternativa de água para complementar o reservatório de água de chuva.

A NBR 15527/2007 aborda ainda as condições gerais sobre: concepção do sistema de aproveitamento de águas pluviais, calhas e condutores, reservatórios de descarte (reservatório utilizado para coletar a água de escoamento inicial) e reservatório de águas pluviais (reservatório utilizado para a acumulação das águas pluviais), instalações prediais, qualidade da água, bombeamento e manutenção do sistema.

Sobre a qualidade da água a NBR 15527/2007 no item 4.5.1 descreve que os padrões de qualidade podem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista. A norma sugere ainda padrões de qualidade de água pluviais para usos mais restritivos, porém não potáveis. Na tabela 13 observam-se os padrões de qualidade de águas pluviais abordados na NBR 15527/2007.

Tabela 13: Parâmetros de qualidade de águas pluviais para usos restritivos não potáveis

Parâmetros	Análise	Faixa
Coliformes totais	Semanal	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semanal	Ausência em 100mL
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT, para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes, da sua utilização)	Mensal	< 15 uH
Deve prever ajuste do pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço, carbono ou galvanizado

NOTA: Para desinfecção, a critério do projetista, pode-se utilizar derivado clorado, raios ultravioleta, ozônio e outros. Em aplicações onde é necessário um residual desinfetante deve ser usado derivado clorado.

Fonte: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 15527/2007

Com relação à manutenção do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais a norma recomenda no item 5.1 que a manutenção em todo o sistema siga os critérios da tabela 14.

Tabela 14: Frequência de manutenção do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais

Componentes	Frequência de manutenção
Dispositivos de descarte de detritos	Inspeção mensal – limpeza trimestral
Dispositivos de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	2 vezes ao ano
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório(s)	Limpeza e desinfecção anual

Fonte: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 15527/2007

E em anexo, a norma descreve alguns métodos de cálculos para o dimensionamento do reservatório de acumulação de águas pluviais, como método de Rippl, método da simulação, método de Azevedo Neto, método prático alemão, método prático inglês e método prático australiano.

Em algumas cidades e estados do Brasil existem leis que estabelecem a coleta das águas pluviais de forma a minimizar problemas com inundações em áreas altamente impermeáveis pelo alto índice de pavimentação de suas vias e a proporcionar a conservação de água potável.

Na cidade de São Paulo, a Lei n° 13.276, de 4 de janeiro de 2002, regulamentada pelo Decreto n° 41.814, de 16 de março de 2002, obriga a construção de “piscininhas” nas edificações. Esta lei descreve que edificações construídas a partir de 4 de janeiro de 2002 deverão instalar o sistema de piscininhas quando a área impermeabilizada resultar em mais de 500 m². Em caso de reformas, deverá ser instalado o sistema quando o acréscimo da área impermeabilizada for igual ou superior a 100 m².

Em Curitiba existe a n° Lei 10.785, de 18 de setembro de 2003 onde regulamente a criação do Programa de Conservação e Uso Racional de Águas em Edificações. Este programa objetiva instituir medidas que proporcionem a conservação de água, o uso racional de água e a utilização de fontes alternativas para a captação de água nas novas edificações. O programa objetiva ainda a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água potável.

Esta Lei descreve, em seu Art. 7°, que as águas das chuvas serão coletadas da cobertura das edificações e encaminhadas a uma cisterna ou tanque, para serem utilizadas em atividades que não requerem o uso de águas tratadas, provenientes da Rede Pública de Abastecimento, tais como:

- ✓ rega de jardins e hortas;
- ✓ lavagem de roupas;
- ✓ lavagem de veículos;
- ✓ lavagem de vidros, calçadas e pisos.

No município de Maringá-PR, a Lei nº 6345 de 15 de outubro de 2003, institui o programa de reaproveitamento de águas de Maringá. Essa Lei possibilita os munícipes, fazendo uso de um programa de reaproveitamento de águas, a instalar reservatórios para: a contenção de águas servidas, como chuveiros, banheiras e lavatórios; o recolhimento de águas das chuvas, e dispositivos para a utilização dessas águas na descarga de vasos sanitários, lavagem de mictórios, lavagem de pisos, terraços e outros procedimentos similares.

Esta Lei descreve no Art. 3º que o munícipe interessado em participar do programa deverá, quando da elaboração de projeto de construção ou reforma residencial ou comercial, solicitar especificações técnicas referentes à instalação de coletores de água. No Art. 5º a Lei descreve ainda que a residência ou o estabelecimento cadastrado receberá a visita de técnicos da municipalidade, quando da vistoria realizada após a conclusão das obras, o qual dará parecer quanto à exatidão da execução do projeto de instalação de coletores de água.

3.7. Normas técnicas e legislações para o reúso de águas cinzas residenciais para o Brasil

No Brasil existem poucas legislações que regulamentam o reúso de águas. A NBR 13969/1997 descreve no item 5.6, o reúso local onde o esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, após tratamento deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como, irrigação dos jardins, lavagem de pisos e veículos automotivos, descarga de vasos sanitários, manutenção paisagística dos lagos e canais com água, irrigação dos campos agrícolas, pastagens, etc. A norma aborda ainda itens como: planejamento do sistema de reúso, usos previstos para o esgoto

tratado, volume de esgoto a ser reutilizado, grau de tratamento necessário, sistema de reservação e distribuição e manual de operação e treinamento dos responsáveis.

Na NBR 13969/1997 são definidas classes e parâmetros para os esgotos, conforme o reúso previsto. As classes são as seguintes:

✓ classe 1: lavagem de veículos e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluído chafarizes;

✓ classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes;

✓ classe 3: reúso nas descargas de vasos sanitários;

✓ classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Já o Manual do SINDUCON (2005) salienta que apesar do reúso de água apresentar diversas aplicações, todas convergem para a mesma condição de restrição que é a exposição ao público, usuários e operadores que manuseiam ou tenham algum contato com os sistemas de tratamento e distribuição da água de reúso. O manual também define padrões de qualidade da água de reúso, sendo esta dividida em duas classes, que são:

✓ classe 1: descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos;

✓ classe 2: lavagem de agregados, preparação de concretos, compactação de solos e controle de poeira.

Na tabela 15 são apresentados os padrões de qualidade da água para reúso segundo a NBR 13969/1997 e o manual do SINDUSCON (2005).

Tabela 15: Parâmetros de qualidade da água para reúso segundo NBR 13969/1997 e SINDUSCON (2005)

Classes		Parâmetros				
NBR 13969/1997	Turbidez (uT)	pH	SDT (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)
Classe 1	< 5	6,0 e 8,0	< 200	0,5 e 1,5	-	< 200
Classe 2	< 5	-	-	< 0,5	-	< 500
Classe 3	< 10	-	-	-	-	< 500
Classe 4	-	-	-	-	> 2,0	< 5000
SINDUSCON (2005)						
Classe 1	≤2	6,0 e 9,0	≤ 500	≤0,5	-	Não detectáveis
Classe 2	-	6,0 e 9,0	-	-	-	≤ 1000

Fonte: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 13969/1997 e SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo em “Manual de conservação e reúso da água em edificações” (2005).

Já o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, na Resolução n° 54 de 28 de novembro de 2005, estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água em todo território nacional. Segundo o Art. 3° da Resolução n° 54, o reúso não potável de água abrange as seguintes modalidades: reúso para fins urbanos, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e aquicultura.

Existem alguns municípios brasileiros que implementaram legislações para o reúso das águas cinzas como, por exemplo, Curitiba, com a n° Lei 10.785, de 18 de setembro de 2003 que regulamenta a criação do Programa de Conservação e Uso Racional de Águas em Edificações. Este programa objetiva instituir medidas que proporcionem a conservação de água, o uso racional de água e a utilização de fontes alternativas para a captação de água nas novas edificações. O Art. 2° descreve que as águas servidas são águas provenientes do tanque, da máquina de lavar, do chuveiro e da banheira. Já o Art. 8° cita que as águas servidas serão direcionadas, através de encanamento próprio, a um reservatório destinado às

descargas dos vasos sanitários e, apenas após tal utilização, descarregada na rede pública de esgotos.

Para o reúso de águas servidas, existe no município de Maringá a Lei de nº 6345, de 15 de outubro de 2003, que institui o programa de reaproveitamento de águas de Maringá, como citado anteriormente.

No município de Maringá – PR existe ainda uma Lei de nº 6076 de 21 de janeiro de 2003, que regulamenta o reúso de água não potável. O Art. 1º especifica que o município de Maringá utiliza água de reúso, não potável, proveniente das estações de tratamento de esgotos, para a lavagem de ruas, praças públicas, passeios públicos, próprios municipais e outros logradouros, bem como para a irrigação de jardins, praças, campos esportivos e outros equipamentos, considerando o custo/benefício dessas operações.

No município de São Paulo, a Lei nº 13.309, de 01 de fevereiro de 2002, regulamentada pelo Decreto nº 41.814, de 31 de janeiro de 2002, descreve a utilização, pela prefeitura municipal de São Paulo, de água não potável para a lavagem de ruas, praças e passeios públicos municipais e outros logradouros, bem como na irrigação de jardins, praças, campos esportivos e outros equipamentos. Realizadas com água de reúso, não potável, provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto, quando demonstrada, por meio de estudos pertinentes, a viabilidade técnica e a vantagem econômica de sua utilização.

4. SISTEMAS DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES

Os itens 4.1 ao 4.5.1 resumem parte da dissertação “Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações” desenvolvida por May (2004).

4.1. Breve histórico sobre coleta e aproveitamento de águas pluviais em alguns países

O manejo e o aproveitamento das águas pluviais para uso doméstico, industrial e agrícola estão ganhando ênfase em várias partes do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para se atenuar o grave problema ambiental da crescente escassez de água para consumo.

Os sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais já existem há milhares de anos. No deserto de Negev, por exemplo, o sistema foi utilizado há mais de 4.000 anos. Durante a era Romana, foram construídos sistemas sofisticados para coleta e armazenagem de águas pluviais. Segundo Werger (1991) apud Soares et al (2000), acredita-se que os reservatórios de águas pluviais encontrados na região do Parque Nacional Mesa Verde, nos Estados Unidos, foram construídos pelos Anasazis entre 750 a 1100 a.C.

Tomaz (1998) descreve que em uma das inscrições mais antigas do mundo, a Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio, datada de 850 a.C. Nela, o rei Mesha sugeria a construção de uma cisterna em cada casa para aproveitamento de águas pluviais. Segundo Guanayem (2001), no Brasil, uma das instalações mais antigas foi construída pelos norte-americanos em 1943, na ilha de Fernando de Noronha.

No México, as inscrições mais antigas e tradicionais de coleta de águas pluviais remetem à época da civilização Asteca e da civilização Maia. Segundo Gnadlinger (2000), no século X, ao sul da cidade de Oxkutzcab situada ao pé do monte Puuc, a agricultura era baseada na coleta de águas pluviais. As pessoas viviam nas encostas e as águas pluviais eram armazenadas em cisternas com capacidade de 20.000 a 45.000 litros, chamadas de Chultuns.

Segundo Gnadlinger (2000), as cisternas Chultuns tinham um diâmetro de aproximadamente 5m e eram escavadas no subsolo calcário e revestidas com reboco impermeável. Acima delas havia uma área de coleta de 100 a 200 m². Na figura 3 observa-se uma cisterna do povo Maia, chamada Chultuns.

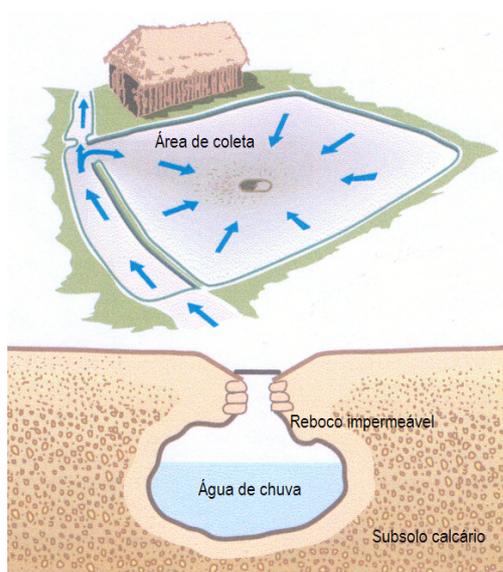


Figura 3: Cisterna do povo Maia, chamada Chultuns

FONTE: Gnadlinger (2000)

Segundo Gnadlinger (2000), nos vales da cidade de Oxkutzcab, utilizavam-se outros sistemas de coleta de águas pluviais, como:

- ✓ sistema de Aguadas: reservatórios de águas pluviais cavados artificialmente com capacidade de 10 a 150 milhões de litros;

- ✓ sistema de Aquaditas: pequenos reservatórios artificiais para 100 a 50.000 litros.

Em alguns países da Europa, o aproveitamento de águas pluviais é bastante intensificado. Segundo PNUMA (2001), no 2º Fórum Mundial da Água, organizado pelo Conselho Mundial da Água em março de 2000, na Holanda, discutiu-se a metodologia utilizada há anos na Europa, principalmente em países como Alemanha, Japão e em alguns países dos Estados Unidos.

Na Holanda, por exemplo, a água é coletada para evitar o transbordamento de canais que rodeiam o país, situado abaixo do nível do mar. A água armazenada é utilizada na irrigação de lavouras e abastecimento de fontes ornamentais. Na Alemanha, o processo de coleta e aproveitamento de águas pluviais ajudou a solucionar problemas acarretados pela péssima qualidade da água distribuída (PNUMA, 2001).

Fewkes (1999) descreve que no Reino Unido, 30% do consumo de água potável de uma residência são utilizados na descarga de vasos sanitários. O incentivo ao uso das águas pluviais tem sido intensificado entre os britânicos em função da economia baseada no volume de água potável substituído por águas pluviais. O custo da instalação do sistema está relacionado com a capacidade de armazenamento de água e com o nível de confiabilidade do sistema.

Schmidt (2001) relata que tanto em Berlin bem como em outras cidades da Alemanha, desde 2000 uma taxa é cobrada pela introdução de águas pluviais no sistema público de esgoto. Até o ano de 2000, o município cobrava uma taxa para o tratamento de esgoto no valor de DM\$ 3,85 ou EUR\$ 1,97 por m³ de água potável consumida. Em 2001, esta taxa foi dividida entre um valor de DM\$ 3,15 ou EUR\$ 1,61 por m³ de água potável consumida para tratamento de esgoto e DM\$ 2,50 ou

EUR\$ 1,28 ao ano por m² de área impermeável. Este fato representa um importante estímulo financeiro para proprietários, que podem economizar esta taxa implantando o sistema de coleta de águas pluviais.

Países industrializados, como o Japão e a Alemanha, estão seriamente empenhados em prol do uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para fins não-potáveis. Outros países, como Estados Unidos e Singapura, também estão desenvolvendo pesquisas sobre sistemas com o mesmo fim.

Gelt (2002) e Moffa (1996) descrevem que nos Estados Unidos as águas pluviais destinam-se à descarga de vasos sanitários, lavagem de veículos, resfriamento evaporativo, irrigação de jardins e hortas. Segundo Gardner; Coombes; Marks (2002), na Austrália, o sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais proporciona uma economia de 45% do consumo total de uma residência e 65% na agricultura.

Segundo Kita et al (1999), em Tóquio, no Japão, a coleta de águas pluviais é bastante intensa por duas razões: os reservatórios de água que abastecem a cidade ficam distantes e a cidade apresenta grandes índices de superfície pavimentada impedindo a infiltração da água no solo.

Continuam os autores descrevendo que o sistema de reservatório de águas pluviais apresenta as seguintes vantagens: diminui o risco de inundações urbanas e favorece a economia de água potável na rega de jardins, lavagem de veículos, sistemas de combate a incêndios; lavagem de roupas e vasos sanitários.

Segundo Inamine et al (2000), na cidade de Okinawa, no Japão, desde 1991, o governo juntamente com a prefeitura, tem desenvolvido um programa de auxílio financeiro para promover a coleta e o aproveitamento das águas pluviais. A

água coletada nas residências é utilizada para limpeza de bacias sanitárias, lavagem de carros e irrigação de jardins.

Tomaz (1998) descreve que na cidade de Kitakyushu, no Japão, em 1995 foi erguido um edifício com 14 pavimentos prevendo a utilização de águas pluviais. Para isso, foi construído um reservatório enterrado, com volume de 1 milhão de litros. Nesse edifício, as águas servidas, isto é, as águas de lavatórios, torneiras e máquinas de lavar roupa são reaproveitadas, juntamente com as águas pluviais coletadas. Todos os vasos sanitários deste edifício possuem alimentação com água não-potável de chuva e água servida.

Cheng (2001) relata que o projeto *Green Buildings*, incentivado pelo governo de Taiwan, estabelece 7 categorias de avaliação as quais intensificam e promovem a conservação de energia, a proteção dos recursos hídricos, o baixo desperdício de materiais e o baixo impacto ambiental. Essas medidas promovem eficientemente a qualidade ecológica do edifício.

4.2. Coleta e aproveitamento de águas pluviais

A questão dos recursos hídricos em diversos países apresenta um grande desafio para as autoridades responsáveis. De fato, em muitas regiões, a demanda de água excede a quantidade disponível. “Nos últimos anos, tem-se observado o desenvolvimento de novas tecnologias referentes ao manejo de recursos hídricos. Com isso, observam-se novas expansões no uso de técnicas de aproveitamento de águas pluviais, tanto em regiões onde já eram utilizadas, como em locais onde eram desconhecidas” (PETRY; BOERIU, 2000).

Continua o autor descrevendo que técnicas baseadas em práticas antigas e tradicionais, com uso de materiais modernos, ou novas tecnologias são chamadas de “técnicas de gestão de águas pluviais”, sendo as seguintes as mais

representativas: redução de evaporação, coleta de águas pluviais, coleta de água de escoamento superficial, recarga artificial de aquíferos subterrâneos, conservação da umidade em solos e previsão de águas pluviais para a agricultura.

Porém, mais do que as razões operacionais, o maior obstáculo ao uso disseminado dessas técnicas está relacionado a falta de um gerenciamento eficiente da água. Garantir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade, combater a cultura que pressupõe a abundância, incentivar programas que previnem o desperdício e a degradação, é fundamental para viabilizar qualquer proposta de desenvolvimento sócio-econômico sustentável no país. (LEAL et al, 1999)

Segundo a *Organization of American States* (1997) apud Palmier (2001), na América do Sul e no Caribe os maiores problemas enfrentados para implementar as técnicas de gestão de águas pluviais são:

- ✓ dificuldade de difusão de informação sobre as técnicas aplicadas com sucesso;
- ✓ falta de conhecimento da existência e importância dessas técnicas nos vários níveis de participação pública e tomada de decisões;
- ✓ limitações econômicas;
- ✓ ausência de coordenação interinstitucional e multidisciplinar;
- ✓ ausência de legislação adequada;
- ✓ incapacidade de avaliar de forma apropriada o impacto da introdução de tecnologias alternativas nas situações existentes.

Soares; Gonçalves (2001) relatam que para a implantação do sistema de reúso de água servida e aproveitamento de águas pluviais, seria necessário que o governo desenvolva uma política de incentivo à instalação desses sistemas. Estes incentivos poderiam vir pela redução de taxas ou impostos, tendo como

conseqüência o aumento da oferta de água de reúso e de águas pluviais e a diminuição da demanda de água potável.

Dixon; Butler; Fewkes (1999) descrevem que a coleta e o aproveitamento das águas pluviais adicionada à água servida em um só sistema de reúso promovem benefícios na eficiência do sistema. Em épocas de estiagem, o sistema é alimentado por água servida, não havendo a necessidade de armazenar grandes volumes de água. Uma desvantagem é que, com a mistura dessas duas águas, as águas pluviais recebem um tratamento que não condiz com sua necessidade, pelo fato de que as águas servidas apresentam maior contaminação e precisam ser tratadas com tecnologias mais avançadas, tornando o uso do sistema oneroso. Para a solução deste problema, uma alternativa seria a mistura dessas águas após tratamento individual.

Segundo Iwanami (1985), é importante fazer o planejamento da utilização do sistema de aproveitamento de águas pluviais para verificar a quantidade de água que poderá ser coletada e armazenada, para verificar a necessidade de tratamento das águas pluviais e para analisar os benefícios da mistura das águas pluviais com as águas servidas. Certamente é preciso que a água coletada seja devidamente armazenada, filtrada e que garanta uma qualidade compatível com os usos previstos.

Baú (1991) apud Soares et al (1999) relatam que a utilização de águas pluviais torna-se atraente nos seguintes casos:

- ✓ áreas de precipitação elevada;
- ✓ áreas com escassez de abastecimento;
- ✓ áreas com alto custo de extração de água subterrânea.

Existem dois fatores positivos no uso de águas pluviais em áreas urbanas, a saber:

- ✓ redução do consumo de água potável e;
- ✓ melhor distribuição da carga de águas pluviais imposta ao sistema de drenagem urbana.

Uma desvantagem deste sistema é a diminuição do volume de água coletada em períodos de estiagem.

Soares et al (1999) relataram que o sistema de aproveitamento de águas pluviais pode ser aplicado na descarga de vasos sanitários, sistemas de ar-condicionado, sistemas de combate a incêndio, lavagem de veículos, lavagem de pisos e ainda na irrigação de jardins. Nas indústrias e estabelecimentos comerciais, as águas pluviais podem ser utilizadas para resfriamento de telhados e máquinas, climatização interna, torres de resfriamento, no processo de produção e lavagem de peças, lavanderia industrial, lava jatos de caminhões, carros e ônibus e limpeza industrial.

4.2.1. Coleta e aproveitamento de águas pluviais no semi-árido brasileiro

Soares et al (2000) descrevem que o sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais é considerado uma técnica popular, especialmente em regiões Semi-áridas brasileiras. Diferentemente de outras regiões, no Semi-árido brasileiro a coleta de águas pluviais é uma prática utilizada para suprir principalmente a demanda de água potável.

O Programa Um Milhão de Cisternas - P1MC criado pelo governo federal tem como objetivo incentivar através de métodos educativos a transformação social visando à preservação, o acesso, o gerenciamento e a valorização da água como um recurso essencial a vida.

O P1MC pretende construir uma cisterna com capacidade de 16 mil litros para cada casa do Semi-Árido Nordestino, onde vivem cerca de 3 milhões de famílias e, para isso é estabelecido junto às comunidades rurais do Semi-árido brasileiro um processo de capacitação das famílias a serem beneficiadas. Neste processo é abordada a questão da convivência com o Semi-árido, focado no gerenciamento de recursos hídricos, na construção de cisternas, no gerenciamento de recursos públicos e na administração financeira dos recursos advindos do programa.

Schistek (2001) diz que o Semi-árido brasileiro apresenta chuvas irregulares e alta taxa de evaporação potencial. Cerca de 80% da área geográfica do subsolo de regiões Semi-áridas brasileiras apresentam formação cristalina, sem lençol freático. Sendo assim, a coleta de águas pluviais tem sido utilizada como alternativa para disponibilizar água para o consumo humano.

Um sistema que tem se mostrado eficaz na coleta de águas pluviais em regiões do Semi-árido brasileiro é a cisterna de argamassa de cimento, reforçada com arame e tela, mostrada na figura 4.



Figura 4: Cisterna de concreto com tela de arame

FONTE: Gnadlinger (2001a)

Segundo Gnadlinger (2001a), a parede da cisterna é composta de quatro camadas sucessivas de argamassa de cimento ligada entre si com pouco mais de um centímetro de espessura cada. No centro das quatro camadas encontra-se uma única camada de tela de galinheiro e arame galvanizado com espaçamento entre cinco e dez centímetros. A tecnologia apresentada é viável economicamente tanto para pequenos como também para grandes programas de construção de cisternas.

Matias (2001) e Gnadlinger (2001a) apresentam outra tecnologia também utilizada no Semi-árido brasileiro, que é a cisterna de placas de cimento pré-moldadas. Esta cisterna apresenta forma cilíndrica, é coberta e semi-enterrada. Ela pode ser utilizada também como cisterna comunitária para armazenamento de água captada de rio ou poço. Na figura 5 é mostrada a cisterna de placas de cimento pré-moldadas.

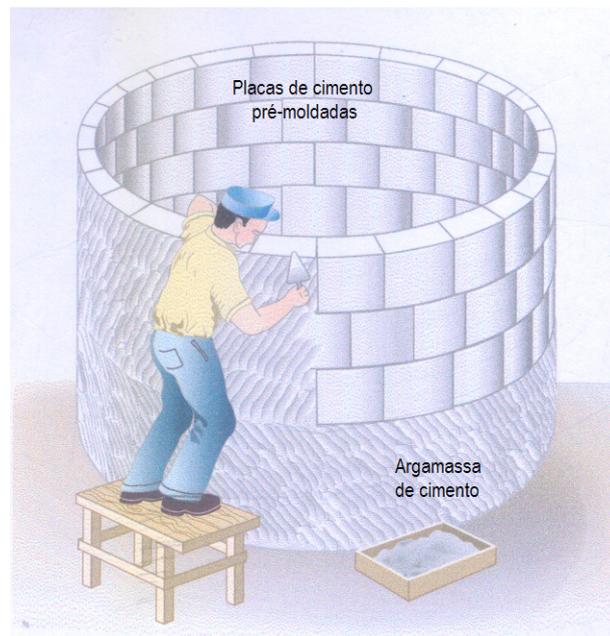


Figura 5: Cisterna de placas de concreto pré-moldadas

FONTE: Gnadlinger (2001a)

Segundo Thomas (2001), a durabilidade, a segurança e o baixo custo são critérios normalmente utilizados para escolher o tipo de reservatório a ser implantado no sistema de coleta de águas pluviais. Todavia, existem outros critérios que deverão ser considerados, a saber: segurança do modelo, preferência dos usuários, sustentabilidade e geração de empregos.

Gnadlinger (2001b), relata que no final dos anos 80, vários cientistas de Gangu, China, começaram a conduzir alguns experimentos com formas modernas de coleta de águas pluviais em regiões rurais do Semi-árido. Esses experimentos ficaram conhecidos como “Agricultura de colheita de água de chuva” e visavam o suprimento doméstico e a produção de culturas agrícolas. As principais inovações introduzidas foram:

- ✓ uso de outros materiais, como o concreto;

- ✓ modelos elaborados por engenheiros, baseados em experiências antigas, visando aumentar a durabilidade e capacidade de armazenamento dos tanques (Figura 6);
- ✓ construção de sistemas de coleta eficazes;
- ✓ adoção de sistemas de irrigação com menor consumo de água;
- ✓ combinação da coleta de águas pluviais com o sistema de produção agrícola altamente eficaz e abrangente;
- ✓ uso da água armazenada para a irrigação de jardins, em vez do uso exclusivamente doméstico.

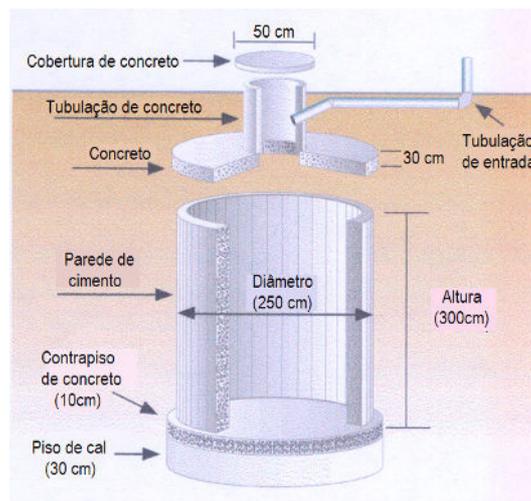


Figura 6: Modelo de cisterna subterrânea tradicional adaptada

FONTE: Gnadlinger (2001b)

Na figura 7 mostra-se o esquema do projeto de coleta de águas pluviais para irrigação de jardim.



Figura 7: Projeto de coleta de águas pluviais para irrigação

FONTE: Gnadlinger (2001b)

Segundo Campos et al (2001), o uso da barragem subterrânea como alternativa para coleta de águas pluviais em aluviões ou riachos no Semi-árido brasileiro é outra alternativa que deve ser analisada. Esta alternativa permite o cultivo agrícola e o cultivo de árvores frutíferas e não frutíferas. Além do cultivo agrícola e frutífero, a barragem possibilita o aproveitamento da água represada.

Palmier (2001) descreve que na avaliação do potencial hídrico é analisada a adequação e a eficiência da coleta de águas pluviais. Assim, são considerados os seguintes aspectos:

- ✓ disponibilidade atual da oferta de água e perspectiva de aumentá-la no tempo e no espaço;
- ✓ demanda atual de água e gestão adequada para possibilitar uma maior eficiência no uso da água;
- ✓ perspectiva de aumento da produtividade da água, considerando o uso de técnicas agrícolas e de gestão de recursos hídricos mais adequados;

- ✓ preservação da qualidade do meio ambiente.

Segundo Palmier (2001), sistemas alternativos de coleta de águas pluviais vêm sendo utilizados em estados nordestinos do país e em Minas Gerais. No entanto, não há uma sistematização no uso dessas técnicas. Muitas dessas aplicações, não apresentam seus resultados monitorados. Segundo Sonda et al (2001), a construção de cisternas no Semi-árido trouxe diversos benefícios às pessoas que utilizam esse sistema, a saber:

- ✓ facilitou a vida da dona de casa;
- ✓ diminuiu o índice de doenças onde são efetuadas manutenções adequadas nas cisternas;
- ✓ tempo livre para desenvolver outras atividades;
- ✓ disponibilidade de água para beber, cozinhar e limpeza entre outros.

Apesar de benefícios visíveis e mensuráveis da economia de água e da melhoria da qualidade de vida das famílias que vivem no semi-árido brasileiro, o papel e a importância da coleta das águas pluviais de forma adequada são pouco compreendidos pela maioria de nossos técnicos, governantes, e também pela população.

Outro fator de grande preocupação é a proliferação de doenças ocasionadas pelo acúmulo de água sem tratamento em cisternas. Por ingestão as águas contaminadas podem ocasionar doenças como: cólera, febre tifóide, gastroenterite, leptospirose, etc. Por contato, as águas contaminadas podem ocasionar doenças como: escabiose, tracoma, esquistossomose, etc. e por meio de insetos que se desenvolvem em águas paradas, doenças como: dengue, febre amarela, malária, etc.

As doenças de veiculação hídrica normalmente atacam o sistema digestivo e têm como principais sintomas: febre, vômito, náuseas e diarreias. O Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef), baseado em dados do Ministério da Saúde, constatou que de cada quatro crianças que morrem no Semi-Árido brasileiro uma é vítima de diarreia provocada pela má qualidade da água consumida. Na pesquisa desenvolvida por Amorim (2001) foram realizadas análises de águas pluviais em 14 cisternas na comunidade de Volta do Riacho, em Petrolina – PE. Os resultados demonstraram a presença de altos índices de coliformes e não foi detectado cloro residual nas amostras coletas.

Há uma grande necessidade de realizar pesquisas para avaliar do aproveitamento do potencial hídrico em regiões semi-áridas e em outras regiões do Brasil. Jalfim (2001) relata que para incentivar a coleta e armazenamento de águas pluviais, não basta tentar demonstrar a viabilidade dessa proposta pelo efeito visual e pelos relatos de experiências bem sucedidas. É preciso conscientizar as pessoas sobre a importância da coleta de águas pluviais de forma adequada para o consumo humano, agrícola e industrial.

4.3. Funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais

Segundo Leal (2000), o sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais funciona da seguinte maneira: a água é coletada de áreas impermeáveis, normalmente telhados. Em seguida, é tratada e armazenada em reservatório de acumulação, que pode ser apoiado, enterrado ou elevado e ser construído de diferentes materiais como: concreto armado, blocos de concreto, alvenaria de tijolos, aço, plástico, poliéster, polietileno e outros. Na figura 8 é apresentado um esquema

de funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais com reservatório de auto-limpeza.

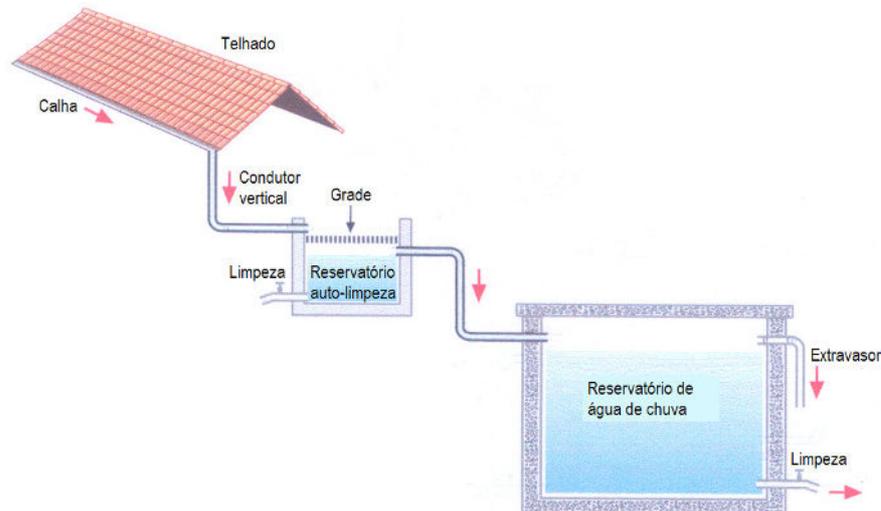


Figura 8: Esquema de funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais com reservatório de auto-limpeza

FONTE: Tomaz (1998)

No sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais alguns cuidados especiais deverão ser tomados com relação à instalação e a manutenção do sistema, a saber:

- ✓ a entrada de luz do sol no reservatório deverá ser evitada para diminuir a proliferação de microorganismos;
- ✓ a tampa de inspeção deverá estar fechada;
- ✓ a saída do extravasor deverá conter grade para evitar a entrada de pequenos animais;
- ✓ pelo menos uma vez por ano deverá ser feita a limpeza no reservatório, removendo o lodo que se acumula no fundo;
- ✓ o reservatório de águas pluviais deverá conter uma pequena declividade no fundo para facilitar a limpeza e retirada do lodo;

- ✓ é aconselhável localizar o reservatório de acumulação de águas pluviais próximo ao condutor vertical, podendo ele ser elevado, enterrado ou apoiado;
- ✓ a água coletada deverá ser utilizada somente para consumo não potável;
- ✓ numa estiagem prolongada, deve-se prever o reabastecimento do reservatório de águas pluviais com água potável, em quantidades que garantam o consumo diário;
- ✓ a entrada de água potável no reservatório de águas pluviais deverá estar acima da entrada de águas pluviais para que as águas pluviais não retornem ao reservatório de água potável;
- ✓ deverão ser tomados os devidos cuidados para que as águas pluviais não contamine o reservatório de água potável, caso o reservatório de águas pluviais esteja ligado a ele;
- ✓ no fundo do reservatório deverá existir um dispositivo para evitar turbulência na água e não agitar o material sedimentado do fundo do reservatório de águas pluviais;
- ✓ a tubulação de águas pluviais deverá ser de outra cor para realçar uso não potável, além disso poderão ser utilizadas roscas e torneiras diferentes para evitar uma possível interconexão com o sistema de água potável;
- ✓ próxima à mangueira do jardim ou quintal deverá existir uma placa de aviso “Água não Potável”;
- ✓ não deverá ser feita a conexão da rede de água potável com a rede de águas pluviais no sistema de distribuição;
- ✓ deverá ser verificada a qualidade das águas pluviais armazenadas;
- ✓ deverá ser verificado a necessidade de tratar e o tipo de tratamento a ser aplicado as águas pluviais.

4.4. Técnicas de coleta de águas pluviais para irrigação de jardins e limpeza de vasos sanitários

O sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais para rega de plantas e jardins pode apresentar simples ou complexa instalação e seu uso pode ser designado a pequenas ou grandes áreas verdes. O fator de maior relevância para o sucesso desse tipo de sistema é o cuidado que deve ser tomado ao escolher o tipo de planta que poderá ser cultivada no local.

A água que é descartada da limpeza do telhado contém materiais orgânicos que se acumulam nos telhados, como folhas, galhos e fezes de animais, e poderá servir de adubo para as plantas. O jardim pode conter ainda drenos para eliminar o excesso de água que poderá prejudicar o desenvolvimento sadio da planta.

A coleta de águas pluviais não pode prover a rega das plantas e jardins em todas as estações do ano, devido a períodos de seca. Para se obter o máximo proveito do sistema de coleta, as águas pluviais deverão ser armazenadas e utilizadas em períodos entre uma chuva e outra. Na figura 9 observa-se o sistema de rega de plantas e jardins com reservatório de acumulação.

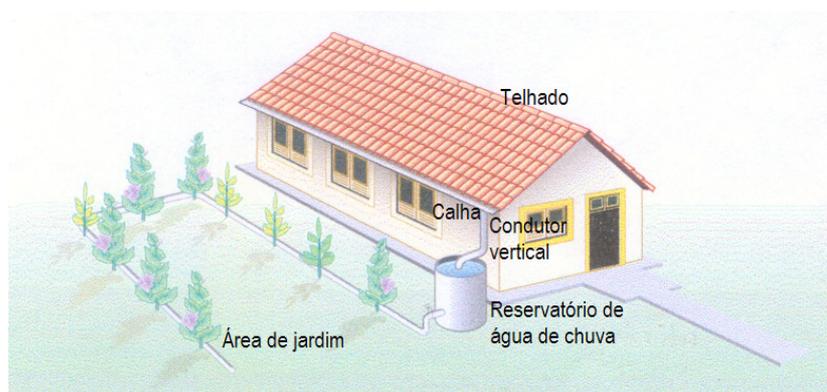


Figura 9: Irrigação de jardins: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical, sistema de armazenamento (reservatório) e sistema de distribuição para rega do jardim

FONTE: Waterfall (2002)

O sistema de distribuição de água para rega de plantas e jardins pode ser feito através de mangueira de jardim, gotejamento ou ainda aspersores. Dependendo do volume que deverá ser armazenado e da área disponível para o armazenamento das águas pluviais pode-se fazer uso de uma bateria de reservatórios interligados. Na figura 10 observa-se o sistema de rega de jardim utilizando uma bateria de reservatórios interligados.

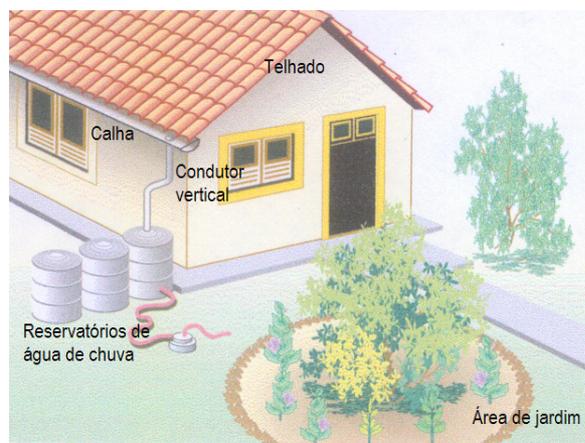


Figura 10: Irrigação de jardim: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical, sistema múltiplo de armazenamento e sistema de distribuição para rega do jardim

FONTE: Waterfall (2002)

O uso das águas pluviais é benéfico também para a descarga de vasos sanitários, uma vez que o consumo de água gasto para a descarga de vasos sanitários geralmente encontra-se entre os três maiores consumos de uma residência. O princípio de funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais para a descarga de vasos sanitários é o mesmo princípio utilizado na irrigação de jardins.

O fator de maior relevância para o sucesso desse tipo de sistema é o cuidado que se deve ter na instalação do mesmo. Para que se evite contaminação, as águas pluviais não podem estar misturadas a água potável no mesmo sistema de distribuição e se faz necessário dispor de dois sistemas separados. Outro fator que

influencia o uso das águas pluviais para descarga de vasos sanitários é a necessidade de desinfecção da água pois, durante o uso, podem ocorrer respingos de água e causar riscos à saúde de seus usuários, principalmente em crianças e idosos que geralmente apresentam imunidade baixa. Segundo Figueiredo (2005), bactérias fecais encontradas no vaso sanitário podem ascender, no ato da descarga, e chegar a uma altura de até 6 m e podem ainda permanecer circulando no ambiente por até 2 horas contaminando produtos de higiene pessoal como é o caso da escova de dentes.

O sistema de armazenamento de águas pluviais para a descarga de vasos sanitários pode estar enterrado, apoiado no nível do chão, havendo nesses casos, a necessidade de recalcar a água para os pontos de utilização, ou pode estar apoiado sobre a laje do edifício.

Vaes & Berlamont (2001) demonstram que são muitos os benefícios obtidos com a instalação de sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais, sendo um deles a retenção da precipitação elevada. Zaizen et al. (1999) descrevem os seguintes benefícios com a utilização de um sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais:

- ✓ controle de escoamento;
- ✓ prevenção de inundações;
- ✓ conservação de água potável;
- ✓ restauração do ciclo hidrológico em áreas urbanas;
- ✓ educação ambiental.

4.5. Componentes que fazem parte de um sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais

O sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais em edificações é formado pelos seguintes componentes:

✓ **Área de coleta:** a quantidade de águas pluviais que pode ser armazenada depende da área de coleta, da precipitação atmosférica do local, do coeficiente de escoamento superficial da cobertura e o fator de captação.

A área utilizada para a coleta de águas pluviais é, o telhado ou a laje da edificação. Para efeito de cálculo, alguns autores (ver em 4.5.1) recomendam considerar a projeção horizontal do telhado e em casos onde a área de telhado é pequena, considerar as fachadas da edificação. Pode-se utilizar também áreas como pátios, calçadas e estacionamentos para fazer a coleta das águas pluviais. Porém, a coleta das águas pluviais por meio dessas áreas deverá ser precedida de sistema preliminar de tratamento adequado para a retirada de detritos, papéis e plásticos que são encontrados nesses locais e deve-se prever a retirada de óleos e graxas provenientes de automóveis, para que não ocorram danos no sistema operacional de coleta e tratamento das águas pluviais. Nas figuras 11, 12 e 13 observam-se as áreas de coleta: telhados, lajes e pátios.



Figura 11: Área de coleta - telhado: comprimento x largura

FONTE: Waterfall (2002)



Figura 12: Área de coleta - laje: comprimento x largura

FONTE: Waterfall (2002)

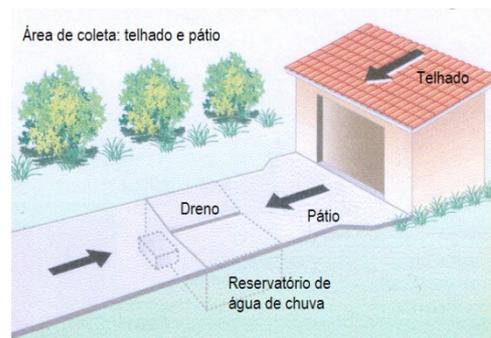


Figura 13: Área de coleta - telhado e pátio: armazenamento em reservatório subterrâneo

FONTE: Waterfall (2002)

Para que não ocorra entupimentos nos condutores que levam as águas pluviais provenientes do telhado até o reservatório de auto-limpeza ou outro

dispositivo, o sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais deve estar munido de peneiras para a retirada de folhas e galhos. Para esse processo pode-se utilizar um dispositivo na saída da calha, uma grade que percorre toda a calha ou ainda uma grade na entrada de água do reservatório de auto-limpeza. Na figura 14 observa-se a grade que percorre toda a calha, para retirada de folhas e galhos.

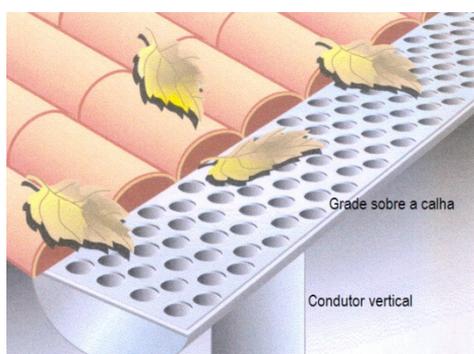


Figura 14: Sistema de grade localizada sobre a calha

FONTE: Waterfall (2002)

O telhado para coletar as águas pluviais pode ser feito de diversos materiais como: cerâmica, fibrocimento, zinco, ferro galvanizado, concreto armado, plástico, vidro, policarbonato, acrílico, manta asfáltica, etc.

✓ **Condutores:** sistema de condutores horizontais (calhas) e condutores verticais que transportam as águas pluviais até o sistema de armazenamento;

✓ **Sistema de descarte da água de limpeza do telhado:** para coletar as águas pluviais é necessário fazer uso de áreas impermeáveis, como por exemplo, telhados. Como a ele existe acesso de pequenos animais como: pássaros, ratos, gatos, entre outros, é grande a probabilidade do telhado conter fezes desses animais ou até mesmo, animais mortos.

Além disso, poeira, galhos e folhas de árvores são trazidos pelo vento. Por isso, é recomendável o descarte da porção inicial da água que faz a limpeza do(s) telhado(s), sobretudo após longo período de estiagem.

Segundo Tomaz (2003), para efeito de cálculo, o volume de águas pluviais que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado. Assim, são estimadas perdas que vão de 10% a 33% do volume precipitado. Essas perdas são provenientes de vazamentos, evaporação, etc. Algumas técnicas para fazer o descarte da água de limpeza do telhado poderão ser utilizadas, entre as quais tonéis, reservatórios de auto-limpeza com torneira bóia e dispositivos automáticos, como mostrado nas figuras 15, 16 e 17.

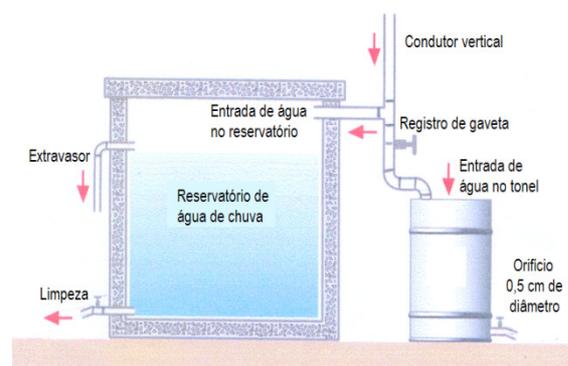


Figura 15: Tonel como reservatório de auto-limpeza

FONTE: Dacach (1990)

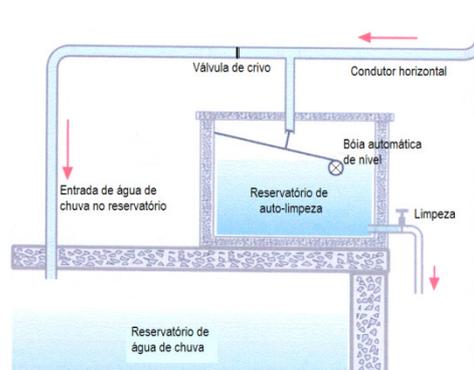


Figura 16: Reservatório de auto-limpeza com torneira bóia

FONTE: Dacach (1990)

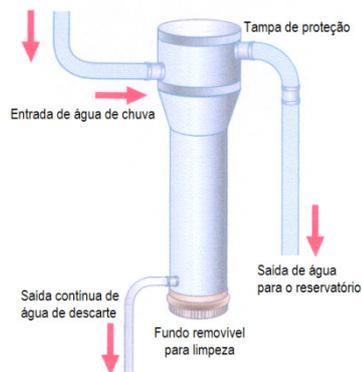


Figura 17: Dispositivo de descarte da água de limpeza do telhado utilizado na Austrália

FONTE: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~cegak/Coombes/RainwaterScales.htm>

✓ **Armazenamento:** sistema composto por reservatório(s) com objetivo de armazenar águas pluviais. Se a área de coleta, a precipitação média da região e a demanda mensal são conhecidas, pode-se calcular o volume mínimo do reservatório de acumulação de águas pluviais.

Geralmente, o reservatório de acumulação é o componente mais dispendioso do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais. Por isso, seu dimensionamento requer uma análise criteriosa para não tornar a implantação do sistema inviável. Dependendo do volume obtido no cálculo e das condições do local, o armazenamento das águas pluviais poderá ser realizado para atender à demanda em períodos curtos, médios ou longos de estiagem.

Herrmann & Schmida (1999) descrevem que, em residências unifamiliares, dependendo do consumo e da disponibilidade de área de coleta, a média da economia de água potável gira em torno de 30% a 40%, fazendo-se uso de um reservatório com capacidade de 4 a 6 m³.

✓ **Tratamento:** o sistema de tratamento das águas pluviais depende primordialmente da qualidade da água coletada e do seu uso específico. De modo geral, o sistema de coleta e tratamento de águas pluviais apresenta fácil manuseio,

custo de implantação baixo dependendo da tecnologia adotada, e de viabilidade econômica favorável em regiões onde a precipitação anual é relativamente elevada.

4.5.1. Coeficiente de Escoamento Superficial

O coeficiente de escoamento superficial representa a relação entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado variando conforme a superfície. O coeficiente de escoamento superficial pode se situar entre 1, que indica ausência de perdas e 0, que indica que todo o fluxo de água que entra no sistema é perdido.

Utiliza-se a letra C para indicar o coeficiente de escoamento superficial. Os coeficientes de escoamento superficial adotados por Hofkes (1981); Frasier (1975) para telhas cerâmicas e telhas corrugadas de metal são os indicados na tabela 16:

Tabela 16: Coeficientes de Escoamento Superficial adotado por Hofkes (1975) e Frasier (1975)

MATERIAL	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas corrugadas de metal	0,7 a 0,9

FONTE: Hofkes (1981); Frasier (1975)

Segundo Tucson; Phoenix apud Waterfall (2002), os coeficientes de escoamento superficial utilizados no Arizona para telhado, pavimentação, solo e gramado são demonstrados na tabela 17:

Tabela 17: Coeficientes de Escoamento Superficial utilizado por Tucson e Phoenix

MATERIAL	MÁXIMO	MÍNIMO
Telhado: metal, cascalho, asfalto, fibra de vidro	0.95	0.90
Pavimentação: concreto, asfalto	1.00	0.90
Solo: c/ vegetação	0.75	0.20
s/ vegetação	0.60	0.10
Gramado: c/ solo arenoso	0.10	0.05
c/ solo barrento	0.17	0.13

FONTE: Tucson; Phoenix apud Waterfall (2002)

Segundo Vaes; Berlamont (2001), dimensionar a área de coleta é imprescindível para o uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, porém, o coeficiente de escoamento superficial das águas pluviais é influenciado por muitos parâmetros locais, que são difíceis de avaliar.

Segundo Guanghai (2001), outro parâmetro local que apresenta grande influência no coeficiente de escoamento superficial é o tipo de telhado de onde a água será coletada. Se a superfície é impermeável o escoamento superficial acontece imediatamente. Se a superfície é permeável, então o escoamento superficial acontecerá após a saturação da superfície. Na tabela 18 estão relacionados os coeficientes de escoamento superficial de alguns tipos de telhados, para a Bélgica.

Tabela 18: Coeficientes de Escoamento Superficial utilizado na Bélgica

TIPO DE TELHADO	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
Cobertura plana com argila expandida	0.6
Cobertura plana com betume (carbolástico)	0.7 a 0.8
Telhado inclinado com telha cerâmica	0.75 a 0.9
Telhado inclinado com telha esmaltada	0.9 a 0.95
Telhado inclinado com betume (carbolástico)	0.8 a 0.95

FONTE: Van den Bossche (1997) apud Vaes; Berlamont (2001)

Segundo Khan (2001), o coeficiente de escoamento superficial para áreas cobertas e não cobertas estão indicados na tabela 19:

Tabela 19: Coeficientes de Escoamento Superficial utilizados por Khan para a Índia

MATERIAL	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
Telhas cerâmicas	0,56
Chapas corrugadas	0,85
Plástico	0,94
Superfície pavimentada	0,68
Metálica	0,52
Telhados verdes	0,27

FONTE: Khan (2001)

Segundo Pacey apud Tomaz (2003), os coeficientes de escoamento superficial utilizados em alguns países são apresentados na tabela 20:

Tabela 20: Coeficientes de Escoamento Superficial utilizado em alguns Países

LOCAIS	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
Flórida	0,67
Alemanha	0,75
Austrália	0,80
Ilhas Virgens	0,85

FONTE: Pacey apud Tomaz (2003)

4.6. Qualidade das águas pluviais obtidas em algumas pesquisas

A qualidade das águas pluviais pode variar de acordo com a localização do sistema de coleta, com as condições meteorológicas, com a presença ou não de vegetação e com a presença de carga poluidora. Por isso, é extremamente importante a verificação da qualidade das águas pluviais e a definição do tipo de tratamento adequado a ser aplicado a essas águas para que seu uso não ofereça riscos à saúde pública.

Na tabela 21 são apresentados alguns resultados de caracterização de águas pluviais obtidos em diferentes pesquisas. Nos trabalhos descritos em Paiva et al (1994), Rocha et al (1998), Fornaro e Gutz (2000) e May (2004) foram avaliadas amostras de águas pluviais para a cidade de São Paulo. Adhityan (1999) e Appan (1999) caracterizaram amostras de águas pluviais de Singapura. Fonini, Fernandes e Pizzo (2004) e Philippi (2005) coletaram e caracterizaram amostras de águas pluviais de Passo Fundo/RG e de Florianópolis respectivamente. Todas as pesquisas citadas acima consideraram amostras provenientes de reservatório de acumulação de águas pluviais.

CARACTERIZAÇÃO, TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUAS CINZAS E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES

Tabela 21: Média dos Resultados Obtidos com a Caracterização das Águas Pluviais em Diferentes Pesquisas

Referência	Média dos parâmetros											
	pH	Cor aparente (uC)	Turbidez (UNT)	Cálcio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Dureza (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	SDT (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	Coliformes totais (NMP/100ml)
Paiva et al (1994)	4,5	-	-	22,4	6,7	-	-	-	-	38,7	-	-
Rocha et al (1998)	5,2	-	-	25	-	-	-	-	-	21	-	-
Fornaro e Gutz (2000)	4,7	-	-	10	2,9	-	-	-	-	16	-	-
May (2004)	6,7	25,2	0,9	5,3	0,4	-	30	1	19	5,6	presença	54
Adhityan (1999)	4,1	8,7	4,6	-	-	0,1	-	9,1	19,5	-	92,0	6,7
Appan (1999)	4,1	-	5,1	-	-	-	-	9,0	-	-	7,8	-
Fonini; Fernandes e Pizzo (2004)	7,7	Ausente	1,7	-	-	19,3	-	12,5	-	-	-	70
Philippi (2005)	7,9	37,1	-	-	-	-	-	2,5	-	-	23,9	-

Obs: ST – Sólidos totais

SST – Sólidos suspensos totais

SDT – Sólidos dissolvidos totais

Na tabela 21, observa-se de modo geral, a variação dos resultados obtidos nas diferentes pesquisas. Esses resultados comprovam que a qualidade das águas pluviais pode variar de acordo com o local onde ocorre a chuva, com as condições meteorológicas, com a presença ou não de vegetação e principalmente com a presença de carga poluidora. Essa variação de resultados demonstra, ainda, a necessidade da verificação da qualidade das águas pluviais e da determinação do tratamento adequado a ser aplicado a essas águas antes do seu uso previsto.

O potencial hidrogeniônico (pH) determina a concentração de íons H^+ nas águas e representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do ambiente aquático. Segundo Libânio (2005), o pH influi no grau de solubilidade de várias substâncias, na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, definindo inclusive o potencial de toxicidade de vários elementos.

Observa-se na tabela 21, que, para as águas pluviais existe uma variação de pH bastante intensa. Essa variação deve-se a fatores ambientais que interferem diretamente no pH da amostra. A tabela 22 mostra o valor do pH das águas pluviais para algumas cidades do Brasil.

Tabela 22: Caracterização do pH das Águas Pluviais para Cubatão , Vila Parisi, Santos, Rio das Pedras e São Paulo

Local	Valores de pH	
	Máximo	Mínimo
Cubatão (Centro)	4,7	3,7
Vila Parisi	6,8	4,4
Santos	6,25	4,63
Rio das Pedras	4,45	4,45
São Paulo	6,3	2,7

FONTE: Forti et. al.(1999)

Observa-se na 22 que a variação do pH das amostras de águas pluviais coletadas direto da atmosfera também é bastante acentuada.

Sobral (1996) relata que, em análises de águas pluviais realizadas na cidade de São Paulo no período de 1984 a 1990 foram obtidos, como parâmetros de pH, valores entre 4,2 e 4,5.

Nas águas pluviais a caracterização do pH é extremamente importante para a verificação da acidez da água. A acidez das águas pluviais pode causar corrosão de peças e equipamentos no sistema de coleta, tratamento e distribuição das águas pluviais.

Segundo Libânio (2005), a cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas solúveis, finamente dispersas, de origem predominantemente orgânica e dimensão inferior a 1µm. Pode também ser resultado da presença de compostos de ferro e manganês ou do lançamento dos diversos tipos de resíduos industriais na água. Para efeito de caracterização de águas de abastecimento, distingue-se a cor aparente, na qual se consideram as partículas suspensas, da cor verdadeira, que considera as substâncias dissolvidas.

Os valores do parâmetro cor encontrado em May (2004) e Philippi (2005) indicaram grande concentração, devido à presença de substâncias dissolvidas nas águas pluviais. Já o parâmetro turbidez indicado pela presença de partículas suspensas na água apresentou valores relativamente baixos, com exceção do valor encontrado por Adhityan (1999), de 4,6 UNT e por Appan (1999), de 5,1 UNT.

Em Fonini; Fernandes e Pizzo (2004) e May (2004) foram encontrados valores de 1,7 e 0,9 respectivamente. A turbidez das águas pluviais coletadas de telhados tende a ser mais alta nos primeiros instantes de chuva. Isso ocorre porque sob o telhado há presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas e detritos orgânicos, algas, bactérias, etc.

De modo geral, resultados dos parâmetros de cálcio, magnésio e dureza apresentaram-se relativamente baixos, indicando que as águas pluviais apresentam concentração de dureza branda ou mole. Essa baixa concentração indica que as águas pluviais apresentam baixa possibilidade de incrustações.

As concentrações de sulfato em águas naturais podem abranger uma faixa de 2 a 80 mg/L, podendo, em áreas próximas a descargas industriais ou áreas áridas, onde sulfatos minerais como gesso, estão presentes, ultrapassar 1.000 mg/L. Em águas para abastecimento industrial o sulfato provoca incrustações em caldeiras e trocadores de calor. Verifica-se que, nos resultados apresentados na tabela 21, o parâmetro sulfato apresentou-se baixo em todas as pesquisas. Esses valores demonstram o grande potencial do uso de águas pluviais em torres de resfriamento ou em trocadores de calor.

Já a contaminação por coliformes termotolerantes e coliformes totais nas águas pluviais resultou positiva em todas as pesquisas que caracterizaram esses dois parâmetros como mostra a tabela 21. Esse indício de contaminação indica que as águas pluviais deverão ser tratadas e devidamente desinfetadas antes do uso previsto. Para que o uso das águas pluviais seja feito de forma segura, é necessário obedecer a um padrão de qualidade mínimo compatível aos usos não potáveis, para que não ocorra risco à saúde de seus usuários.

Os coliformes termotolerantes são bactérias caracterizadas pela presença de enzima β -galactosidade e pela capacidade de fermentar a lactose com produção de gás em 24 horas à temperatura de 44-45°C, em meios contendo sais biliares ou outros agentes tenso-ativos, com propriedades inibidoras semelhantes.

Além de presentes em fezes humanas e de animais podem, também, ser encontradas em solos, plantas ou quaisquer efluentes contendo matéria orgânica. A contagem dos coliformes termotolerantes serve para determinar:

- ✓ avaliação e controle microbiológico de águas tratadas;
- ✓ avaliação e controle de qualidade de mananciais e corpos d'água;
- ✓ avaliação e controle das condições higiênicas de sistemas industriais.

O grupo dos coliformes totais inclui todas as bactérias na forma de bastonetes gram-negativos, não esporogênicos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 a 48 horas a 35°C.

O índice de coliformes totais avalia as condições higiênicas, enquanto que o índice de coliformes termotolerantes é empregado como indicador de contaminação fecal, avaliando condições higiênico-sanitárias deficientes, visto presumir-se que a população deste grupo é constituída de uma alta proporção de *E. Coli*. (*Escherichia Coli*).

Na pesquisa realizada por May (2004) foram analisadas 3 outros tipos de bactérias nas águas pluviais, são elas: *Clostrídio Sulfito Redutor*, pertencentes ao grupo de bactérias do *Clostridium Perfringens*, *Enterococos* e *Pseudomonas Aeruginosa*.

As bactérias do tipo *Clostridium Perfringens* são indicadores de contaminação fecal. Essas bactérias podem causar intoxicações alimentares e gastrointestinais e foram encontradas em 91% das 120 amostras coletadas.

As bactérias do tipo *Enterococos* podem causar infecções do trato intestinal e urinário e foram encontradas em mais de 98% das amostras coletadas e as bactérias do tipo *Pseudomonas Aeruginosa* que podem causar diarréia aguda e

infecção urinária e intestinal foram encontradas em poucas amostras coletadas, aproximadamente em 17%.

5. SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS EM EDIFICAÇÕES

5.1. Reúso de águas cinzas

Jefferson et al (1999); Eriksson et al (2002) e Ottoson & Stenstrom (2003) classificam águas cinzas como águas servidas residenciais originadas de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquinas e tanques de lavar roupas. Já Nolde (1999) e Christova-Boal et al (1996) não incluem como águas cinzas, o efluente proveniente de cozinhas, por considerá-lo altamente poluído, putrescível e com inúmeros compostos indesejáveis, como por exemplo, óleos e gorduras.

As águas cinzas, como fonte alternativa de água para usos não potáveis é praticada em alguns países como Japão, EUA, Canadá, Alemanha, Reino Unido e Israel. No Brasil, já existem algumas aplicações de sistemas de reúso de águas cinzas para consumo não potável em condomínios residenciais (BRANCATELLI, 2007). As águas cinzas devidamente tratadas apresentam um grande potencial de reúso para fins não potáveis. Diferentemente das águas pluviais onde os volumes produzidos dependem diretamente dos índices pluviométricos da região, as águas cinzas apresentam vazões oriundas do uso de água potável na edificação, sendo de fácil coleta.

Mendonça (2004) classifica os efluentes domésticos em efluente preto “*blackwater*” e em efluente cinza “*greywater*”. Para sistemas de reúso de água, conhecer o tipo de efluente é indispensável para a definição do tratamento a ser aplicado e o uso final que esse efluente poderá suprir. Henze & Ledin (2001) apresentam algumas subdivisões com codificação em cores para os efluentes domésticos. Essas subdivisões são mostradas na tabela 23.

Tabela 23: Código de Cores dos Efluentes

Tipo	Contaminante
Preto (<i>blackwater</i>)	Todos os efluentes domésticos misturados
Cinza escuro	Banho, cozinha e lavatório
Cinza claro (<i>Greywater</i>)	Banho, lavatório e máquina de lavar roupas
Amarelo	Somente urina (mictório)
Marrom	Somente fezes (sem urina)

Fonte: Henze & Ledin (2001)

As águas cinzas são geralmente compostas, em sua maior parte, de sabão ou de outros produtos usados para lavagem do corpo, de roupas e de limpeza em geral (JEFFERSON et al, 1999). A qualidade das águas cinzas pode variar de acordo com a localidade, nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social, cultura e costumes dos moradores (NSW HEALTH, 2002). Nolde (1999) relata que a qualidade das águas cinzas pode ainda variar, de acordo com a sua procedência. As águas cinzas apresentam características diferentes, dependendo do ponto de amostragem, por exemplo, águas oriundas do lavatório, da máquina de lavar roupas ou ainda de chuveiros apresentam concentrações de contaminação diferentes.

O uso das águas cinzas está ligado, diretamente, a fatores como a qualidade do afluente, o tratamento aplicado, a qualidade do efluente e principalmente ao uso final que será dado à água. Na figura 18 é apresentado um esquema do uso de sistemas de águas cinzas em residências.

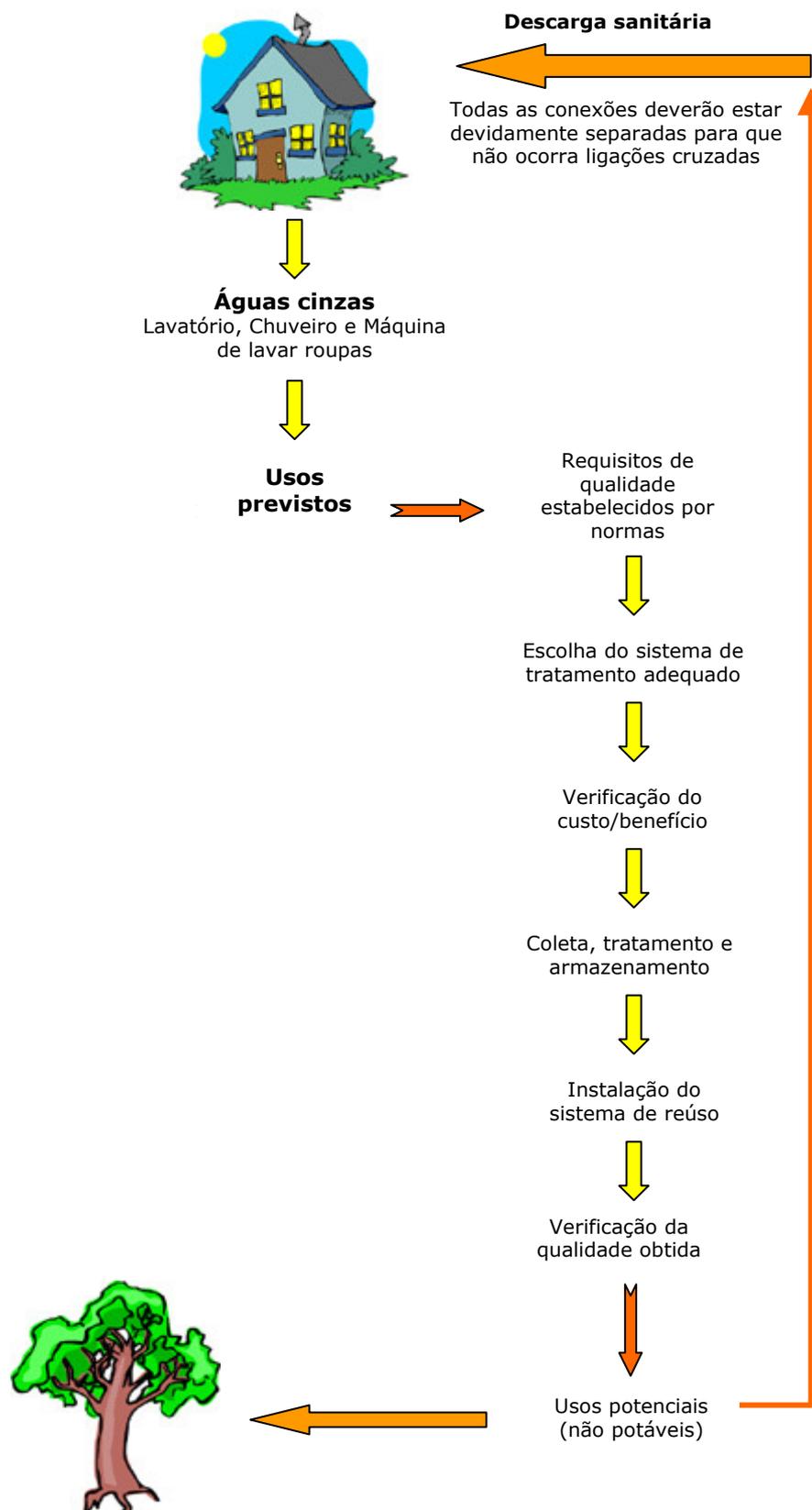


Figura 18: Esquema do uso de sistemas de águas cinzas em residências

Fonte: adaptado de South East Water

Mendonça (2004) descreve que, para que sistemas de reúso de águas cinzas possam ser projetados e construídos de forma sustentável e eco-eficiente, um conjunto de fatores precisa ser atendido como demonstra a figura 19. Na maioria das vezes, esses fatores são verificados em análises sócio-econômicas e ambientais para a implantação do sistema de reúso, de modo a levar o projeto a atender a esses requisitos com segurança.

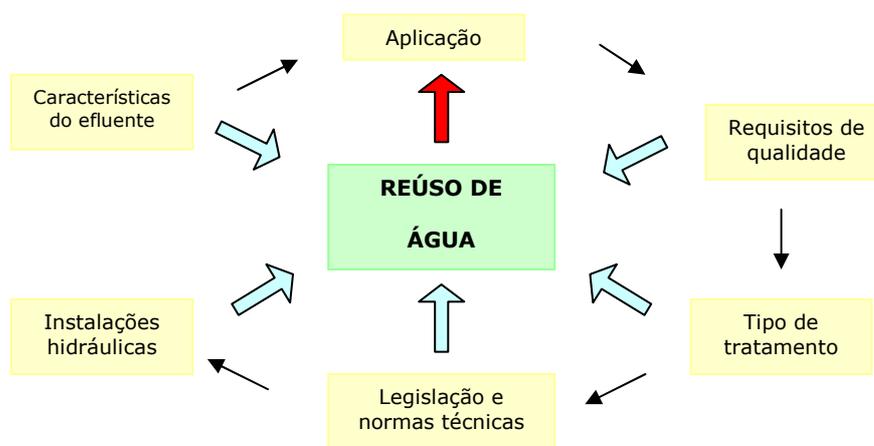


Figura 19: Fatores para implantação do reúso de água

Fonte: Mendonça (2004)

Eriksson et al (2002) afirma que a utilização do sistema de reúso de águas cinzas está associada às seguintes vantagens:

- ✓ estimula o uso racional e a conservação de água potável;
- ✓ permite maximizar a infra-estrutura de abastecimento de água e tratamento de esgotos pela utilização múltipla da água aduzida;
- ✓ propicia a educação ambiental.

As águas cinzas, devidamente tratadas, podem ser utilizadas no consumo não potável como descarga de vasos sanitários, lavagem de calçadas e ruas, irrigação de jardins, irrigação de faixas verdes decorativas ao longo de ruas e estradas, construção civil (compactação do solo, controle de poeira, lavagem de

agregados), limpeza de tubulações, sistemas decorativos tais como espelhos d'água, chafarizes, fontes luminosas, entre outros. Segundo Eriksson et al (2002), as águas cinzas podem ser utilizadas para diversos fins. Porém, o tipo de tratamento aplicado e o uso final são fatores determinantes para o sucesso do empreendimento.

5.2. Sistemas de reúso de águas cinzas em alguns países

Hill et al (2003) descrevem o uso e o monitoramento de um sistema de tratamento de águas cinzas na Inglaterra. O sistema de tratamento de águas cinzas era munido de filtração e desinfecção e foi implantado para tratar as águas cinzas de cinco residências em Avlesbury, na Inglaterra. Para o processo de desinfecção utilizou-se o bromo. O trabalho de monitoramento relatou que a $DBO_{5,20}$ remanescente apresentou-se relativamente alta, com valores de 22 a 87 mg/L. O sistema de tratamento apresentou ainda alguns problemas operacionais como o entupimento na tubulação de entrada do filtro, falhas na bomba de recalque e insuficiência na desinfecção.

Em um sistema de reúso de águas cinzas implantado em um apart-hotel, na Ilha de Mallorca, na Espanha, foram utilizados processos de sedimentação, filtração utilizando filtro de tela de nylon e desinfecção com hipoclorito de sódio. Neste sistema, as águas cinzas após tratamento obtiveram padrões de qualidade apropriadas para o reúso não potável. O controle da operação do sistema de tratamento deu-se através das seguintes ações:

- ✓ manutenção da estabilidade das condições operacionais;
- ✓ período de estocagem da água tratada inferior a 48 horas e;
- ✓ concentração de cloro residual ≥ 1 mg/L nas descargas dos vasos sanitários.

March, Gual e Orozco (2004) relatam que, no sistema instalado no apartamento, as águas cinzas, apresentaram após o tratamento, turbidez igual a 16,5 UNT e sólidos suspensos totais igual a 18,6mg/L. O autor relata ainda que o uso das águas cinzas para a limpeza dos vasos sanitários teve uma ótima aceitação entre os hóspedes.

Bortone et al (1999) demonstram, como mostrado na tabela 24, os resultados obtidos no monitoramento de difusão de aerossóis em diferentes distâncias e em diferentes alturas do vaso sanitário utilizando águas cinzas sintéticas com lactobacilos *delbrueckii bulgaricus*, que são microrganismos não-patogênicos geralmente presentes no corpo humano.

Tabela 24: Monitoramento da Difusão de Aerossóis em Diferentes Distâncias e Alturas do Vaso Sanitário utilizando Águas Cinzas Sintéticas

Distância do vaso sanitário		Concentração Afluente (ufc/L)	Posição		
Horizontal	Vertical		Frontal (ufc/m ³)	Direita (ufc/m ³)	Esquerda (ufc/m ³)
20 cm	160 cm	10 ⁴	ND	ND	ND
20 cm	160 cm	10 ⁵	5	4	ND
20 cm	160 cm	10 ⁶	8	17	4
10 cm	30 cm	-	610	2342	3067

Fonte: Bortone et al (1999)

O uso de águas cinzas para a descarga de vasos sanitários bem como para outros usos não potáveis pode oferecer ao usuário risco de contaminação no contato direto e indireto com essas águas, por isso a importância dessas águas estarem devidamente tratadas e estarem enquadradas no padrão mínimo de exigência de qualidade para reúso.

5.3. Componentes que fazem parte de um sistema de reúso de águas cinzas

O sistema de reúso de águas cinzas em edificações é formado pelos seguintes componentes:

✓ **Coletores:** sistema de condutores horizontais e condutores verticais que transportam o efluente proveniente do chuveiro, do lavatório e da máquina de lavar roupas ao sistema de armazenamento, onde posteriormente é devidamente tratado.

Na figura 20 é possível observar o esquema do sistema de reúso de águas cinzas e alguns pontos de coleta de efluente.

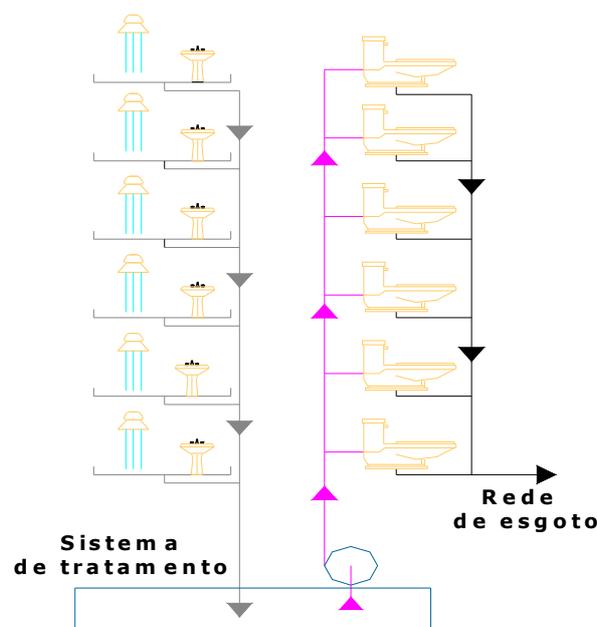


Figura 20: Esquema do sistema de reúso de águas cinzas em edificações

FONTE: Jefferson et al, (1999)

✓ **Armazenamento:** sistema composto por reservatório(s) de acumulação com objetivo de armazenar as águas cinzas provenientes dos pontos de coleta.

Um fator-chave para o sucesso de um sistema de reúso é o balanço entre o volume gerado e a demanda a ser atendida. Surendran e Wheatley (1998) apud

Jefferson et al (1999) mostraram que o volume gerado de águas cinzas e o volume requerido pelas descargas dos vasos sanitários, em um dia, são próximos. Entretanto, as águas cinzas são produzidas num período curto de tempo enquanto que o uso das águas cinzas para a descarga do vaso sanitário ocorre de maneira distribuída ao longo do dia. Este fato proporciona um déficit de água durante a tarde e a madrugada. A utilização de reservatórios de acumulação de águas cinzas pode minimizar o problema desse déficit, sendo porém necessário, uma maior disposição de espaço físico para a instalação do sistema de reúso.

✓ **Tratamento:** o sistema de tratamento das águas cinzas depende da qualidade da água coletada e do seu uso final. A escolha do processo de tratamento das águas cinzas a ser utilizado é de fundamental importância para o sucesso do empreendimento e, por isso, a decisão deve ser criteriosa e fundamentada nas características do efluente a ser tratado.

A análise das características do efluente, juntamente com os requisitos de qualidade requeridos para a aplicação de reúso desejada, geralmente define o tipo de tratamento a ser adotado. Em se tratando de reúso de água, devido à grande variabilidade, tanto da fonte quanto da própria finalidade a que se destina o efluente tratado, ou o tipo de reúso pretendido, uma gama de sistemas ou seqüências de processos são possíveis de serem concebidos (MANCUSO e SANTOS, 2003). Os processos desenvolvidos variam desde sistemas simples em residências até séries de tratamentos avançados para reúso em larga escala (JEFFERSON et al 1999).

Nesta pesquisa foi utilizado tratamento biológico aeróbio para o tratamento das águas cinzas. Especificamente, foi utilizado um reator biológico de contato, popularmente chamado de biodisco. O uso de biodisco para o tratamento das águas cinzas se deu devido à três fatores:

- ✓ fácil operação;
- ✓ baixa manutenção;
- ✓ sistema compacto, se comparado a sistemas convencionais de tratamento de efluente.

Mendonça (2004) descreve que, para o tratamento biológico de efluentes, é conveniente caracterizar as águas residuárias separando o conteúdo orgânico em várias frações baseando-se na viabilidade da remoção/degradação pela ação de microrganismos. Na figura 21 mostra-se um esquema de classificação dos poluentes presentes nas águas residuárias que serão submetidas a tratamento, visando auxiliar na escolha do processo e do tipo de tratamento.

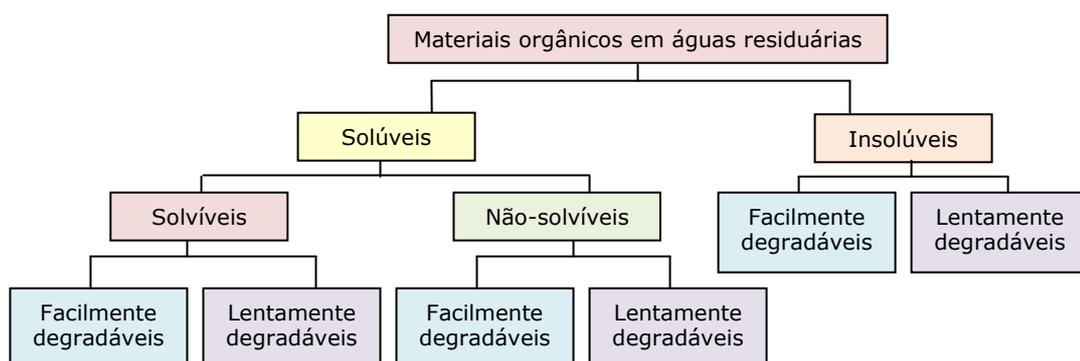


Figura 21: Classificação dos poluentes presentes nas águas residuárias

FONTE: Monteggia (2002) apud Mendonça (2004)

5.4. Qualidade das águas cinzas obtidas em alguns países

As características físicas, químicas e bacteriológicas das águas cinzas são influenciadas pela qualidade da água de abastecimento, pelo material que compõe a rede de distribuição onde podem ocorrer lixiviação, transporte de substâncias químicas e processos biológicos, como formação de biofilme nas paredes da tubulação e pelas atividades exercidas na residência.

Outro fator que está diretamente ligado à composição das águas cinzas é o comportamento do usuário. As características físicas, químicas e bacteriológicas das águas cinzas podem variar de local para local, onde os estilos de vida, os costumes, as instalações e as utilizações de produtos químicos são determinantes para a qualidade da água. Segundo Nsw Health (2002), a qualidade das águas cinzas varia de acordo com a localidade e nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes dos moradores.

Nolde (1999) relata que a qualidade das águas cinzas pode variar também dependendo do ponto de coleta de águas cinzas que está sendo utilizado como por exemplo, lavatório, chuveiro, máquina de lavar roupas, etc.

A temperatura ambiente também pode ser um fator relevante na composição das águas cinzas, pois em locais quentes as pessoas tendem a tomar mais banhos, ou ainda, os banhos serem mais demorados, o que leva a diluição dos componentes orgânicos e inorgânicos presentes. Além disso, a degradação dos compostos químicos e biológicos nos reservatórios de acumulação tende a ser mais rápida. Segundo Jordão e Pessoa (2005), temperaturas entre 18 a 38°C são consideradas ótimas para o balanço entre o oxigênio dissolvido e a atividade biológica.

A seguir, estão descritos alguns resultados de caracterização física, química e bacteriológica das águas cinzas obtidas em alguns países.

5.4.1. Características físicas

Partículas de terra, areia, cabelo e fibras de roupas são exemplos de fontes de material sólido. Turbidez e sólidos suspensos indicam o conteúdo de partículas e colóides que podem levar ao entupimento de sistemas de coleta, tratamento e distribuição de águas cinzas. No uso de sistemas de tratamento de águas cinzas deve-se verificar o risco de problemas relacionados a entupimento.

Os valores para medidas de turbidez em águas de lavagem de roupa variam muito durante os ciclos da máquina de lavar roupas. O primeiro ciclo, que é o de lavagem da roupa e retém o maior percentual de sujeira, apresenta valores de turbidez significativamente altos, se comparado com os ciclos de enxágüe.

Chistova-Boal et al (1996) notou em suas pesquisas que os valores mais altos de turbidez originaram-se de famílias com atividades intensas ao ar livre. Bazzarella (2005) relata que a turbidez e os sólidos em suspensão conferem um aspecto desagradável as águas cinzas. Além do aspecto desagradável a turbidez e os sólidos suspensos podem prejudicar a desinfecção das águas cinzas servindo como escudo aos microrganismos.

Na tabela 25 estão os resultados de turbidez, sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST) das águas cinzas obtidos em Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2002), Christova-Boal et al (1996), Almeida et al (1999), Jamrah et al (2004) e Burnat e Mahmoud (2004).

Tabela 25: Características Físicas das Águas Cinzas Obtidas em alguns Países

Referência	Fonte de água cinza	Local	Parâmetros físicos		
			Turbidez (uT)	ST (mg/L)	SST (mg/L)
Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2000)	Chuveiro/Banheira	EUA	-	250	120
	Lava roupas		-	1340	280
	Enxágüe de roupa		-	410	120
	Pia de cozinha		-	2410	720
	Lava louças		-	1500	440
Christova-Boal et al (1996)	Banheiro	Austrália	60-240	-	-
	Lavanderia		50-210	-	-
Almeida et al (1999)	Lavatório	Inglaterra	-	-	181
	Chuveiro		-	-	200
	Banheira		-	-	54
	Máquina de lavar		-	-	165
	Pia de cozinha		-	-	235
Jamrah et al (2004)	Chuveiro	Al-Mwaleh	307	800	410
		Al-Hail	539	1000	470
		Al-Khodh	278	250	180
	Lavanderia	Al-Mwaleh	439	4500	665
		Al-Hail	494	3150	120
		Al-Khodh	400	450	160
	Pia de cozinha	Al-Mwaleh	120	1250	925
		Al-Hail	168	750	305
		Al-Khodh	111	450	285
Burnat e Mahmoud (2004)	Misturada	Palestina	-	-	94-181

Fonte: Bazzarella (2005)

Obs: ST = Sólidos Totais

SST = Sólidos Suspensos Totais

Em termos gerais, observa-se na tabela 25 que nas pesquisas realizadas em alguns países, os efluentes provenientes da pia de cozinha e da máquina de lavar pratos apresentam maior concentração de sólidos suspensos totais. Esse é um parâmetro que deverá ser observado em sistemas de coleta e reúso de águas cinzas escuras. Já o efluente proveniente da lavanderia apresenta a maior concentração de sólidos dissolvidos totais.

Chistova-Boal et al (1996) salientam, ainda, que a temperatura das águas cinzas pode variar dentro do intervalo de 18-38°C. A temperatura alta deve-se ao uso de água morna para higiene pessoal. Gunther (2000) relata que um dos problemas em sistemas de tratamentos biológicos na Suécia são as baixas temperaturas ocorridas durante o inverno. Essas baixas temperaturas influenciam na ineficiência da atividade biológica e na diminuição do potencial de queda da condutividade do efluente.

5.4.2. Características químicas

Para demonstrar os resultados das análises químicas das águas cinzas obtidos em pesquisas internacionais, os parâmetros foram divididos em quatro grupos: compostos nitrogenados, compostos fosforados, compostos orgânicos e outros parâmetros como: pH, OD, condutividade, alcalinidade, dureza, cloreto e óleos e graxas.

A principal fonte de nitrogênio no esgoto doméstico é a urina. Shonning (2001) descreve que cerca de 80% do nitrogênio encontrado no esgoto doméstico é proveniente da urina. No caso das águas cinzas escuras, a maior concentração de nitrogênio provem do efluente da pia da cozinha. Na pesquisa realizada por Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2000), a concentração de nitrogênio total para efluentes proveniente da pia de cozinha foi de 74 mg/L.

Nas águas cinzas claras, o nitrogênio pode ser encontrado principalmente no efluente proveniente do chuveiro, onde pode haver presença de urina.

Segundo Grey & Becker (2002), as águas cinzas contribuem, em geral, com apenas 7,7% da carga de nitrogênio total, com 2,3% da carga de amônia e com 12,4% da carga de fósforo em uma residência.

Os resultados das características químicas, referentes aos compostos nitrogenados, encontrados nas águas cinzas em alguns países estão descritos na tabela 26. Na tabela 27 são apresentados outros parâmetros químicos.

Tabela 26: Características Químicas das Águas Cinzas Obtidas em alguns Países – Compostos Nitrogenados

Referência	Fonte de água cinza	Local	Parâmetros (mg/L)			
			N _{total}	NTK	NH ₃ -N	NO ₃ -N
Siegrist et al, (1976) apud Eriksson et al, (2000)	Chuveiro/Banheira	EUA	17	-	2	0,4
	Lava Roupas		21	-	0,7	0,6
	Enxague de roupa		6	-	0,4	0,4
	Pia de cozinha		74	-	6	0,3
	Lava Louças		40	-	4,5	0,3
Butler et al, (2005)	Lavatório	Inglaterra	-	-	0,16	0,7
		Malta	-	-	0,23	1,02
	Banheira e chuveiro	Inglaterra	-	-	1,5	0,36
		Malta	-	-	1,6	0,39
	Máquina de lavar roupa	Inglaterra	-	-	10	1,93
		Malta	-	-	10,5	1,98
	Pia de cozinha	Inglaterra	-	-	4,2	0,38
	Malta	-	-	3,68	0,33	
Christova-Boal et al, (1996)	Banheiro	Austrália	-	4,6-20	<0,1-15	-
	Lavanderia		-	1,0-40	<0,1-1,9	-
	Lavatório		-	-	0,3	6
Almeida et al, (1999)	Chuveiro	Inglaterra	-	-	1,2	6,3
	Banheira		-	-	1,1	4,2
	Máquina de lavar		-	-	2,0	2,0
	Pia de cozinha		-	-	0,3	5,8
			-	-	-	-
Jamrah et al, (2004)	Chuveiro	Al-Mwaleh	-	-	-	6,6
		Al-Hail	-	-	-	34,5
		Al-Khodh	-	-	-	45
	Lavanderia	Al-Mwaleh	-	-	-	<2,5
		Al-Hail	-	-	-	49
		Al-Khodh	-	-	-	2,6
	Pia de cozinha	Al-Mwaleh	-	-	-	3,2
		Al-Hail	-	-	-	26,8
	Al-Khodh	-	-	-	0,6	
Burnat e Mahmoud (2004)	Misturada	Palestina	-	16-17	7-12	0-1,3

Fonte: Bazzarella (2005)

Obs: N_{total} – Nitrogênio Total / NTK – Nitrogênio Total Kjeldhal / NH₃-N – Nitrogênio Amoniacal / NO₃-N – Nitrato

Tabela 27: Características Químicas das Águas Cinzas Obtidas em alguns países – Parâmetros Diversos

Referência	Fonte de água cinza	Local	Parâmetros químicos						
			pH	OD	Condutividade (µS/cm)	Alcalinidade (mg/L)	Dureza (mg/L)	O &G (mg/L)	Cloreto (mg/L)
Christova-Boal et al (1996)	Banheiro	Austrália	6,4-8,1	-	82-250	24-43	-	37-78	9,0-18
	Lavatório		9,3-10	-	190-1400	83-200	-	8,0-35	9,0-88
Jamrah et al, (2004)	Chuveiro	Al-Mwaleh	7,88	2,3	1171	19	-	-	-
		Al-Hail	7,69	2,6	1584	17	-	-	-
		Al-Khodh	6,77	2,8	1362	9	-	-	-
	Lavanderia	Al-Mwaleh	8,04	2,5	392	42	-	-	-
		Al-Hail	8,87	2,7	311	27	-	-	-
		Al-Khodh	8,08	3,5	1755	16	-	-	-
	Pia de cozinha	Al-Mwaleh	7,69	2,8	1038	20	-	-	-
		Al-Hail	7,06	2,3	1605	15	-	-	-
Al-Khodh		6,68	3,9	1708	5	-	-	-	
Burnat e Mahmoud (2004)	Misturada	Palestina	6,6-7,4	5,24-6,5	-	-	-	-	180-220

Fonte: Bazzarella (2005)

Obs: O&G – Óleos e Graxas / OD – Oxigênio Dissolvido

O pH das águas cinzas depende do ponto de coleta do efluente e também do pH da água de abastecimento. Produtos químicos como sabão podem interferir no pH das águas cinzas, deixando-as com pH alcalino. Pode-se observar na tabela 27 que o parâmetro pH obtido nas pesquisas internacionais de águas cinzas apresentou-se próximo ao pH neutro em efluentes provindos do chuveiro e da pia da cozinha e alcalino em efluentes provindos da lavanderia e do lavatório.

Segundo Almeida (1999), as quantidades de oxigênio dissolvido em águas cinzas variam, nas concentrações de 0 a 5,8 mg/L. Na tabela 27 observa-se que as concentrações de oxigênio dissolvido variou de 2,3 a 6,5 mg/L.

Já a concentração de óleos e graxas tiveram uma variação de 8,0 a 35 mg/L para efluentes provindos do lavatório e uma variação de 37 a 78 mg/L para efluentes provindos do chuveiro. As principais fontes de óleos e graxas nas águas cinzas são os óleos e gorduras utilizados no preparo de alimentos, quando são misturados águas provenientes da pia da cozinha, resíduos presentes no corpo e nas roupas, oriundos da transpiração humana.

Os detergentes são fontes primárias de fosfato em países que não possuem restrições quanto a este parâmetro. Segundo Almeida (1999), concentrações entre 23 e 80 mg/L de fósforo podem ser encontrados em águas que apresentam detergentes. Porém, em regiões que os detergentes são utilizados com restrições ao fósforo, as concentrações variam entre 4 e 14 mg/L.

Nas águas cinzas as concentrações de fósforo total e de fosfato são geralmente mais altas em águas provenientes da máquina de lavar roupas do que em águas provenientes dos chuveiros. Almeida (1999) afirma, ainda, que a variação de fósforo total em águas provenientes da máquina de lavar roupas é 0,1 a 57 mg/L

e para águas provenientes do chuveiro é de 0,1 a 2,1 mg/L. A tabela 28 mostra o consumo *per capita* anual de detergentes, em alguns países.

Tabela 28: Consumo *Per Capita* Anual de Detergentes em Alguns Países

Produto	País	Consumo <i>per capita</i> Anual (Kg.pessoa.ano)
Detergentes industriais e residenciais	Dinamarca	19,8
Detergentes residenciais	Suécia	0,5
Detergentes de lavagem de roupas	Dinamarca	7,5
Detergentes de lavagem de roupas	Finlândia	5,2
Detergentes de lavagem de roupas	Noruega	5,2
Detergentes de lavagem de roupas	Suécia	5,5
Detergentes de lavagem de roupas	EUA	3,7
Xampu e condicionadores	Dinamarca	2,3
Xampu	Suécia	0,9 – 1,1
Sabão	Suécia	0,9
Amaciantes	Europa	6,0

Fonte: Eriksson et al (2002)

As principais fontes de fósforo nas águas cinzas são os detergentes e os sabões contendo fosfatos. Isso explica o fato de que os valores de fósforo encontrados nas amostras de águas cinzas que provem da máquina de lavar roupas são maiores que os valores encontrados em amostras do chuveiro e do lavatório. Na tabela 29 são apresentados os resultados dos compostos fosfatados das águas cinzas em alguns países.

Tabela 29: Características Químicas das Águas Cinzas Obtidas em alguns Países – Compostos Fosforados

Referência	Fonte de água cinza	Local	Parâmetros (mg/L)	
			Fósforo total	Fosfato
Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2002)	Chuveiro/Banheira	EUA	2	1
	Lava Roupas		57	15
	Enxague de roupa		21	4
	Pia de cozinha		74	31
	Lava Louças		68	32
Butler et al (2005)	Lavatório	Inglaterra	-	30
		Malta	-	44
	Banheira e chuveiro	Inglaterra	-	0,89
		Malta	-	0,98
	Máquina de lavar roupa	Inglaterra	-	31
		Malta	-	32
	Pia de cozinha	Inglaterra	-	14
Malta		-	12	
Christova-Boal et al (1996)	Banheiro	Austrália	0,11-1,8	-
	Lavanderia		0,062-42	-
Almeida et al (1999)	Lavatório	Inglaterra	-	13,3
	Chuveiro		-	19,2
	Banheira		-	5,3
	Máquina de lavar		-	21,0
	Pia de cozinha		-	26,0
Burnat e Mahmoud (2004)	Misturada	Palestina	15-17	4,5-5,2

Fonte: Bazzarella (2005)

As concentrações de parâmetros como $DBO_{5,20}$, DQO e concentração de nutrientes (fósforo e nitrogênio) são de extrema importância para a escolha do processo de tratamento das águas cinzas. Outro fator importante é tempo de armazenamento das águas cinzas. Segundo Eriksson et al (2002), estudos demonstraram variações na qualidade da água reservada. Para armazenamento de águas cinzas após 48h, ocorre a depleção total do oxigênio dissolvido.

O armazenamento se faz necessário em algum ponto do sistema de coleta e tratamento de águas cinzas, seja ele antes do tratamento ou após o tratamento. Dixon et al (1999) relata que as águas cinzas armazenadas antes do tratamento, proporcionam a vantagem de que alguns sólidos primários sejam retidos antes de chegarem ao sistema de tratamento adotado. A sedimentação de sólidos primários ocorre principalmente em águas cinzas escuras. Entretanto, existe o risco da geração de maus odores e do crescimento de microrganismos nos reservatórios de armazenamento. A fim de minimizar esses problemas, é aconselhável que o período de estocagem das águas cinzas antes do tratamento seja o mais curto possível.

As águas cinzas armazenadas, na sua forma bruta, passam por significantes mudanças de qualidade. Dixon et al (1999) relatam quatro principais processos que podem ocasionar essas mudanças:

- ✓ sedimentação de partículas suspensas;
- ✓ depleção do oxigênio dissolvido, dominantes nas primeiras horas de estocagem;
- ✓ reaeração do oxigênio dissolvido na superfície da água (comandado pela variação de temperatura) e;
- ✓ liberação da DQO solúvel devido à degradação anaeróbia do material particulado sedimentado.

A matéria orgânica e inorgânica presentes nas águas cinzas é bastante significativa, mesmo não havendo contribuição dos vasos sanitários. A maior parte da matéria orgânica encontrada nas águas cinzas é oriunda de resíduos corporais, cabelo, sabão, óleos e graxas, etc. Já a matéria inorgânica provém, principalmente, dos produtos químicos e detergentes utilizados para limpeza. Na tabela 30 estão relacionados os resultados obtidos com a análise dos compostos orgânicos em alguns países.

Tabela 30: Características Químicas das Águas Cinzas Obtidas em alguns Países – Compostos Orgânicos

Referência	Fonte de água cinza	Local	Parâmetros (mg/L)	
			DBO _{5,20}	DQO
Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2002)	Chuveiro/Banheira	EUA	170	-
	Máquina de lavar roupas		380	-
	Enxágüe de roupa		150	-
	Pia de cozinha		1460	-
	Lava Louças		1040	-
Butler et al (2005)	Lavatório	Inglaterra	148	-
		Malta	215	-
	Banheira e chuveiro	Inglaterra	250	-
		Malta	274	-
	Máquina de lavar roupas	Inglaterra	662	-
		Malta	682	-
	Pia de cozinha	Inglaterra	756	-
Malta		669	-	
Christova-Boal et al (1996)	Banheiro	Austrália	76-200	-
	Lavanderia		48-290	-
Almeida et al (1999)	Lavatório	Inglaterra	-	298
	Chuveiro		-	501
	Banheira		-	210
	Máquina de lavar roupas		-	1815
	Pia de cozinha		-	644
Jamrah et al (2004)	Chuveiro	Al-Mwaleh	60	116
		Al-Hail	156	695
		Al-Khodh	72	174
	Lavanderia	Al-Mwaleh	212	340
		Al-Hail	136	278
		Al-Khodh	76	91
	Pia de cozinha	Al-Mwaleh	25	60,9
		Al-Hail	77,5	156
	Al-Khodh	28,2	35,5	
Burnat e Mahmoud (2004)	Misturada	Palestina	222-375	600-850

Fonte: Bazzarella (2005)

Obs: DBO – Demanda Biológica de Oxigênio / DQO – Demanda Química de Oxigênio

Observa-se na tabela 30 que os valores de DBO encontrados por Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2002) são maiores nos efluentes provenientes da pia da cozinha, máquina de lavar louças e da máquina de lavar roupas. Já os valores de DQO encontrados por Almeida et al (1999) são maiores nos efluentes provenientes da máquina de lavar roupas e da pia de cozinha. Na pesquisa realizada por Burnat e Mahmoud (2004), os valores de DBO para a mistura das águas cinzas oscilaram entre 222 e 375 mg/L e os valores de DQO oscilaram entre 600 e 850 mg/L.

5.4.3. Características microbiológicas

Microrganismos patogênicos, tais como vírus, bactérias, protozoários e helmintos presentes nas águas cinzas podem trazer riscos de contaminação em usuários que estejam expostos às águas residuárias não tratadas. Estes microrganismos podem ser introduzidos nas águas cinzas através da lavagem de mão, do banho e da lavagem de fraldas.

Escherichia Coli é comumente utilizada como um indicador de contaminação fecal. Adicionalmente, alguns vírus, como por exemplo, enterovíroses, podem ser encontrados em águas contaminadas. Dentre os microrganismos relevantes, tem-se bactérias como a *Salmonella* e parasitas como o *Ascaris lumbricoides*, entre outros (WHO, 2000a).

Segundo Almeida (1999), embora a urina não deveria estar presente em águas cinzas, é comum encontrar a presença de urina em águas provenientes do chuveiro. A urina é geralmente estéril e inofensiva, mas algumas infecções podem ser causadas por patógenos presentes na urina. As três principais infecções urinárias são provocadas por *Schistosomiasis* (*Schistosoma haematobium*), *Typhoid* (*Salmonella typhi*) e *Leptospirosis* (*Leptospira*). Na tabela 31 observa-se os valores

máximos e mínimos de bactérias encontradas em águas cinzas provenientes de cozinha, lavagem de roupas e chuveiro.

Tabela 31: Valores Máximos e Mínimos de Bactérias encontradas nas águas cinzas de alguns pontos de amostragem

Bactérias	Origem das Águas Cinzas	Valores Máximos e Mínimos encontrados
coliformes termotolerantes	Pia da cozinha	$1,3 \times 10^5 - 2,5 \times 10^8$ por mL
coliformes totais	Pia da cozinha	$9,4 \times 10^4 - 3,8 \times 10^8$ por 100 mL
estreptococcus fecal	Pia da cozinha	5,150 - $5,5 \times 10^8$ por 100 mL
coliformes termotolerantes	Lavagem de roupas	$9 \times 10^4 - 1,6 \times 10^4$ por 100 mL
coliformes totais	Lavagem de roupas	$5,6 \times 10^5 - 8,9 \times 10^5$ por 100 mL
estreptococcus fecal	Lavagem de roupas	$10^6 - 1,3 \times 10^6$ por 100mL
coliformes termotolerantes	chuveiro	3×10^3 por 100 mL
coliformes totais	chuveiro	$70 - 2,4 \times 10^7$ por 100 mL
estreptococcus fecal	chuveiro	$1 - 7 \times 10^4$ por 100 mL

Fonte: Eriksson et al (2002)

Segundo Eriksson et al (2002) em estudos com *Cândida Albicans* e *Staphylococcus Aureus*, os quais são microrganismos encontrados comumente na boca, nariz e garganta de humanos, não foram identificados em águas cinzas. Outros microrganismos examinados como *Campylobacter spp*, *Cryptosporidium*, *Giárdia* e *Salmonella spp* também não foram encontrados.

O autor afirma, ainda, que foram encontrados *Salmonella typhimurium*, *Shigella dysenteriae* e *poliovirus* em águas cinzas. Nenhum re-crescimento foi detectado, mas a concentração de *Salmonella* permaneceu estável durante dois dias. A concentração de *Shigella* diminuiu mais rapidamente, enquanto o *poliovirus* teve uma taxa de sobrevivência semelhante à da *Salmonella*. Também foi verificado que coliformes termotolerantes não cresceram no sistema, porém essas bactérias podem sobreviver e aparecer após 14 dias de estocagem (ERIKSSON et al, 2002).

Segundo Ottoson & Stenstrom (2003), embora as águas cinzas não possuam contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microrganismos patogênicos, algumas atividades como limpeza das mãos após o

uso dos toalete, lavagem de roupas fecalmente contaminadas ou o próprio banho são algumas das possíveis fontes desses agentes nas águas cinzas. Segundo Rose et al (1991), a quantidade de bactérias aeróbias nas águas cinzas, como os coliformes termotolerantes, aumenta muito durante as primeiras 48 horas de estocagem e depois fica relativamente estabilizada pelos próximos 12 dias.

As águas cinzas contêm níveis de coliformes termotolerantes e outras bactérias que tornam inadequado o seu uso para a descarga de vasos sanitários, devido ao risco de contato humano direto. Desta forma, o tratamento das águas cinzas e principalmente a desinfecção são passos fundamentais para o reúso das águas cinzas. March, Gual e Simonet (2001) relatam que a segurança e a qualidade da água a ser utilizada dependem, principalmente, da desinfecção da água.

Com a correta desinfecção faz-se a inativação dos microorganismos patogênicos presentes na água. A desinfecção tem caráter corretivo e preventivo, isso porque mesmo quando a água é tratada ela pode ser contaminada ao longo do percurso até o consumo final e a desinfecção auxilia na prevenção de proliferação de limo em reservatórios.

Uma cloração constante pode causar problemas por excesso (odor de desinfetante e desperdício de produto) ou falta (armazenamento de águas cinzas não desinfetadas por mais de 24 horas pode resultar em odores ofensivos). Por isso é de extrema importância o controle da dosagem de cloro no sistema de tratamento de águas cinzas.

5.5. Qualidade das águas cinzas obtidas em algumas pesquisas no Brasil

Segundo Philippi et al (2005), em uma pesquisa realizada em Ratone, bairro de Florianópolis, Santa Catarina foram caracterizadas as águas cinzas provenientes do lavatório, do chuveiro e do tanque de lavar roupas. Esta pesquisa foi

desenvolvida utilizando uma residência unifamiliar com 5 habitantes, os quais geravam cerca de 1000L/dia de efluente. Já Fiori, Fernandes e Pizzo (2004) realizaram a caracterização de águas cinzas na cidade de Passo Fundo em Porto Alegre – RG. Foram caracterizadas amostras de águas cinzas de três apartamentos residenciais. Os apartamentos foram classificados da seguinte maneira: com criança, com animais e sem crianças e sem animais. As amostras foram coletadas das caixas sifonadas de cada banheiro onde eram armazenadas águas provenientes do lavatório e do chuveiro.

Fonini, Fernandes & Pizzo (2004) pesquisaram a caracterização das águas cinzas num complexo esportivo universitário na cidade de Passo Fundo em Porto Alegre – RG. As amostras foram retiradas das caixas sifonadas dos banheiros masculinos e dos banheiros femininos e foram analisadas separadamente. Bazzarella (2005) caracterizou as águas cinzas provenientes dos lavatórios, chuveiros, pia de cozinha, tanque e da máquina de lavar roupas de um sistema experimental instalado na Universidade Federal do Espírito Santo em Vitória.

Borges (2003) caracterizou as águas cinzas provenientes das caixas sifonadas dos banheiros de edifícios multi e unifamiliares de Curitiba. Foram coletadas amostras de 26 caixas sifonadas as quais recebiam água proveniente de chuveiros, lavatórios e banheira.

Nas tabelas 32 a 36 são apresentados os resultados obtidos na caracterização das águas cinzas para as pesquisas citadas acima.

Tabela 32: Características Físicas das Águas Cinzas para o Brasil

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Parâmetros físicos			
				Cor (uC)	Turbidez (uT)	ST (mg/L)	SST (mg/L)
Borges (2003)	Banheiro	Curitiba	Caixa sifonada	-	2,0-189	-	-
	Lavatório			-	158	500	146
	Chuveiro			-	109	437	103
Bazzarella (2005)	Tanque	Vitória Espirito Santo	Estudo experimental – reservatório(s)	-	299	1862	221
	Máquina de lavar roupas			-	58	1004	53
	Pia da cozinha			-	250	2160	336
	Mistura			-	166	1536	134
Philippi (2005)	Mistura	Florianópolis	Estudo experimental – reservatório(s)	379	-	-	323
Fiori; Fernandes e Pizzo (2004)	Apartamento com crianças	Passo Fundo / Porto Alegre	Caixa sifonada	-	340	-	-
	Apartamentos com animais			-	373	-	-
	Apartamento sem crianças e sem animais			-	297	-	-
Fonini; Fernandes e Pizzo (2004)	Banheiro masculino	Passo Fundo / Porto Alegre	Caixa sifonada	Ausente	0,8	-	54
	Banheiro Feminino			Ausente	1,3	-	87

Tabela 33: Características Químicas das Águas Cinzas para o Brasil – Compostos Nitrogenados

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Parâmetros (mg/L)			
				NTK	NH ₃ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N
Bazzarella (2005)	Lavatório	Vitória Espírito Santo	Estudo experimental – reservatório(s)	5,6	0,5	0,57	-
	Chuveiro			3,4	0,8	0,46	-
	Tanque			10,3	3,8	0,71	-
	Máquina de lavar			3,6	1,5	0,46	-
	Cozinha			13,7	2,5	0,65	-
	Misturada			6,6	1,9	0,46	-
Fiori; Fernandes e Pizzo (2004)	Apartamento com crianças	Passo Fundo / Porto Alegre	Caixa sifonada	-	-	27,5	<0,003
	Apartamentos com animais			-	-	1,52	0,027
	Apartamento sem crianças e sem animais			-	-	4,09	0,489

Tabela 34: Características Químicas das Águas Cinzas para o Brasil – Compostos Fosforados

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Parâmetros (mg/L)
				Fósforo total
Borges (2003)	Banheiro	Curitiba	Caixa sifonada	0,51-38,4
	Lavatório			0,6
Bazzarella (2005)	Chuveiro	Vitória Espírito Santo	Estudo experimental – reservatório(s)	0,2
	Tanque			17,7
	Máquina de lavar			14,4
	Cozinha			9,1
	Misturada			9,0
Fiori; Fernandes & Pizzo (2004)	Apartamento com crianças	Passo Fundo / Porto Alegre	Caixa sifonada	0,43
	Apartamentos com animais			0,31
	Apartamento sem crianças e sem animais			1,79

Tabela 35: Características Químicas das Águas Cinzas para o Brasil – Compostos Orgânicos

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local de coleta	Parâmetros (mg/L)	
				DBO _{5,20}	DQO
Borges (2003)	Banheiro	Curitiba	Caixa sifonada	17-287	-
	Lavatório			265	653
	Chuveiro			165	582
Bazzarella (2005)	Tanque	Vitória	Estudo experimental – reservatório(s)	570	1672
	Máquina de lavar	Espírito Santo		184	521
	Cozinha			633	1712
	Misturada			571	857
Philippi (2005)	Mistura	Florianópolis	Estudo experimental – reservatório(s)	387	451
Fiori; Fernandes e Pizzo (2004)	Apartamento com crianças	Passo Fundo / Porto Alegre	Caixa sifonada	258	470
	Apartamentos com animais			174	374
	Apartamento sem crianças e sem animais			384	723
Fonini; Fernandes e Pizzo (2004)	Banheiro masculino	Passo Fundo / Porto Alegre	Caixa sifonada	20	44
	Banheiro Feminino			96	234

Tabela 36: Características Químicas das Águas Cinzas para o Brasil – Parâmetros Diversos

Referência	Fonte de água cinza	Cidade	Local	Parâmetros químicos						
				pH	OD	Condutividade (µS/cm)	Alcalinidade (mg/L)	Dureza (mg/L)	O & G (mg/L)	Cloreto (mg/L)
Borges (2003)	Banheiro	Curitiba	Caixa sifonada	6,7-8,5	2,6-5,9	-	-	-	-	-
	Lavatório			8,03	6,9	116	88,0	44,2	81,9	10,1
Bazzarella (2005)	Chuveiro	Vitória Espírito Santo	Estudo experimental – reservatório(s)	7,34	6,6	124	38,3	30,1	95,2	20,0
	Tanque			8,85	7,1	938	206,9	38,5	140,6	76,3
	Maquina de lavar			9,06	7,1	524	74,2	38,7	24,2	23,6
	Cozinha			5,14	4,2	528	1,9	12,1	176,4	130,0
	Misturada			7,05	6,5	430	114,7	21,2	101,3	64,0
Philippi (2005)	Mistura	Florianópolis	Estudo experimental – reservatório(s)	7,1	-	-	-	-	-	-
Fiori; Fernandes e Pizzo (2004)	Apartamento com crianças	Passo Fundo / Porto Alegre	Caixa sifonada	7,1	-	126	6,7	5,7	18,2	26,9
	Apartamentos com animais			6,9	-	106	5,0	13,6	14,8	14,7
	Apartamento sem crianças e sem animais			7,1	-	222	8,2	10,7	26,7	29,4
Fonini; Fernandes e Pizzo (2004)	Banheiro masculino	Passo Fundo / Porto Alegre	Caixa sifonada	8,4	-	-	-	122	-	-
	Banheiro Feminino			8,2	-	-	-	130	-	-

Observa-se na tabela 32 que de modo geral, nas pesquisas realizadas no Brasil, foram encontradas altas concentrações de turbidez nas águas cinzas, exceto os resultados encontrados por Fonini; Fernandes e Pizzo (2004). Nas pesquisas internacionais (tabela 25) as concentrações de turbidez nas águas cinzas também foram elevadas. Observa-se ainda que a concentração de sólidos dissolvidos totais encontrados em efluentes provenientes da pia de cozinha foram maiores para o Brasil, segundo dados obtidos por Bazzarella (2005).

Na tabela 33 observam-se concentrações elevadas de Nitrogênio Total Kjeldhal nas amostras coletadas do tanque e da pia da cozinha, sendo seus valores 10,3 mg/L e 13,7 mg/L, respectivamente. Nas pesquisas internacionais o Nitrogênio Total Kjeldhal apresentou-se entre 4,6 e 20 mg/L para efluentes provindos do banheiro e entre 1,0 e 40 mg/L para efluentes provindos da lavanderia. Já o parâmetro fósforo apresentou variação entre 0,2 mg/L e 38,4 mg/L para pesquisas nacionais e 0,062 mg/L e 74 mg/L para as pesquisas internacionais. Essa variação demonstra que a concentração de fósforo pode variar dependendo do ponto de coleta da amostra numa residência. Observa-se na tabela 34 que a concentração de fósforo tende a ser maior em efluentes provenientes da máquina de lavar roupas, do tanque e da pia de cozinha.

As concentrações de DBO e DQO nas águas cinzas, de modo geral, são elevadas nos efluentes provindos da pia da cozinha. Para o Brasil, o valor da DBO para a pia de cozinha foi de 633 mg/L e DQO de 1712 mg/L (tabela 35). Na pesquisa realizada por Butler et al (1995), a DBO para a pia da cozinha foi de 756 mg/L, na Inglaterra e 669 mg/L em Malta. O efluente provindo do tanque também apresentou segundo Bazzarella (2005) concentrações elevadas de DBO e DQO, sendo 571 mg/L e 1672 mg/L respectivamente. Em efluentes provindos da máquina

de lavar roupas, a concentração de DBO e DQO também costuma ser bastante elevado, principalmente em amostras coletadas do primeiro ciclo da máquina de lavar roupas.

Na tabela 36 observa-se que o parâmetro pH obtido nas pesquisas de águas cinzas no Brasil apresentou-se alcalino para efluentes provindos do lavatório, do tanque, da máquina de lavar e próximos ao pH neutro em efluentes provindos do chuveiro. Já o pH encontrado por Bazzarella (2005) para efluentes provindos da pia de cozinha apresentou-se ácido, o que difere dos resultados encontrados por Jamrah et al (2004) que foram entre 6,68 e 7,69. A concentração de oxigênio dissolvido encontrada em Bazzarella (2005) mostrou-se entre 4,2 mg/L e 7,1 mg/L, resultados próximos aos encontrados por Burnat e Mahmoud (2004) que foram entre 5,24 mg/L e 6,5 mg/L.

A dureza das águas cinzas apresentam-se, de modo geral, baixa em todas as pesquisas, o que significa que as águas cinzas são classificadas como branda ou mole. Von Sperling (2005), ressalva que as águas com dureza elevada ou águas classificadas como duras reduzem a formação de espuma, proporcionando maior consumo de sabão, e podem causar incrustações em tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores.

A concentração de óleos e graxas para as pesquisas realizadas no Brasil tiveram valores elevados em efluentes provindos do tanque e da pia de cozinha, conforme tabela 36. Para o chuveiro Bazzarella (2005) encontrou um valor médio de 95,2 mg/L. Na pesquisa realizada por Christova-Boal et al (1996), o valor encontrado para o chuveiro variou entre 37 e 78 mg/L. Esses valores comprovam que as principais fontes de óleos e graxas nas águas cinzas são os óleos e gorduras

utilizados no preparo de alimentos e os resíduos presentes no corpo e nas roupas, oriundos da transpiração humana.

A contaminação fecal nas águas cinzas podem decorrer de diferentes motivos, como a limpeza das mãos após o uso do toalete, lavagem de roupas e alimentos fecalmente contaminados ou ainda do banho. Na caracterização de águas cinzas realizada por Bazzarella (2005), amostras coletadas do chuveiro apresentaram maior concentração de coliformes totais e E. coli. Em Borges (2003) a concentração de coliformes totais e coliformes termotolerantes também foi representativa para amostras coletadas do chuveiro. Foram encontrados valores entre $1,6 - 5,1 \times 10^8$ para coliformes totais e $1,6 - 2,0 \times 10^7$ para coliformes termotolerantes. Na tabela 37 verifica-se alguns resultados de coliformes totais e E. coli encontrados na pesquisa realizada por Bazzarella (2005).

Tabela 37: Características Microbiológicas das Águas Cinzas para o Brasil

Bactérias	Origem das Águas Cinzas	Valores Médios encontrados
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Lavatório	$1,35 \times 10^2$
	Chuveiro	$3,95 \times 10^4$
	Tanque	$2,06 \times 10^2$
	Máquina de Lavar Roupas	$5,37 \times 10^0$
	Cozinha	$1,47 \times 10^3$
	Misturada	$6,14 \times 10^4$
E. coli (NMP/100mL)	Lavatório	$1,01 \times 10^1$
	Chuveiro	$2,63 \times 10^4$
	Tanque	$2,87 \times 10^1$
	Máquina de Lavar Roupas	$2,73 \times 10^1$
	Cozinha	$6,47 \times 10^2$
	Misturada	$3,25 \times 10^4$

Fonte: Bazzarella (2005)

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Sistema experimental para a coleta das águas pluviais

Para a coleta das águas pluviais foi construído um sistema experimental, com o objetivo de coletar as águas pluviais, caracterizá-las, tratá-las e verificar a qualidade obtida após tratamento. O sistema experimental foi construído no CTCC – Centro de Técnicas de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.

Os motivos da instalação do sistema nesse edifício foram:

- ✓ fácil acesso aos coletores verticais de água pluvial;
- ✓ condições satisfatórias do telhado, calhas e condutores;
- ✓ localização próxima à marginal do Rio Pinheiros, onde o tráfego automobilístico é bastante intenso e a região é densamente arborizada, com frequência de pequenos animais e pássaros;
- ✓ facilidade de acesso ao local do experimento para manutenção e manuseio dos equipamentos.

O sistema experimental de coleta de águas pluviais era constituído pelos seguintes componentes: condutores horizontais (calhas) e verticais, sistema de peneira para retirada de folhas e galhos e reservatórios de acumulação de águas pluviais. O sistema era munido de dois reservatórios de polietileno com capacidade de 500 litros cada e estavam ligados por dutos comunicantes. Não havia espaço físico suficiente para a instalação de reservatórios com maior capacidade.

Para evitar que o material sedimentado nos reservatórios de acumulação se misture com as águas pluviais, um amortecedor de ondulações foi instalado na entrada de água do reservatório. A foto 1 mostra o sistema de acumulação de águas pluviais.



Foto 1: Reservatório de acumulação de águas pluviais

FONTE: May (2004)

O sistema funcionava da seguinte maneira: as águas pluviais eram coletadas de um telhado de 82m² de área. Após passar pelo telhado, as águas escoavam pelas calhas do edifício e passavam por uma peneira de malha de 0,28mm para a retirada de folhas e galhos. Optou-se pelo uso deste modelo de peneira, devido a este produto já ser comercializado. Em seguida, as águas eram retidas nos reservatórios de acumulação. Na figura 22 observa-se o sistema de peneira utilizado para a retirada de folhas e galhos do sistema de coleta de águas pluviais.

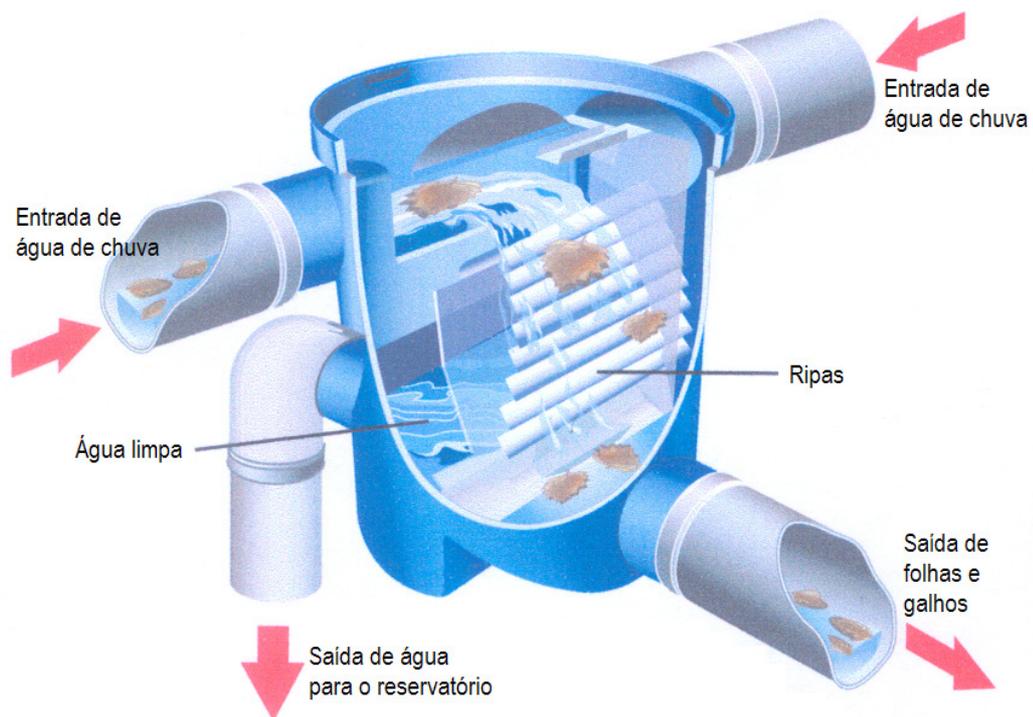


Figura 22: Sistema de peneira utilizado para a retirada de folhas e galhos das águas pluviais

Fonte: 3PTéchnik

6.2. Sistema experimental de tratamento das águas pluviais

Para o tratamento das águas pluviais, retidas nos reservatórios de acumulação, foi utilizado um sistema de filtração com filtro de areia de alta taxa e sistema de desinfecção com hipoclorito de sódio. Na figura 23 verifica-se o esquema do sistema de tratamento de águas pluviais.

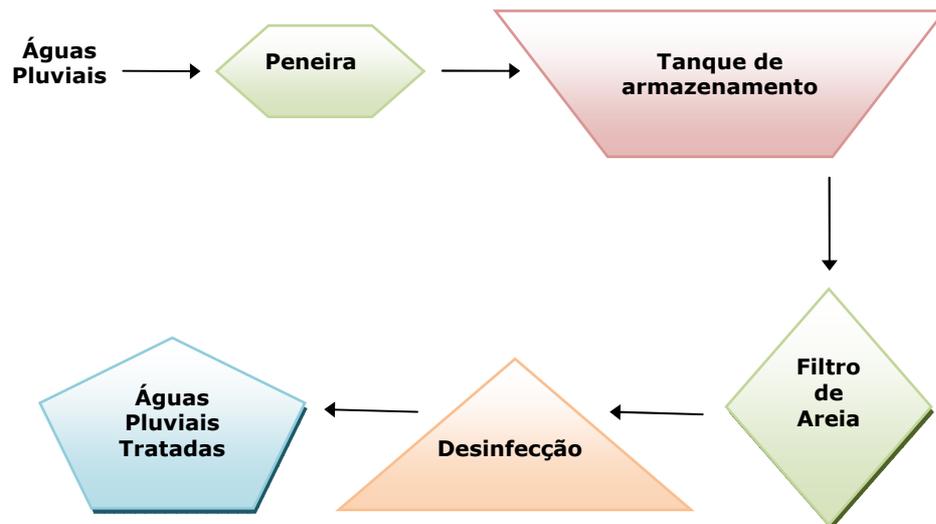


Figura 23: Esquema do sistema de tratamento das águas pluviais

Segundo Libânio (2005), a filtração constitui-se no processo que tem por função primordial a remoção das partículas responsáveis pela turbidez, cuja presença reduz a eficácia da desinfecção na inativação dos microrganismos patogênicos.

A classificação dos filtros obedece a alguns aspectos fundamentais como taxa de filtração, material filtrante, profundidade do filtro e sentido de escoamento. Pode-se também classificar a filtração quanto ao tipo de meio filtrante (granular ou poroso, simples ou múltiplos), quanto à natureza biológica ou físico-química do processo purificador, entre outros. Na figura 24 mostra-se a classificação da filtração no tratamento de água para abastecimento público.

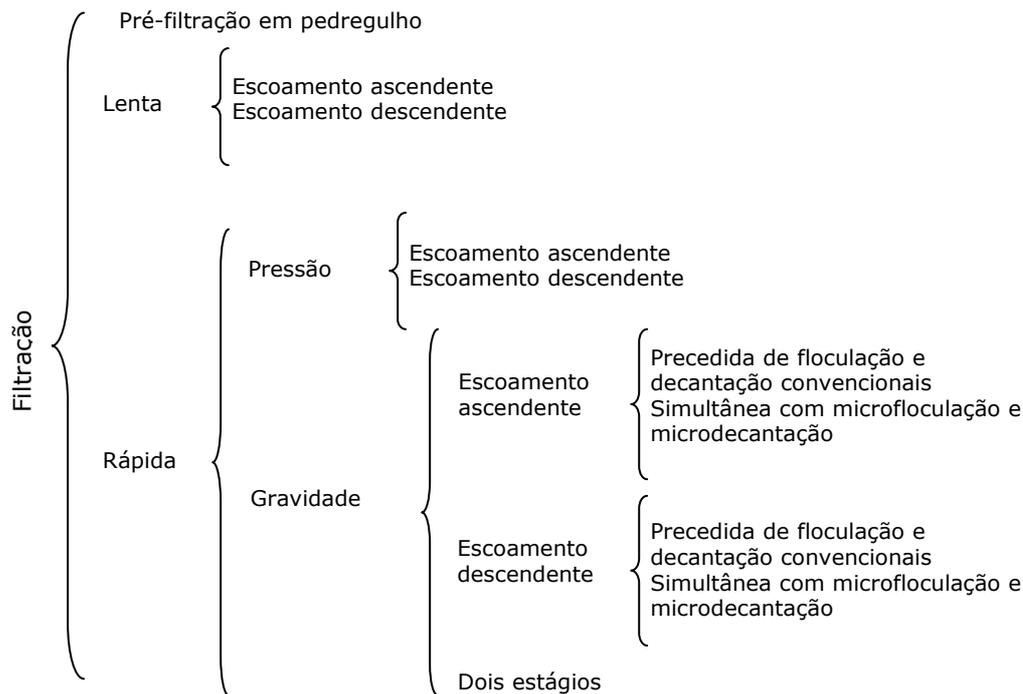


Figura 24: Classificação da filtração no tratamento das águas de abastecimento

Fonte: Libânio (2005)

Para a filtração das águas pluviais foi utilizado um filtro rápido de pressão de escoamento descendente. Conforme especificações do manual de instruções do produto, o filtro utilizado para o tratamento das águas pluviais apresenta uma taxa de filtração nominal de $1440 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, porém foi utilizada uma taxa efetiva de $872 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. O meio filtrante era composto de areia com granulometria de 0,45mm a 0,55mm com coeficiente de não uniformidade inferior a 1,6 e altura do meio filtrante de 52cm. Acoplado ao filtro, uma bomba do tipo auto-escorvante com vazão de $3,3 \text{ m}^3/\text{h}$ e potência de $\frac{1}{3} \text{ cv}$ levava as águas pluviais do reservatório de acumulação ao sistema de filtração. Na foto 2 são apresentados o filtro de pressão e a bomba auto-escorvante utilizados para o tratamento das águas pluviais.



Foto 2: Vista do filtro de areia e da bomba auto-escorvante utilizados para filtrar as águas pluviais

Optou-se pela escolha deste tipo de filtro para o tratamento das águas pluviais devido a:

- ✓ rápida instalação;
- ✓ necessidade de pouco espaço físico;
- ✓ fácil operação e manutenção;
- ✓ possibilidade de desmonte para posterior reaproveitamento;
- ✓ custo relativamente baixo.

Segundo Libânio (2005), a desinfecção das águas destinadas ao consumo humano pode ser realizada basicamente por dois grupos de desinfetantes: agentes químicos e agentes físicos. Os agentes químicos constituem compostos com potencial de oxidação como cloro e seus compostos, dióxido de cloro e ozônio, e são os mais empregados no tratamento de água.

Além destes, peróxido de hidrogênio, ácido peracético, bromo, iodo e permanganato de potássio constituem outros agentes químicos. Os agentes físicos, por sua vez, apresentam ação referenciada na energia de radiação, destacando-se a radiação UV, a radiação gama, radiação solar e, a nível domiciliar, a fervura. Na tabela 38 mostra-se o potencial de oxidação de alguns dos agentes químicos utilizados para a desinfecção de água.

Tabela 38: Potencial de Oxidação de alguns Desinfetantes Químicos

Composto	Fórmula	Potencial de oxidação (V)
Ozônio	O ₃	2,07
Dióxido de cloro	ClO ₂	1,91
Cloro	Cl ₂	1,36
Bromo	Br ₂	1,09
Iodo	I ₂	0,54

Fonte: Reiff (1993) apud Libânio (2005)

Como mostrado, o cloro é um agente de oxidação que se apresenta em termos medianos se comparado aos outros agentes desinfetantes. Libânio (2005) afirma, ainda, que nos sistemas públicos de abastecimento de água, procura-se definir qual processo de desinfecção deve ser adotado, buscando-se a consecução dos seguintes objetivos:

- ✓ máximo desempenho do sistema;
- ✓ menor custo global;
- ✓ atendimento ao padrão de potabilidade vigente e/ou às condições de segurança sanitária, visando minimizar os riscos de transmissão de doenças;
- ✓ minimização da formulação de subprodutos com possíveis efeitos deletérios à saúde humana;
- ✓ máxima eficiência do desinfetante, considerando-se a amplitude de variação possível das características das águas e do tempo de contato, este decorrente das inevitáveis variações de vazão afluente à estação de tratamento.

Outros aspectos como infra-estrutura disponível na região, restrições socioeconômicas relativas à implantação, operação e manutenção dos sistemas de desinfecção e as características da água a ser tratada, também são considerados na escolha do desinfetante a ser utilizado no tratamento de água para consumo humano.

A eficiência do sistema de desinfecção, contudo, não depende apenas das características do agente desinfetante, mas de vários outros fatores, tais como dose e tempo de contato, tipo e concentração dos microrganismos, características físico-químicas da água, entre outros. Com relação às características físicas, o parâmetro turbidez mostra-se o mais importante na relação da eficiência da desinfecção, promovendo o denominado “efeito-escudo” sobre os microrganismos, protegendo-os da ação de desinfetante físico ou químico.

Segundo Libânio (2005), além da turbidez, outras características da água interferem na eficiência da desinfecção, principalmente quando esta se efetua por meio de agentes químicos: presença de matéria orgânica, presença de compostos inorgânicos, como ferro e manganês, que reagem com o desinfetante, temperatura da água e o pH, principalmente quando do emprego dos compostos de cloro como desinfetante.

De modo simplificado, o cloro reage com a amônia (se presente) para produzir uma série de compostos chamados cloraminas e, eventualmente, oxida a amônia em gás nitrogênio (N_2). O mecanismo de reação é complexo e os produtos variam com o pH, com a razão entre cloro adicionado e a amônia presente e ainda o tempo de contato.

A monocloramina (NH_2Cl) e a dicloramina ($NHCl_2$), denominadas cloro combinado, tem poder desinfetante, apesar de este ser inferior ao cloro livre ($HOCl$

e OCl^-). As reações com outros compostos inorgânicos, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), ocorrem imediatamente após a aplicação de cloro. Das reações com alguns compostos orgânicos (ácidos húmicos e fúlvicos) pode haver formação de trihalometanos (AISSE et al 2003).

6.3. Sistema experimental de reúso de águas cinzas residenciais

O sistema experimental de reúso utilizado para a coleta de amostras de águas cinzas foi construído utilizando um sistema instalado em um contêiner. Como a pesquisa foi realizada através de coletas separadas de amostras, algumas modificações e adaptações foram aplicadas ao sistema, em função das exigências e objetivos do projeto como, por exemplo, as instalações de esgoto apresentavam derivações separadas para cada ponto de coleta, foram instaladas divisórias entre os chuveiros e vaso sanitário para garantir a privacidade dos usuários, foi realizada a instalação hidráulica e elétrica para o uso de uma máquina de lavar roupas, etc.

A área útil do contêiner era de $13,8 \text{ m}^2$ e foi dividido em dois ambientes sanitários, sendo um para banheiro masculino e um para banheiro feminino. Cada um desses ambientes apresentavam dois chuveiros, 1 vaso sanitário e 1 lavatório, sendo que no banheiro feminino foi acrescentada uma máquina de lavar roupas. Nas fotos 3 a 7 são apresentadas algumas vistas do sistema experimental de reúso de águas cinzas residenciais.



Foto 3: Vista externa frontal do sistema experimental de reúso de águas cinzas residenciais



Foto 4: Vista dos reservatórios de acumulação de águas cinzas



Foto 5: Vista interna frontal dos chuveiros e vaso sanitário do banheiro masculino



Foto 6: Vista interna lateral do lavatório do banheiro masculino



Foto 7: Vista da máquina de lavar roupas

Para a coleta de amostras de águas cinzas foi realizada uma seleção de voluntários que trabalham ou que praticam alguma atividade próxima ao local do experimento. Esses voluntários foram divididos entre homens, mulheres, crianças e idosos. O critério de seleção se deu a partir da função e profissão que essas pessoas atuam, por exemplo, marceneiros, mecânicos, recepcionistas, faxineiras, porteiros, professores, alunos, etc. Essa diversificação de pessoas foi fundamental para coletar amostras que representassem resultados que simulem a realidade da população.

No projeto foi efetuada a caracterização de 240 amostras de águas cinzas, sendo elas divididas da seguinte maneira: 60 amostras de águas cinzas sem tratamento e 180 amostras de águas cinzas tratadas.

Para a caracterização das águas cinzas sem tratamento foram efetuadas coletas separadas de efluentes. Essas coletas foram divididas da seguinte maneira:

- ✓ efluente proveniente dos chuveiros e dos lavatórios;
- ✓ efluente proveniente da lavagem de roupa (1° ciclo);
- ✓ efluente proveniente do primeiro enxágüe de lavagem de roupa (2° ciclo);
- ✓ efluente proveniente do segundo enxágüe de lavagem de roupa (3° ciclo);
- ✓ efluente proveniente da mistura dos efluentes acima citados,

Os efluentes de cada ponto de amostragem foram retidos em reservatórios de acumulação. Para a coleta do efluente dos chuveiros e dos lavatórios foi instalado um reservatório de polietileno com capacidade para 1.000 litros e para cada ciclo da máquina de lavar roupas foi utilizado um reservatório de polietileno de 500 litros. Na foto 8 mostra-se os reservatórios onde as águas cinzas eram coletadas separadamente.



Foto 8: Reservatórios onde as águas cinzas eram coletadas separadamente

A coleta foi efetuada separadamente para verificar qual desses efluentes apresentava maior índice de contaminação de poluentes como DBO e coliformes totais e termotolerantes. O efluente proveniente dos vasos sanitários foi descartado por não fazer parte das águas cinzas estudadas nesta pesquisa. Na foto 9 são

mostradas amostras de águas cinzas coletadas dos diferentes pontos de amostragem.



Água
Potável

Chuv. e
Lavatório

MLR 1°
ciclo

MLR 2°
ciclo

MLR 3°
ciclo

Água cinza
Misturada

Foto 9: Amostras de águas cinzas coletadas dos diferentes pontos de amostragem

6.4. Sistema experimental de tratamento das águas cinzas residenciais

No sistema experimental de tratamento das águas cinzas foi utilizado sistema de tratamento biológico aeróbio. Especificamente, foi utilizado um reator biológico de contato, popularmente chamado de biodisco. O reator biológico de contato é munido de discos rotativos que permitem o fornecimento artificial de oxigênio para o meio onde os microorganismos aeróbios são predominantes e fazem a remoção da carga orgânica.

O sistema experimental de tratamento de águas cinzas era composto por tanque de equalização, sistema de biodisco, reservatório de decantação, filtro de areia de pressão e sistema de desinfecção. Na figura 25 verifica-se um esquema do sistema experimental de tratamento de águas cinzas.

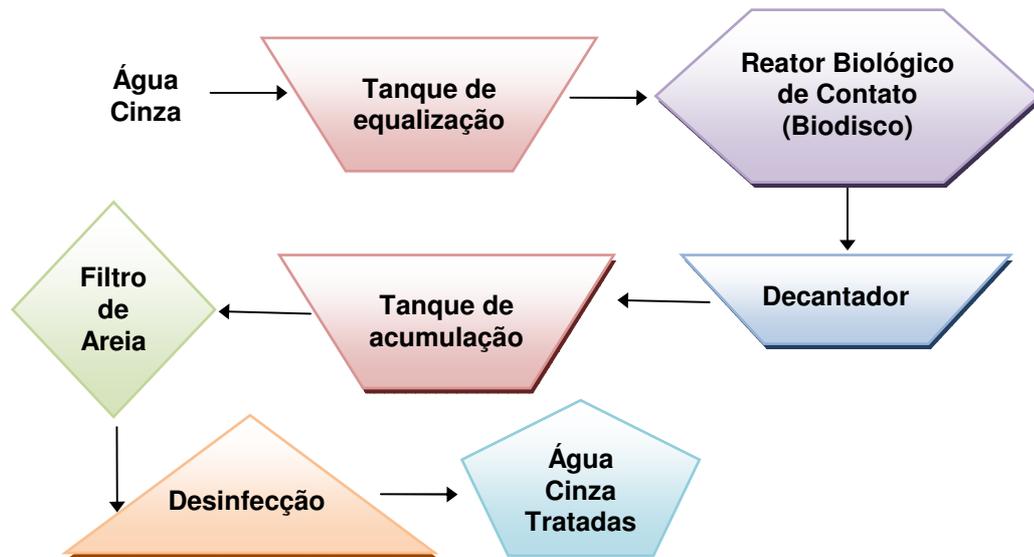


Figura 25: Esquema do sistema experimental de tratamento de águas cinzas

O sistema funcionava da seguinte maneira: o efluente proveniente dos pontos de coleta (chuveiros, lavatórios e máquina de lavar roupas - 1º, 2º e 3º ciclo) era levado ao reservatório de equalização. No tanque de equalização foi utilizado um agitador para evitar a sedimentação de sólidos que podem estar presentes nas águas cinzas. Posteriormente, esse efluente era direcionado ao sistema de biodisco onde ocorria a degradação da matéria orgânica. Foi utilizado para levar as águas cinzas do reservatório de acumulação até o sistema de biodisco uma bomba hidráulica munida de inversor de freqüência onde era programado uma vazão de 500l/dia. As águas cinzas eram armazenadas por no máximo 24h antes de serem submetidas ao sistema experimental de tratamento biológico. Na foto 10 mostra-se a bomba hidráulica utilizada no sistema experimental de tratamento de águas cinzas.



Foto 10: Bomba hidráulica utilizada no sistema experimental de tratamento de águas cinzas

O efluente proveniente do biodisco era conduzido ao reservatório de decantação onde ocorria a sedimentação do lodo. Em seguida, a água de reúso era conduzida ao filtro de areia de pressão onde era filtrada e logo após era desinfetada com hipoclorito de sódio.

Para a filtração das águas cinzas foi utilizado um filtro rápido de pressão de escoamento descendente. Conforme especificações do manual de instruções do produto, o filtro utilizado para o tratamento das águas cinzas apresenta uma taxa de filtração nominal de $1440 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, porém foi utilizada uma taxa efetiva de $750 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. O meio filtrante era composto de areia com granulometria de 0,45mm a 0,55mm com coeficiente de não uniformidade inferior a 1,6 e altura do meio filtrante de 52 cm. Acoplado ao filtro, uma bomba do tipo auto-escorvante com vazão de $3,3 \text{ m}^3/\text{h}$ e potência de $\frac{1}{3} \text{ cv}$ levava as águas cinzas do reservatório de acumulação ao sistema de filtração. Em seguida, as águas cinzas filtradas, sem a adição de coagulante, eram desinfetadas com hipoclorito de sódio.

6.4.1. Reator Biológico de Contato (RBC)

Segundo Mendonça (2004), o sistema de reator biológico de contato consiste de um conjunto de rotores compostos por discos de plástico rígido de pequena espessura que trabalham parcialmente submersos (cerca de 40%). Os discos são montados lado a lado, num eixo horizontal, com afastamento de 5 a 12 mm, formando grandes cilindros. O RBC é acoplado a um sistema de acionamento que faz os discos girarem lentamente a uma velocidade de 1,0 a 1,6 rpm.

O princípio biológico do sistema RBC é o mesmo de todos os sistemas de leito fixo com crescimento em suporte. As bactérias aeróbias, responsáveis pela biodigestão das cargas poluentes, vão se aglomerando nas superfícies dos discos e, quando estes giram, por estarem parcialmente submersos, promovem ciclicamente a aeração e imersão das colônias de bactérias no efluente. Essas colônias de bactérias são responsáveis pela biodigestão contínua dos poluentes através da oxidação do carbono orgânico nele contido. As bactérias vão se concentrando cada vez mais nas superfícies dos discos, formando grandes colônias, que resultam em espessas camadas denominadas biofilme.

Devido ao constante crescimento das colônias de bactérias e o aumento da espessura do biofilme, as bactérias que estão na parte interna da película apresentam dificuldade de contato com o oxigênio do ar quando o disco gira, favorecendo a sua morte. O biofilme então se desprende dos discos e segue para o decantador formando um lodo ativo já que apenas a camada mais interna do lodo é constituída de bactérias mortas.

No decantador, o lodo sedimenta e a água tratada extravasa pela parte superior e é direcionada ao reservatório de acumulação onde em seguida é dado a seqüência no tratamento das águas. O reator biológico de contato (biodisco) era

munido de um reator com quatro câmaras. Para que o efluente pudesse percolar por todo o reator e obter maior contato com os discos alguns procedimentos foram realizados, tais como: as câmaras foram ligadas entre si por dutos comunicantes sendo que, o efluente entrava pela parte superior direita da primeira câmara e saía pela parte inferior esquerda e assim sucessivamente; as câmaras foram dimensionados com 10cm de afastamento entre discos e entre a superfície inferior dos discos e o fundo das câmaras deu-se um afastamento de 2cm. Abaixo são mostradas as fotos 11 e 12 referentes ao reator biológico de contato utilizado para o tratamento de águas cinzas residenciais.



Foto 11: Vista do sistema de biodisco para tratamento das águas cinzas residenciais



Foto 12: Vista dos discos onde o biofilme é aderido

Durante a fase de operação, pôde-se comprovar algumas vantagens no uso do sistema de biodisco para tratamento das águas cinzas:

- compacto, quando comparado a sistemas de tratamento convencionais;
- baixa emissão de ruído (do motor);
- não libera odores desagradáveis;
- pode ser instalado enclausurado, o que melhora a aparência do sistema;
- apresenta baixo consumo de energia.

O reator biológico de contato utilizado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas era munido de um motor com potência de 1/3 cv que fazia os discos girarem. O consumo de energia era de 0,25 Kwh ou 180 Kwh/mês. O reator biológico de contato, originalmente, era capaz de tratar 5 mil litros de efluente por dia, porém para o sistema experimental de tratamento de águas cinzas o RBC foi adaptado para tratar 500 l/dia.

6.4.2. Dimensionamento do sistema de biodisco para tratamento das águas cinzas residenciais utilizado na pesquisa

Com base nos dados técnicos de partida para o dimensionamento do sistema de biodiscos, ou seja, vazão diária disponível, $DBO_{5,20}$ e DQO pode-se determinar a área de superfície de contato e o tempo de detenção hidráulico necessários para o tratamento das águas cinzas em sistemas de biodiscos.

A área de superfície de contato é o parâmetro de projeto mais importante no dimensionamento do sistema. Outro tópico de grande relevância para o dimensionamento do sistema é o tempo de detenção hidráulico que, dimensionado segundo Metcalf & Eddy (2003) indica como parâmetro mínimo 0,7 horas e como parâmetro máximo 1,5 horas de detenção para remoção de DBO e 1,5 a 4,0 horas para remoção de DBO e nitrificação. A consequência do mau dimensionamento é percebida pela estabilização do sistema com baixa formação de biofilme na superfície de contato, prejudicando a eficiência de tratamento do efluente.

Para o dimensionamento do sistema foram considerados os seguintes dados: vazão diária de 500 L/dia e carga orgânica de 150 mg/L de DBO (valor obtido na caracterização das águas cinzas brutas). Na tabela 39 são mostrados os parâmetros de projeto utilizados por Metcalf & Eddy para dimensionamento de rotores biológicos de contato.

Tabela 39: Parâmetros de projeto para o dimensionamento de um Reator Biológico de Contato (RBC)

PARÂMETRO	UNIDADE	NÍVEL DE TRATAMENTO		
		Remoção de DBO	Remoção de DBO e Nitrificação	Nitrificação Separada
Carga hidráulica	m ³ / m ² dia	0,08 a 0,16	0,03 a 0,08	0,04 a 0,10
Carga orgânica	g DBOs / m ² dia	4 a 10	2,5 a 8,0	0,5 a 1,0
	g DBO / m ² dia	8 a 20	5 a 16	1 a 2
Lodo orgânico máximo no 1° estágio	g DBOs / m ² dia	12 a 15	12 a 15	
	g DBO / m ² dia	24 a 30	24 a 30	
Carga de NH ₃	g N / m ² dia		0,75 a 1,50	
Tempo de detenção hidráulico	H	0,7 A 1,5	1,5 a 4,0	1,2 a 3,0
DBO do efluente	mg / l	15 a 30	7 a 15	7 a 15
NH ₄ -N	mg / l		< 2	1 a 2

Temperatura do efluente em torno de 13°C.

Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

Segundo Metcalf & Eddy (2003), a determinação da superfície de contato é efetuada pela seguinte fórmula:

$$\text{Área de superfície de contato} = \text{Vazão} \cdot \text{carga orgânica} \div \text{remoção de DBO em mg/m}^2 \cdot \text{dia (valor adotado segundo Metcalf e Eddy, 2003)}$$

Então:

$$A = (500 \text{ L / dia} \cdot 150 \text{ mg/L DBO}) \div (16 \text{ g DBO / m}^2 \cdot \text{dia} \cdot 1000 \text{ mg / g})$$

$$A = 4,7 \cong 5 \text{ m}^2$$

Portanto, são necessários 5 metros quadrados de área de superfície de contato para o tratamento das águas cinzas conforme os dados citados anteriormente. Os 5 metros quadrados de área de contato foram divididos em 5 discos com 1 metro quadrado cada. Os discos foram divididos da seguinte maneira: 2 discos na primeira câmara do reator e 1 disco para cada uma das três câmaras seguintes.

O tempo de detenção adotado para o sistema experimental de tratamento de águas cinzas foi de 3 horas.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Qualidade das águas pluviais tratadas obtidas no sistema experimental instalado no CTCC

As amostras de águas pluviais foram coletadas em frascos de polipropileno de alta densidade (previamente esterilizados em autoclave, a uma temperatura de 121°C, durante 30 minutos). As análises bacteriológicas e as análises físico-químicas foram analisadas no Laboratório de Saneamento Básico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

As águas pluviais após passarem pelo sistema de peneira para a retirada de folhas e galhos eram armazenadas em dois reservatórios onde ocorria a sedimentação natural dos sólidos. A sedimentação natural ocorria num intervalo de tempo de no máximo 8 horas. Em seguida, as águas pluviais eram filtradas, sem a adição de coagulante, e posteriormente desinfetadas com hipoclorito de sódio.

Foram coletadas 80 amostras de águas pluviais sem e com tratamento durante um período que se estendeu de agosto de 2006 a maio de 2007 para caracterização e avaliação dos resultados. As amostras de águas pluviais foram coletadas a aproximadamente 15 cm abaixo da superfície para minimizar interferência do material suspenso na superfície e do material sedimentado no fundo do reservatório. Foi utilizado como referência o *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* para a realização dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos das amostras de águas cinzas e de águas pluviais.

Na tabela 40, encontram-se a média e o desvio padrão dos resultados da caracterização das amostras de águas pluviais sem tratamento e após o tratamento, obtidos no sistema experimental instalado no CTCC – Centro de Técnicas de Construção Civil da Universidade de São Paulo.

Tabela 40: Média e Desvio Padrão dos Resultados Obtidos com as Análises das Amostras de Águas Pluviais sem Tratamento e após o Tratamento

Parâmetros Analisados	Águas Pluviais sem Tratamento		Águas Pluviais Tratadas		ABNT 15527/2007	SINDUSCON (2005)
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão		
Cor Aparente (uC)	21,6	12	8,2	2	< 15	< 15
Odor	Não desagradáveis	-	Não desagradáveis	-	-	-
Turbidez (UNT)	3,3	2	0,8	0,2	< 2	< 2
pH	6,8	0,4	6,5	0,3	6,0 a 8,0	6,0 a 8,0
Temperatura (°C)	20	3	20	3	-	-
Alcalinidade (mg/L)	10	3	10	2	-	-
Condutividade (µs/cm)	54,5	10	39,8	9	-	-
Residual de cloro (mg/L)	-	-	0,8	0,4	0,5 a 3,0	0,5 a 3,0
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	220	70	Ausentes	-	Ausentes	Ausentes
Coliformes Totais (NMP/100mL)	3X10 ³	1X10 ¹	Ausentes	-	Ausentes	Ausentes

Observa-se na tabela 40 que a cor aparente e a turbidez das águas pluviais sem tratamento apresentam-se acima dos padrões estabelecidos pela ABNT 15527 (2007) e pelo SINDUSCON (2005). Após o tratamento esses padrões foram enquadrados nos requisitos mínimos de qualidade da água para consumo não potável. O parâmetro odor apresentou-se ausente em todas as amostras coletadas.

Já o pH, apresentou-se levemente ácido nas amostras coletadas sem e com tratamento, porém ainda dentro dos permitidos pela ABNT 15527 (2007) e pelo SINDUSCON (2005). O pH das águas pluviais pode sofrer interferência com a frequência de chuva. Em meses nos quais a frequência de precipitação é maior, ou em dias consecutivos de chuva, a tendência é que o pH das águas pluviais seja menos ácido. O material que compõe o telhado também pode interferir no pH das águas pluviais.

A concentração média de coliformes termotolerantes nas águas pluviais sem tratamento foi de 220NMP/100mL, indicando contaminação fecal nas amostras de águas pluviais e a concentração média de coliformes totais foi de 3×10^3 NMP/100mL indicando que as condições higiênicas do ambiente no local do experimento eram prejudicadas por contaminantes encontrados no ar, na chuva ou no telhado. Para amostras coletadas em períodos maiores de estiagem, o grau de contaminação bacteriológica das águas pluviais tende a ser bastante elevado.

Devido à grande concentração de bactérias nas águas pluviais, a desinfecção é fundamental para que sua utilização não proporcione riscos de contaminação e disseminação de doenças em seus usuários e para garantir um residual nas águas armazenadas. A escolha do uso do hipoclorito de sódio para a desinfecção das águas pluviais ocorreu devido à facilidade de manuseio e ao custo relativamente baixo. As dosagens utilizadas para a desinfecção e o residual de cloro obtido após 30 minutos de contato estão descritos na tabela 41.

Tabela 41: Dosagens utilizadas para a desinfecção das águas pluviais

Volume de água/ensaio (litros)	Dosagem (mL)		Tempo de contato (minutos)	Residual de cloro (mg/L)	
	mínimo	máximo		mínimo	máximo
500	30	45	30	0,6	1,2

Para a dosagem mínima e máxima de hipoclorito de sódio utilizada na desinfecção das águas pluviais, a concentração de cloro ativo foi de 1,2 mg/L e 2,25 mg/L respectivamente. O cloro deve ser aplicado da forma mais homogênea possível e a água só poderá ser utilizada após um tempo de contato de 30 minutos, aconselhando-se preservar, na água, um residual de cloro de 0,5 a 1 mg/L. A desinfecção é um tratamento essencial e prioritário para qualquer água que esteja ou possa vir a estar contaminada por microrganismos patogênicos.

As águas pluviais neste estudo apresentaram, após o tratamento, um padrão de qualidade excelente para a utilização no consumo não potável em edificações. O padrão de qualidade adquirido após o tratamento das águas pluviais atendeu aos exigidos pela ABNT 15527 (2007) e aos exigidos pelo SINDUSCON (2005) para águas seguintes classes:

- ✓ classe 1: usos atribuídos a descarga de vasos sanitários, a lavagem de pisos, a fins ornamentais e a lavagem de veículos e;
- ✓ classe 2: usos atribuídos a lavagem de agregados, a preparação de concreto, a compactação de solos e ao controle de poeira.

Na foto 13 mostra-se uma amostra de águas pluviais tratada.



Foto 13: Amostra de águas pluviais tratada

7.2. Qualidade das águas pluviais obtidas no sistema experimental instalado no CIRRA

Durante a caracterização das amostras de águas pluviais tratadas do sistema experimental instalado no CTCC, foram também, caracterizadas amostras de águas pluviais coletadas no sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais do CIRRA - Centro Internacional de Referência em Reúso de Água, Escola Politécnica da USP.

O sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais é constituído de um reservatório de auto-limpeza para o descarte da água de limpeza do telhado e de um reservatório de acumulação. Nas fotos 14 e 15 mostra-se o sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais instalado no CIRRA.



Foto 14: Sistema experimental de coleta de águas pluviais: os reservatórios de auto-limpeza e de acumulação são encontrados em primeiro plano



Foto 15: Vista da chegada da tubulação coletora e do reservatório de auto-limpeza

O sistema funciona da seguinte maneira: as águas pluviais são coletadas em um telhado de 258m². A água proveniente da limpeza do telhado é retida no reservatório de auto-limpeza com capacidade de 900litros (descarte de 3,5mm de chuva) e o restante é direcionado ao reservatório de acumulação com capacidade de 10m³. As amostras de águas pluviais para a caracterização foram retidas do reservatório de acumulação. Foram coletas 30 séries de amostras durante um período que se estendeu de janeiro a junho de 2006.

Na tabela 42, encontram-se a média e o desvio padrão dos resultados de caracterização das amostras de águas pluviais do reservatório de acumulação do sistema de coleta e aproveitamento instalado no CIRRA.

Tabela 42: Média dos Resultados Obtidos com as Análises das Amostras de Águas Pluviais/CIRRA

Parâmetros Analisados	Águas Pluviais Coletadas		ABNT 15527/2007	SINDUSCON (2005)
	Média	Desvio padrão		
Cor Aparente (uC)	3	1	< 15	≤ 10
Odor	Não desagradáveis	-	-	Não desagradáveis
Turbidez (UNT)	0,8	0,4	< 2	≤ 2
pH	6,1	0,5	6,0 a 8,0	6,0 a 9,0
Temperatura (°C)	19	2	-	-
Alcalinidade (mg/L)	6	3	-	-
Condutividade (µs/cm)	31,9	10,2	-	-
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Ausentes	-	Ausentes	Ausentes
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Ausentes	-	Ausentes	Ausentes

Observa-se na tabela 42 que os resultados das análises das amostras das águas pluviais foram de excelente qualidade quando comparado aos padrões de exigência para consumo não potável exigidos pela ABNT 15527 (2007) e pelo Sinduscon (2005). Apesar de que, neste caso específico, os parâmetros encontrados atenderam aos padrões estabelecidos, não é comum este fato acontecer. Há muitos fatores ambientais que interferem diretamente na qualidade das águas pluviais coletadas.

Um dos motivos da ausência de coliformes termotolerantes e totais é o material que compõe o telhado do edifício. O material que compõe a cobertura do edifício é o zinco. O zinco com a presença de sol pode chegar a elevadas temperaturas o que pode levar à morte bactérias encontradas sobre o mesmo.

Sempre que um sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais for instalado, deve-se averiguar as condições do local de instalação e quais fatores próximos ao local podem interferir na qualidade da água coletada. Além disso, as águas pluviais devem ser devidamente caracterizadas, para que após o tratamento

o padrão de qualidade adquirido atenda aos padrões mínimos exigidos pela ABNT 15527 (2007).

7.3. Caracterização qualitativa das águas cinzas obtidas na pesquisa

As amostras de águas cinzas foram coletadas em frascos de polipropileno de alta densidade (previamente esterilizados em autoclave, a uma temperatura de 121°C). As análises bacteriológicas foram realizadas no Instituto Adolfo Lutz e as análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento Básico da Escola Politécnica da USP.

Foram coletadas 60 amostras durante um período que se estendeu de novembro de 2004 a janeiro de 2005. É importante ressaltar que para a realização da pesquisa foram consideradas amostras de águas cinzas claras, ou seja, amostras coletadas do 1º ciclo (lavagem), do 2º ciclo (1º enxágüe) e do 3º ciclo (2º enxágüe) da máquina de lavar roupas, do lavatório e do chuveiro. Foram também coletadas amostras da mistura desses efluentes. Na foto 16 mostra-se o reservatório de acumulação com as águas cinzas misturadas.



Foto 16: Reservatório de acumulação contendo águas cinzas misturadas

Observa-se na foto 16 que a denominação “águas cinzas” é atribuída devido ao aspecto da água ser acinzentada. A seguir são mostrados os resultados de qualidade adquiridos na caracterização das águas cinzas claras não tratadas.

Na tabela 43 são mostrados os resultados obtidos com a caracterização de parâmetros físicos das águas cinzas claras.

Tabela 43: Resultados obtidos com a caracterização de alguns parâmetros físicos das águas cinzas claras

Parâmetro		Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Cor Aparente (uC)	Número de amostras coletadas: 60 amostras	Lavagem	700	30	500	570	199
		1ºEnxágüe	162	26	94	82	46
		2ºEnxágüe	60	24	41	38	13
		Lavatório e Chuveiro	990	240	642	650	231
		Mistura	535	121	303	302	114
Turbidez (UNT)		Lavagem	55	15	40	40	12
		1ºEnxágüe	45	7	15	10	12
		2ºEnxágüe	12	3	5	4	3
		Lavatório e Chuveiro	160	34	85	85	38
		Mistura	58	16	36	35	13
ST (mg/L)		Lavagem	1430	810	1131	1080	225
		1ºEnxágüe	430	120	210	160	101
		2ºEnxágüe	240	30	116	100	60
		Lavatório e Chuveiro	550	210	303	290	101
		Mistura	580	250	425	420	101
SST (mg/L)		Lavagem	200	46	81	72	44
		1ºEnxágüe	36	10	20	17	9
		2ºEnxágüe	24	-	10	9	6
		Lavatório e Chuveiro	191	41	88	83	44
		Mistura	58	26	40	37	10
SDT (mg/L)	Lavagem	1357	764	1050	1005	213	
	1ºEnxágüe	396	104	190	145	96	
	2ºEnxágüe	216	26	107	90	55	
	Lavatório e Chuveiro	359	143	215	221	68	
	Mistura	536	224	385	373	98	

Obs: ST – Sólidos Totais
 SST – Sólidos Suspensos Totais
 SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

Observa-se na tabela 43 que a cor aparente encontrada nas águas cinzas claras, apresenta maior concentração nas amostras coletadas no 1º ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem) e no chuveiro. No 1º e 2º enxágüe da máquina da lavar roupas a cor aparente apresenta-se em concentrações menores, porém na mistura das águas cinzas, a cor aparente se manteve em concentrações elevadas com média de 303 uC. Em Philippi et al (2005), a cor aparente das águas cinzas misturadas também apresentou concentrações elevadas, com média de 379 uC.

A turbidez das águas cinzas claras apresentou maior concentração nas amostras coletadas do chuveiro, com média de 85 UNT. De modo geral, a turbidez nas águas cinzas claras é mais representativa em amostras coletadas do chuveiro e do 1º ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem). Já em águas cinzas escuras a maior concentração de turbidez é encontrada no efluente da pia da cozinha e da máquina de lavar pratos.

A concentração de sólidos totais e sólidos dissolvidos apresentou-se mais significativa em amostras coletadas no 1º ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem), com média de 1131 mg/L para sólidos totais e 1050 mg/L para sólidos dissolvidos totais.

Na pesquisa realizada por Bazzarella (2005), a maior concentração de sólidos totais e suspensos nas águas cinzas escuras foi encontrada no efluente provindo da pia da cozinha, com média de 2160 mg/L para sólidos totais e 336 mg/L para sólidos suspensos totais. Nota-se também na tabela 43 que na mistura dos efluentes de águas cinzas ocorria uma diluição. Efluentes provindos do 1º ciclo da máquina de lavar roupas que apresentavam concentração maior de contaminação diluíam-se com efluentes provindos do 1º enxágüe e 2º enxágüe onde a concentração de contaminação era menor.

O gráfico 1 mostra a média dos resultados obtidos com a caracterização dos parâmetros sólidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais das águas cinzas claras.

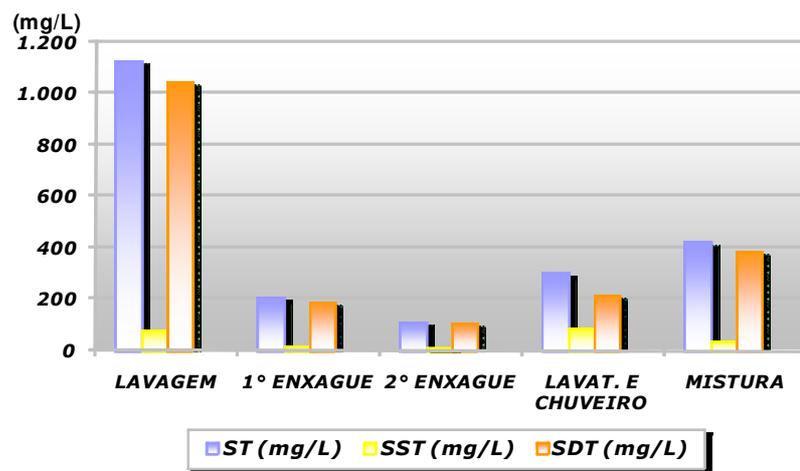


Gráfico 1: Média dos resultados obtidos com a caracterização de sólidos totais, suspensos totais e dissolvidos totais das águas cinzas claras

Verifica-se no gráfico 1 que os resultados médios de sólidos suspensos totais encontrados para as águas cinzas claras manteve-se abaixo de 100 mg/L em todos os pontos de coleta. Já os resultados médios obtidos para sólidos totais e sólidos dissolvidos totais apresentou grande oscilação de um ponto de coleta para outro.

Na tabela 44 são mostrados os resultados obtidos com a caracterização de alguns parâmetros químicos das águas cinzas claras.

Tabela 44: Resultados obtidos com a caracterização de alguns parâmetros químicos das águas cinzas claras

Parâmetro	Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
pH	Lavagem	9,6	8,8	9,2	9,2	0,3
	1°Enxágüe	8,1	7,3	7,7	7,8	0,3
	2°Enxágüe	7,2	6,8	7,0	7,0	0,2
	Lavatório e Chuveiro	6,8	5,9	6,4	6,4	0,3
	Mistura	8,5	7,2	7,6	7,3	0,5
Alcalinidade (mg/L)	Lavagem	26,0	9,0	15,8	16,7	6,2
	1°Enxágüe	7,0	2,0	4,9	6,0	2,1
	2°Enxágüe	5,0	1,0	2,9	2,2	1,4
	Lavatório e Chuveiro	13,0	6,0	9,0	8,5	2,8
	Mistura	13,0	5,0	7,9	7,5	2,6
Condutividade (µS/cm)	Lavagem	270	102	156	126	60
	1°Enxágüe	210	110	141	138	29
	2°Enxágüe	132	75	97	92	21
	Lavatório e Chuveiro	290	80	178	168	70
	Mistura	270	95	177	150	67
Dureza (mg/L)	Lavagem	24,0	5,9	12,4	11,7	5,2
	1°Enxágüe	14,0	2,8	6,3	6,0	3,1
	2°Enxágüe	6,8	2,3	3,7	3,4	1,6
	Lavatório e Chuveiro	22,0	4,0	9,6	9,1	5,0
	Mistura	20,0	4,1	7,6	6,2	4,5
Cálcio (mg/L)	Lavagem	15,6	5,1	9,6	9,0	3,2
	1°Enxágüe	9,2	2,3	5,1	4,8	2,1
	2°Enxágüe	6,0	2,0	3,5	3,2	1,4
	Lavatório e Chuveiro	10,2	2,3	5,8	5,7	2,5
	Mistura	7,0	3,5	5,5	5,1	1,1
Magnésio (mg/L)	Lavagem	2,0	0,8	1,3	1,3	0,5
	1°Enxágüe	1,7	0,5	0,8	0,7	0,4
	2°Enxágüe	0,8	0,5	0,6	0,5	0,1
	Lavatório e Chuveiro	1,2	0,5	0,9	0,8	0,2
	Mistura	1,4	0,5	0,7	0,7	0,3

Observa-se na tabela 44 que o pH das águas cinzas apresentou-se básico nas amostras coletadas do 1° ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem) e levemente ácido nas amostras coletadas do chuveiro. O pH alcalino nas amostras coletadas do 1° ciclo da máquina de lavar roupas deve-se ao sabão utilizado para a limpeza das roupas. Nas amostras coletadas do 1° e 2° enxágüe a concentração de sabão é menor, e por isso o pH tende a ficar em torno de 7,0. Já nas amostras

coletadas da mistura dos efluentes onde ocorre a diluição, o pH médio foi de 7,6. Em Bazzarella (2007), o pH das águas cinzas também apresentou-se alcalino nas amostras coletadas da máquina de lavar roupas, do lavatório e do tanque, sendo seus respectivos valores 9,06, 8,03 e 8,85. Em amostras coletadas da pia de cozinha, o pH apresentou-se ácido, 5,14.

De modo geral as águas cinzas, apresentaram baixa dureza, isso significa que as águas cinzas são classificadas como brandas ou moles e indicam baixa possibilidade de incrustações. Na tabela 45 são apresentados os resultados de cloreto, sulfato e óleos e graxas obtidos na caracterização das águas cinzas.

Tabela 45: Resultados obtidos com a caracterização de cloreto, sulfato e óleos e graxas das águas cinzas claras

Parâmetro	Número de amostras coletadas: 60 amostras	Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Cloretos (mg/L)		Lavagem	30,0	8,0	19,3	19,5	7,2
	1ºEnxágüe	15,0	8,0	9,5	9,0	2,1	
	2ºEnxágüe	9,0	7,0	8,1	8,0	0,6	
	Lavatório e Chuveiro	35,0	14,0	23,1	21,0	8,2	
	Mistura	18,0	8,0	12,4	11,0	3,7	
Sulfatos (mg/L)	Lavagem	440,0	50,0	262,0	275,0	137,3	
	1ºEnxágüe	50,0	30,0	46,0	50,0	8,4	
	2ºEnxágüe	50,0	10,0	26,0	20,0	17,8	
	Lavatório e Chuveiro	80,0	10,0	47,5	50,0	26,2	
	Mistura	200,0	25,0	92,0	77,5	56,6	
Óleos e graxas (mg/L)	Lavagem	68,0	44,0	58,9	61,5	7,8	
	1ºEnxágüe	56,0	24,0	45,6	51,0	10,8	
	2ºEnxágüe	48,0	20,0	38,5	40,0	9,2	
	Lavatório e Chuveiro	140,0	82,0	114,8	116,0	17,9	
	Mistura	88,0	48,0	65,9	68,5	12,0	

Os cloretos são advindos da dissolução de sais, como por exemplo, o cloreto de sódio. A maior concentração de cloretos foi encontrada nas amostras providas do chuveiro e lavatório e do 1ºciclo da máquina de lavar roupas. O cloreto nas águas é responsável por provocar corrosões nas tubulações hidráulicas.

Já as concentrações de sulfato nas águas cinzas foram significativas nas amostras coletadas no 1º ciclo da máquina de lavar roupas. Com a mistura dos outros efluentes ocorre a diluição, porém a concentração de sulfatos permanece com valor médio de 92 mg/L. Em águas para abastecimento industrial o sulfato provoca incrustações em caldeiras e trocadores de calor.

O parâmetro de óleos e graxas tiveram sua maior concentração nas amostras coletadas do chuveiro e lavatório (114,8 mg/L), devido ao desprendimento de resíduos oleosos expelidos pelo corpo. Na mistura dos efluentes de águas cinzas, a média encontrada foi de 65,9 mg/L.

Na pesquisa realizada por Bazzarella (2005), a maior concentração de óleos e graxas encontrada nas águas cinzas escuras foi no efluente provindo da pia da cozinha, com média de 176,4 mg/L. Em amostras coletadas do lavatório e do chuveiro a concentração média de óleos e graxas também foi bastante significativa, sendo seus valores respectivos 81,9 mg/L e 95,2 mg/L.

Na tabela 46 são mostrados os resultados obtidos na caracterização dos compostos orgânicos nas águas cinzas claras.

Tabela 46: Resultados obtidos com a caracterização de compostos orgânicos das águas cinzas claras

Parâmetro	Número de amostras coletadas: 60 amostras	Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
DBO (mg/L)		Lavagem	302	142	222	224	53
		1º Enxágüe	72	31	48	50	12
		2º Enxágüe	66	6	21	16	18
		Lavatório e Chuveiro	255	105	181	184	50
		Mistura	188	55	113	108	41
DQO (mg/L)		Lavagem	870	432	651	655	155
		1º Enxágüe	196	72	120	118	36
		2º Enxágüe	159	15	64	49	40
		Lavatório e Chuveiro	690	295	390	347	121
	Mistura	460	119	282	307	97	

Obs: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
 DQO – Demanda Química de Oxigênio

Observa-se na tabela 46 que as águas cinzas claras apresentam concentração de matéria orgânica elevada, principalmente nas amostras coletadas do 1º ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem) e do chuveiro e lavatório. A maior parte da matéria orgânica encontrada nas águas cinzas claras são derivadas de resíduos corporais, óleos e gorduras, cabelos, sabão, etc. Já nas águas cinzas escuras a maior parte da matéria orgânica provem do efluente da pia da cozinha e do tanque. Em Bazzarella (2005), a concentração média de DBO para a pia da cozinha foi de 633 mg/L e DQO de 1712 mg/L e para o tanque, a concentração média de DBO foi de 570 mg/L e DQO de 1672. Já em amostras coletadas da máquina de lavar roupas, do chuveiro e do lavatório os valores médios para DBO e DQO foram: 184 mg/L e 521 mg/L, 165 mg/L e 582 mg/L e, 265 mg/L e 653 mg/L respectivamente.

A relação DBO/DQO indica maior facilidade para o tratamento biológico. Se a relação DBO/DQO for $> 0,6$ – tratamento por processo biológico, se a relação for $0,2 < \text{DBO/DQO} < 0,6$ – tratamento biológico possível e se a relação DBO/DQO $< 0,2$ – tratamento biológico muito difícil. Para as águas cinzas claras a relação DBO/DQO foi de 0,34, significando que o tratamento biológico é possível.

No gráfico 2 mostra-se a média dos resultados obtidos com a caracterização dos compostos orgânicos nas águas cinzas claras.

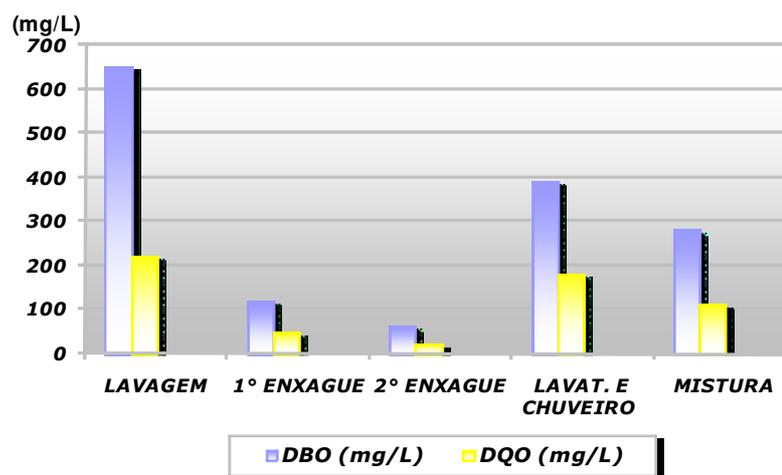


Gráfico 2: Média dos resultados obtidos com a caracterização dos compostos orgânicos nas águas cinzas claras

No gráfico 2 observa-se que a concentração de DBO e DQO para efluentes providos do 1º e do 2º enxágüe da máquina de lavar roupas são bem menores se comparado aos efluentes providos do 1º ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem) e do chuveiro e lavatório.

Na tabela 47 são mostrados os resultados da caracterização de coliformes totais e termotolerantes das águas cinzas.

Tabela 47: Resultados obtidos com a caracterização de coliformes totais e termotolerantes das águas cinzas claras

Parâmetro	Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Lavagem	$1,6 \times 10^4$	$1,6 \times 10^3$	$1,07 \times 10^4$	$1,6 \times 10^4$	$6,9 \times 10^3$
	1º Enxágüe	$1,6 \times 10^4$	400	$3,4 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	$4,1 \times 10^3$
	2º Enxágüe	800	110	388	325	246,6
	Lavatório e Chuveiro	$1,6 \times 10^4$	$1,1 \times 10^3$	$8,7 \times 10^3$	$8,8 \times 10^3$	$7,6 \times 10^3$
	Mistura	$1,6 \times 10^4$	900	$4,3 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	$6,1 \times 10^3$
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Lavagem	$1,6 \times 10^4$	$1,6 \times 10^3$	$7,9 \times 10^3$	5×10^3	$5,6 \times 10^3$
	1º Enxágüe	30	2	8,5	2	9,7
	2º Enxágüe	3	2	2,3	2	0,5
	Lavatório e Chuveiro	$1,6 \times 10^4$	$1,1 \times 10^3$	$4,5 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$	$6,0 \times 10^3$
	Mistura	$1,6 \times 10^4$	$1,1 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	$4,6 \times 10^3$

Observa-se na tabela 47, a grande concentração de coliformes totais e termotolerantes nas águas cinzas, principalmente nas amostras coletadas do 1º

ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem) e do chuveiro e lavatório. Em todas as pesquisas citadas neste trabalho, a concentração de coliformes totais e termotolerantes para amostras de águas cinzas foi elevada, chegando a concentrações de 10^8 UNF/100mL para coliformes fecais e 10^6 UNF/100mL para coliformes termotolerantes. Esses parâmetros indicam o grande potencial de disseminação de doenças no uso inadequado dessas águas. As águas cinzas devem ser devidamente tratadas e desinfetadas antes de serem utilizadas no consumo não potável para que não ocorram riscos de saúde em seus usuários.

7.4. Qualidade das águas cinzas tratadas obtidas na pesquisa

Para o tratamento das águas cinzas claras foi utilizado reator biológico de contato, popularmente chamado de biodisco. O sistema de tratamento utilizado nas águas cinzas claras está descrito no capítulo 6, item 6.4.

Nas tabelas 48 a 56 estão descritos os resultados obtidos com a caracterização de 180 amostras de águas cinzas claras tratadas durante um período que se estendeu de novembro de 2006 a abril de 2007.

A temperatura do efluente, durante o período de monitoramento, oscilou entre 17 a 27°C e não foram detectados odores desagradáveis nas amostras de águas cinzas tratadas. Análises de oxigênio dissolvido foram realizadas no tanque de equalização de águas cinzas brutas e nas quatro câmaras distribuídas no reator. A média dos resultados de oxigênio dissolvido encontrada no tanque de equalização foi de 0,17 mg/L, na primeira câmara onde entrava o efluente bruto foi de 1,43 mg/L, na segunda câmara foi de 1,80 mg/L, na terceira câmara foi de 3,03 mg/L e na quarta câmara foi de 3,69 mg/l.

De modo geral, a maior eficiência obtida na remoção de poluentes das águas cinzas claras ocorreu no reator biológico de contato (biodisco). A qualidade

das águas cinzas claras obtida na saída do biodisco era de excelente qualidade para alguns tipos de reúso como por exemplo, para a irrigação de jardins e plantas ornamentais e para a limpeza de calçadas e pátios. Na etapa de filtração e desinfecção não ocorreu eficiência significativa na remoção de poluentes, porém a desinfecção foi necessária para exterminar quaisquer patógeno presente na água cinza já tratada e garantir um residual de cloro.

Na pesquisa realizada por Bazzarela (2005) foi utilizado para o tratamento das águas cinzas escuras reator anaeróbico compartilhado, seguido de filtro biológico aerado submerso e na seqüência, filtração e desinfecção. O autor afirma que a maior eficiência na remoção de poluentes nas águas cinzas escuras ocorreu na etapa de tratamento biológico (anaeróbia + aeróbia) e que no sistema de filtração e desinfecção não ocorreu eficiências significativas.

A tabela 48 mostra os resultados do parâmetro cor aparente obtidos com o tratamento das águas cinzas.

Tabela 48: Resultados do parâmetro cor obtidos com o tratamento das águas cinzas

Parâmetro		Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Cor Aparente (uC)	180 amostras coletadas	Água Cinza Bruta	220	53	124	114	35
		Água Cinza na Saída Biodisco	18	5	11	10	3
		Água Cinza Clorada	17	2	7	7	3
		Água Cinza Clorada e Filtrada	15	1	6	5	3

No gráfico 3 pode-se observar que a maior eficiência na remoção da cor aparente foi obtida no sistema de tratamento biológico com o uso de biodisco.

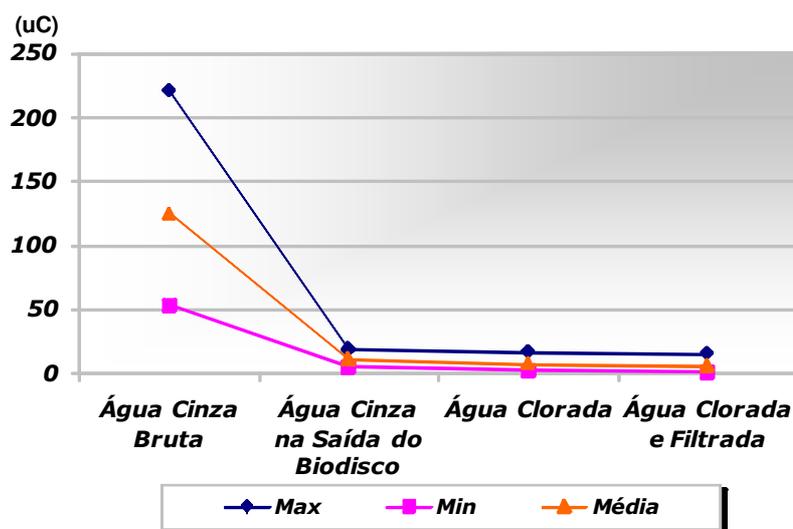


Gráfico 3: Remoção da cor aparente presente nas águas cinzas brutas

A remoção de cor aparente obtida na saída do biodisco foi de 91,1% e após a filtragem foi de 95,1%. Como não foi adicionado, antes da filtragem, coagulante nas águas cinzas, não se observaram grandes reduções do parâmetro cor aparente após a filtragem das águas cinzas. Na pesquisa realizada por Bazzarella (2005), a média da cor aparente para o efluente bruto era de 533 uC e na saída do tratamento biológico foi obtido uma remoção de 83%.

A tabela 49 mostra os resultados do parâmetro turbidez obtidos com o tratamento das águas cinzas.

Tabela 49: Resultados do parâmetro turbidez obtidos com o tratamento das águas cinzas

Parâmetro	Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Turbidez (UNT)	180 amostras coletadas					
	Água Cinza Bruta	118	26,8	67,5	65,8	22,8
	Água Cinza na Saída do Biodisco	4,1	0,8	1,7	1,6	0,7
	Água Cinza Clorada	4,1	0,7	1,4	1,2	0,6
	Água Cinza Clorada e Filtrada	3,1	0,6	1,2	1,1	0,5

No gráfico 4 observa-se que a maior eficiência na remoção da turbidez foi obtida na saída do biodisco.

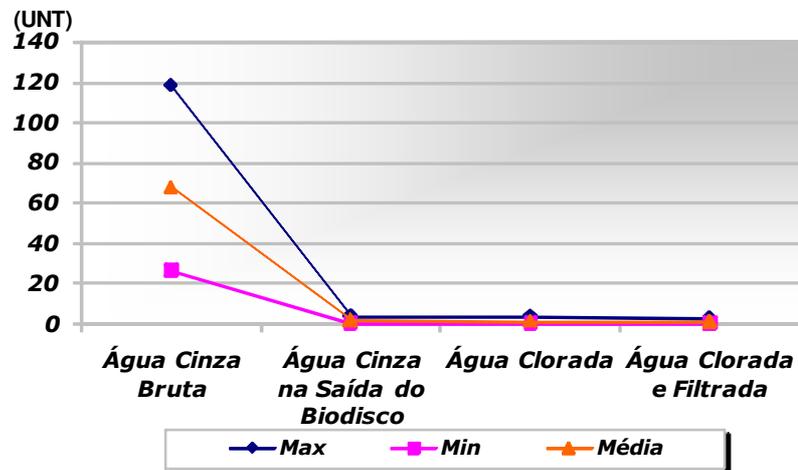


Gráfico 4: Remoção da turbidez presente nas águas cinzas

Observa-se nos resultados da tabela 49 que na saída do biodisco a média da turbidez foi de 1,7UNT, isso significa remoção de 97,5% e após a filtração, a média foi de 1,4UNT, remoção de 98.2%. Também não foi observada uma boa eficiência na remoção de turbidez na etapa de cloração e filtração das águas cinzas. Na pesquisa realizada por Bazzarella (2005), a média da turbidez para o efluente bruto era de 168 uC e na saída do tratamento biológico foi obtido uma remoção de 96%.

Na tabela 50 estão descritos os resultados das análises de sólidos totais, suspensos e dissolvidos das águas cinzas tratadas.

Tabela 50: Resultados das análises se sólidos totais, suspensos e dissolvidos das águas cinzas tratadas

Parâmetro		Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
ST (mg/L)	180 amostras coletadas	Água Cinza Bruta	765	300	517	520	93
		Água Cinza na Saída Biodisco	710	323	491	490	91
		Água Cinza Clorada	710	340	488	470	92
		Água Cinza Clorada e Filtrada	640	300	426	420	70
SST (mg/L)		Água Cinza Bruta	120	29	68	66	17
		Água Cinza na Saída Biodisco	10	-	5	5	2
		Água Cinza Clorada	8	-	4	4	2
		Água Cinza Clorada e Filtrada	10	-	4	4	2
SDT (mg/L)		Água Cinza Bruta	703	317	486	480	90
		Água Cinza na Saída Biodisco	703	334	484	468	92
		Água Cinza Clorada	669	295	449	441	88
		Água Cinza Clorada e Filtrada	633	258	421	418	70

- Não detectáveis

No gráfico 5 observa-se que os sólidos suspensos totais obtiveram maior eficiência de remoção.

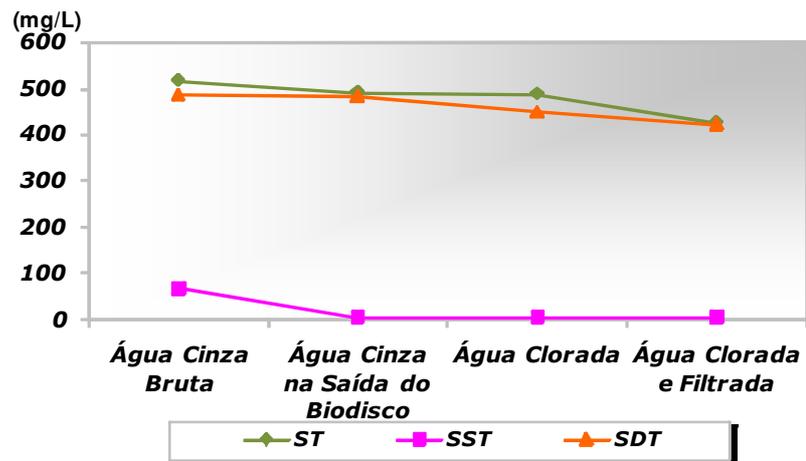


Gráfico 5: Remoção de sólidos suspensos totais nas águas cinzas

Verifica-se nos resultados da tabela 51 que a média encontrada para sólidos suspensos totais no efluente bruto foi de 68 mg/L e após a filtragem foi de 4 mg/L, significando uma redução de 94,1%. Já os sólidos dissolvidos não apresentaram grande remoção em nenhuma etapa do tratamento das águas cinzas. Bazzarela (2005) obteve em sua pesquisa uma média de 134 mg/L para sólidos suspensos totais e uma remoção de 95% nas águas cinzas tratadas.

Na tabela 51 estão alguns resultados dos parâmetros químicos analisados no estudo de tratabilidade das águas cinzas claras.

Tabela 51: Resultados dos parâmetros químicos analisados no estudo de tratabilidade de águas cinzas claras

Parâmetro	Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
pH	Água Cinza Bruta	8,2	6,8	7,4	7,4	0,3
	Água Cinza na Saída Biodisco	7,2	6,4	6,9	6,9	0,2
	Água Cinza Clorada	7,2	6,4	6,8	6,8	0,2
	Água Cinza Clorada e Filtrada	7,2	6,4	6,8	6,8	0,2
Condutividade (µS/cm)	Água Cinza Bruta	1.451	482	851	833	243
	Água Cinza na Saída Biodisco	1.449	473	770	686	240
	Água Cinza Clorada	1.589	519	895	760	295
	Água Cinza Clorada e Filtrada	1.545	350	842	751	289
Alcalinidade (mg/L)	Água Cinza Bruta	224	80	132	120	40
	Água Cinza na Saída Biodisco	156	44	85	82	25
	Água Cinza Clorada	152	46	85	80	25
	Água Cinza Clorada e Filtrada	152	46	85	80	25
Óleos e graxas (mg/L)	Água Cinza Bruta	104,0	16,0	55,3	52,0	20,7
	Água Cinza na Saída Biodisco	48,0	12,0	24,3	24,0	10,3

Verifica-se na tabela 51 que os valores de pH para as amostras de águas cinzas tratadas, oscilaram em torno de 7,0. Pouca oscilação observou-se também nos resultados de condutividade das águas cinzas tratadas. Porém nos resultados de alcalinidade foi obtida uma remoção de 35,6%. Nos resultados de óleos e graxas foi obtida uma remoção de 56,1%.

Na tabela 52 estão os resultados do parâmetro fósforo obtidos nos ensaios de tratabilidade das águas cinzas.

Tabela 52: Resultados do parâmetro fósforo obtidos nos ensaios de tratabilidade das águas cinzas

Parâmetro	Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Fósforo (mg/L)	180 amostras coletadas					
	Água Cinza Bruta	12,7	1,9	5,5	4,8	2,5
	Água Cinza na Saída Biodisco	11,0	1,4	4,2	3,9	2,1
	Água Cinza Clorada	11,4	1,3	4,1	3,6	2,2
	Água Cinza Clorada e Filtrada	10,5	1,1	3,7	3,1	1,9

A remoção de fósforo no estudo de tratabilidade de águas cinzas foi de 32,7%. Percebe-se nos resultados da tabela 52 uma grande oscilação na concentração de fósforo nas águas cinzas, isso decorre devido ao uso mais ou menos intenso de produtos que contém fósforo como, por exemplo, produtos para a lavagem de roupas e para higiene pessoal.

Na tabela 53 estão descritos os resultados de nitrogênio Total Kjeldhal, nitrogênio amoniacal e nitrito para as águas cinzas tratadas.

Tabela 53: Resultados obtidos com análises de NTK, nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito nas águas cinzas tratadas

Parâmetro		Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
NKT (mg/L)	180 amostras coletadas	Água Cinza Bruta	30,8	8,7	17,4	16,8	5,7
		Água Cinza na Saída Biodisco	17,9	-	6,4	5,6	4,4
		Água Cinza Clorada	8,4	-	2,9	2,8	2,5
		Água Cinza Clorada e Filtrada	6,2	-	1,6	0,6	2,1
NH3 (mg/L)		Água Cinza Bruta	23,2	3,1	11,3	9,5	5,6
		Água Cinza na Saída Biodisco	14,6	-	3,6	3,1	3,4
		Água Cinza Clorada	7,0	-	0,9	-	1,8
		Água Cinza Clorada e Filtrada	5,3	-	0,6	-	1,3
NO ²⁻ (mg/L)		Água Cinza na Saída Biodisco	0,64	0,03	0,37	0,43	0,19
		Água Cinza Clorada	0,58	-	0,05	-	0,14
		Água Cinza Clorada e Filtrada	0,51	-	0,05	-	0,29

- não detectáveis

As formas predominantes de nitrogênio nos esgotos domésticos são: nitrogênio orgânico (uréia, aminoácidos e outras substâncias orgânicas do grupo amino) e a amônia. As águas cinzas também apresentam nitrogênio orgânico e amoniacal. Na tabela 53 observa-se que para as águas cinzas brutas a média de nitrogênio total Kjeldhal foi de 17,4 mg/L e nitrogênio amoniacal foi de 11,3 mg/L e foi obtido uma redução de nitrogênio total kjeldhal de 63,2% na saída do bio disco e para o nitrogênio amoniacal uma redução de 68,1%. Não foram realizadas análises de nitrato devido à problemas com equipamento.

Na tabela 54 estão os resultados dos parâmetros de DBO e DQO para as águas cinzas tratadas.

Tabela 54: Resultados dos parâmetros de DBO e DQO para as águas cinzas tratadas

Parâmetro		Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
DBO (mg/L)	180 amostras coletadas	Água Cinza Bruta	220	100	150	149	35
		Água Cinza na Saída Biodisco	<10	<10	<10	<10	-
DQO (mg/L)	180 amostras coletadas	Água Cinza Bruta	432	46	249	250	98
		Água Cinza na Saída Biodisco	71	21	34	31	10
		Água Cinza Clorada	71	21	36	32	12
		Água Cinza Clorada e Filtrada	66	21	34	32	10

Todas as análises de DBO realizadas após a saída do biodisco obtiveram resultados <10 mg/L. Verifica-se na tabela 54 que os resultados de tratabilidade das águas cinzas na remoção de BDO e DQO foi bastante significativo chegando a 93,4% e a 86,3%, respectivamente.

Na pesquisa realizada por Bazzarella (2005), a remoção de DBO no reator anaeróbio compartilhado foi de 69% e em seguida, no filtro biológico aerado submerso foi de 90%. Já a remoção de DQO no reator anaeróbio compartilhado foi de 74% e em seguida, no filtro biológico aerado submerso foi de 74%.

Análises de carbono orgânico total foram realizadas no estudo de tratabilidade de águas cinzas. O carbono é um elemento químico que entra na constituição dos seres vivos e de todos os compostos orgânicos. Como o carbono ao oxidar-se consome o oxigênio dissolvido na água, a quantificação do carbono orgânico total é um bom indicador da presença de matéria orgânica nos meios hídricos. Os resultados obtidos com a caracterização do carbono orgânico total nas águas cinzas tratadas estão descritos na tabela 55.

Tabela 55: Resultados das análises de carbono orgânico total (COT) obtidos no estudo de tratabilidade das águas cinzas

Parâmetro	Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão	
COT (mg/L)	180 amostras coletadas	Água Cinza Bruta	135,0	46,6	82,5	81,2	21,6
	Água Cinza na Saída Biodisco	17,0	10,0	12,4	12,6	1,9	
	Água Cinza Clorada	17,0	10,6	12,4	11,7	1,8	
	Água Cinza Clorada e Filtrada	17,0	10,6	12,4	11,8	1,8	

Verifica-se nos resultados da tabela 55 que a concentração média de carbono orgânico total nas águas cinzas brutas foi de 82,5 mg/L e nas águas cinzas tratadas foi de 12,4 mg/L, uma redução de 84,9%. Na tabela 56, mostra-se os resultados obtidos com análises de coliformes totais e coliformes termotolerantes das águas cinzas tratadas.

Tabela 56: Resultados das análises de coliformes totais e coliformes termotolerantes obtidos no estudo de tratabilidade das águas cinzas

Parâmetro		Amostras	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Coliformes Totais (UFC/100mL)	180 amostras coletadas	Água Cinza Bruta	$>1,6 \times 10^4$	$2,2 \times 10^3$	$1,4 \times 10^4$	$1,6 \times 10^4$	$4,5 \times 10^3$
		Água Cinza na Saída Biodisco	$1,1 \times 10^3$	70	303	240	190
		Água Cinza Clorada	<2	<2	<2	<2	-
		Água Cinza Clorada e Filtrada	<2	<2	<2	<2	-
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)		Água Cinza Bruta	$>1,6 \times 10^4$	$1,4 \times 10^3$	$6,3 \times 10^3$	$3,3 \times 10^3$	$5,2 \times 10^3$
		Água Cinza na Saída Biodisco	40	2	9	4	10
		Água Cinza Clorada	<2	<2	<2	<2	-
		Água Cinza Clorada e Filtrada	<2	<2	<2	<2	-

Verifica-se nos resultados da tabela 56 que a concentração de coliformes totais e coliformes termotolerantes nas águas cinzas é elevada, tornando seu uso, sem tratamento, inadequado para a descarga de vasos sanitários, devido ao risco de contato humano direto.

A média da concentração de coliformes totais encontrada nas águas cinzas brutas foi de $1,4 \times 10^4$ UFC/100mL e para coliformes termotolerantes foi de $6,3 \times 10^3$ UFC/100mL. Observa-se ainda uma redução de coliformes totais e termotolerantes bastante significativa nas amostras de águas cinzas coletadas na saída do biodisco, sendo 97,8% e 99,8%, respectivamente. Já nas amostras coletadas após a desinfecção, a concentração de coliformes totais e termotolerantes foi <2 UFC/100mL. Apesar de a redução ter sido bastante significativa nas amostras coletadas na saída do biodisco, a desinfecção foi indispensável para a inativação de

quaisquer patógeno presente nas águas cinzas e principalmente, para a obtenção do residual de cloro.

A desinfecção tem caráter corretivo e preventivo, isso porque mesmo quando a água é tratada ela pode ser contaminada ao longo do percurso até o consumo final e a desinfecção auxilia na prevenção de proliferação de limo em reservatórios.

Na pesquisa realizada por Bazzarella (2005), a concentração média de *E. coli* (*Escherichia Coli* é comumente utilizada como um indicador de contaminação fecal) para águas cinzas escuras foi de $5,4 \times 10^5$ NMP/100mL e para coliformes totais foi de $1,9 \times 10^7$ NMP/100mL. No reator anaeróbio combinado, utilizado para tratar as águas cinzas escuras, foi obtido uma redução de 90% para *E. coli* e 99% para coliformes totais. Na seqüência, as águas cinzas eram tratadas num filtro biológico aerado submerso. Na entrada do filtro, a concentração de *E.coli* era de $1,8 \times 10^4$ NMP/100mL e a concentração de coliformes totais era de $3,4 \times 10^5$ NMP/100mL e foi obtida, na saída do filtro, uma redução de 99,1% e 88,5% respectivamente. Na saída do filtro biológico aerado submerso as águas cinzas escuras eram cloradas e as concentrações médias de *E. coli* foram de 1,5 NMP/100mL e coliformes totais 5,4 NMP/100mL.

A escolha do uso do hipoclorito de sódio para a desinfecção das águas cinzas ocorreu devido à facilidade de manuseio e ao custo relativamente baixo. As dosagens utilizadas para a desinfecção e o residual de cloro obtido após 30 minutos de contato estão descritos na tabela 57.

Tabela 57: Dosagens utilizadas para a desinfecção das águas cinzas claras

Volume de água/ensaio (litros)	Dosagem (mL)		Tempo de contato (minutos)	Residual de cloro (mg/L)	
	mínimo	máximo		mínimo	máximo
160	70	150	30	0,8	1,7

Para a dosagem mínima e máxima de hipoclorito de sódio utilizada na desinfecção das águas cinzas claras, a concentração de cloro ativo foi de 8,7 mg/L e 23,4 mg/L respectivamente.

Na foto 17 mostra-se no frasco da direita uma amostra de água cinza bruta e no frasco da esquerda uma amostra de água cinza coletada na saída do biodisco.



Foto 17: Amostra de água cinza bruta (à direita) e água cinza coletada na saída do biodisco (à esquerda)

A foto 18 mostra uma amostra de água cinza bruta, à direita, uma amostra de água cinza coletada na saída do biodisco, no centro, e uma amostra de água cinza já filtrada e clorada, à esquerda.



Foto 18: Amostra de água cinza bruta (à direita), água cinza coletada na saída do biodisco (no meio) e água cinza já filtrada e clorada (à esquerda)

7.5. Biofilme - sistema experimental de tratamento de águas cinzas claras

Segundo Melchior et. al. (2003), as bactérias são organismos unicelulares que se apresentam isoladas ou em cadeias e cuja forma varia de esférica a bastonetes ou espirais. Seu tamanho não excede 1,5 micrômetros de comprimento. Quando se agrupam formando filamentos, estes podem atingir centenas de micrômetros. No processo de lodos ativados elas se dividem em bactérias não filamentosas e filamentosas.

Os autores afirmam ainda que as bactérias filamentosas estão presentes no processo de lodos ativados no interior dos flocos formando a macroestrutura. Sua presença contribui para uma boa eficiência do processo, já que possuem alta capacidade de consumir matéria orgânica e, conseqüentemente produzir um efluente de boa qualidade. Se o número de bactérias filamentosas permanecer constante, normalmente não haverá problemas quanto a sedimentação do lodo.

No entanto, se o número de filamentosas começar a aumentar e esses filamentos se estenderem para fora dos flocos, haverá problemas na sedimentação. Esse fenômeno é conhecido como intumescimento filamentoso do lodo.

Durante o período de monitoramento do sistema experimental de tratamento de águas cinzas claras, foram verificadas em microscópio amostras de biofilme coletadas dos discos localizados nas quatro câmaras do reator. A foto 19 mostra o biofilme formado na primeira câmara de contato do sistema experimental de tratamento de águas cinzas claras.



Foto 19: Biofilme formado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas claras

A foto 20 mostra a presença predominante de bactérias filamentosas nos dois primeiros discos do sistema localizados na primeira câmara do reator, onde ocorria a entrada do efluente bruto. Nos demais discos havia a predominância de protozoários, rotíferos, anelídeos, etc.

As fotos do intervalo 20 a 25 foram obtidas em microscópio óptico que emprega dois sistemas de lentes, ocular e objetiva, através das quais a imagem ampliada é obtida. Para a realização das fotos foi utilizada uma ampliação ocular de

10x e uma ampliação linear da objetiva de 40 a 45x, resultando numa ampliação máxima de 400 a 450x.

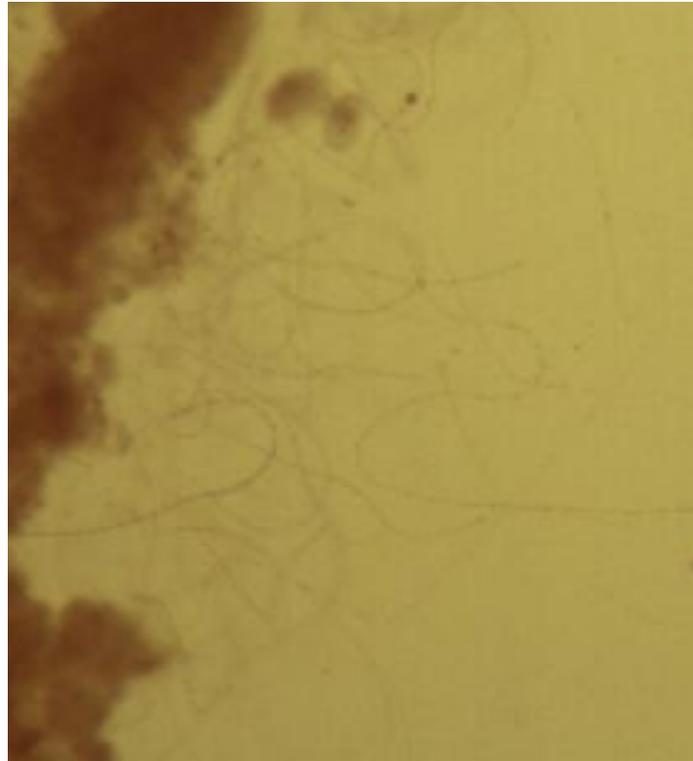


Foto 20: Bactérias filamentosas presentes nos dois primeiros discos do sistema experimental de tratamento de águas cinzas claras

Ocular 10x, Objetiva 40 a 45x – ampliação máxima de 400 a 450x

Melchior et. al. (2003) descrevem que os protozoários são microrganismos unicelulares, microscópicos, com tamanho variando de 5 a 5000 μm , embora a maioria das espécies apresente de 30 a 300 μm de comprimento. Algumas espécies formam colônias, sendo suas células fundamentalmente independentes e similares na estrutura e função.

A forma das células é bastante variada, sendo as mais comuns: a esférica, a oval, a alongada ou a achatada. São tipicamente translúcidos (transparentes), mas algumas espécies podem apresentar coloração devido à ingestão de alimento,

material de reserva ou pigmento (clorofila). Alimentam-se de bactérias, outros protozoários e de matéria orgânica dissolvida e particulada.

Melchior et. al. (2003) descreve que os protozoários podem ser divididos em grupos de acordo como tipo de organela utilizada para a locomoção e captura de alimentos:

- ✓ Ciliados: possuem cílios que são organelas curtas e numerosas em forma de fio, que se projetam da parede da célula. Os cílios encontram-se arranjados no sentido longitudinal, diagonal e oblíquos, apresentando movimentos ondulatórios e coordenados ao longo da célula. Podem ser agrupados em:
 - Livre nadantes: são os ciliados que possuem cílios distribuídos regularmente por toda célula e nadam livremente entre os flocos presentes;

Na foto 21 são mostrados os protozoários livre nadantes presentes no biofilme formado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas.



Foto 21: Protozoários Livre Nadantes presentes no biofilme formado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas

Ocular 10x, Objetiva 40 a 45x – ampliação máxima de 400 a 450x

- Predadores de flocos: são microrganismos cuja célula é achatada dorsoventralmente. Seus cílios são modificados e agrupados na parte que fica em contato com o substrato. Retiram seu alimento dos flocos pelo batimento dos cílios ventrais sobre o sedimento;
- Fixos ou penduculados: podem ser isolados ou coloidais. Estão ligados ao substrato por pedúnculo e seus cílios encontram-se concentrados na região anterior, próximo a *boca*. O batimento destes cílios cria uma corrente de água que capta o alimento do meio circulante. Algumas espécies possuem estruturas semelhantes a espinhos no lugar de cílios. Estas estruturas são responsáveis pela captura passiva de presas que, por descuido as tocam. Alguns gêneros são provindos de uma organela contrátil, conhecida por mionema, que se localiza no interior do pendúnculo. Esta organela permite ao ciliado “fugir” de predadores através de sua rápida e eficiente contração.

Na foto 22 são mostrados os protozoários penduculados presentes no biofilme formado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas.

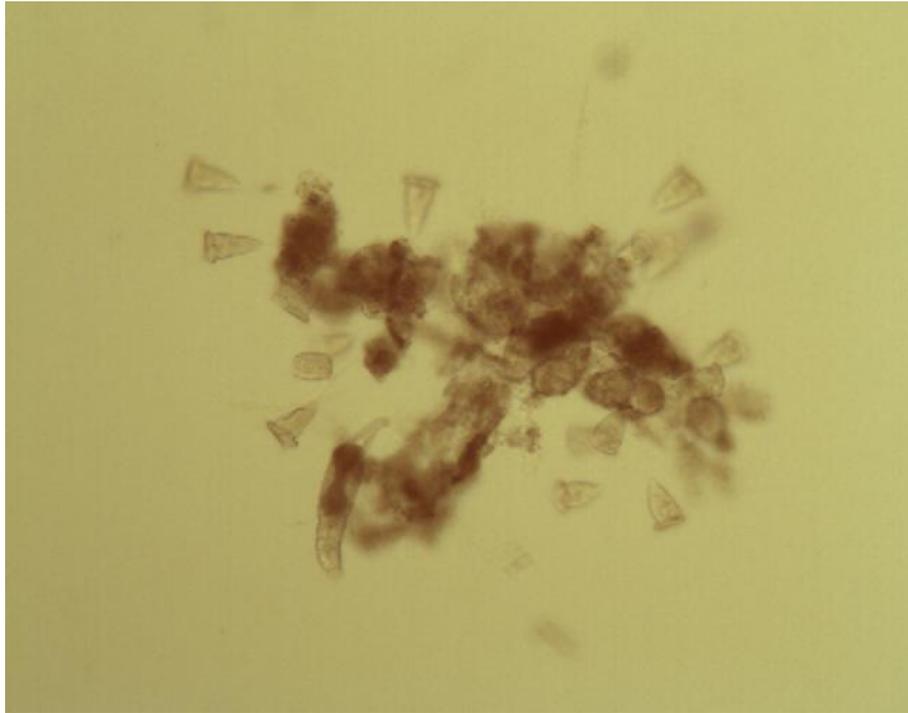


Foto 22: Protozoários Penduculados presentes no biofilme formado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas

Ocular 10x, Objetiva 40 a 45x – ampliação máxima de 400 a 450x

- ✓ Flagelados: são protozoários que se locomovem através do flagelo, que são organelas em forma de filamentos alongados, pouco numerosos, que se projetam de pontos específicos da célula (geralmente na parte anterior). Executam movimentos ondulatórios na água, trazendo a célula para o próprio lado ou para o lado oposto da inserção do flagelo. Sob condições adversas, o flagelo pode se perder, mas sua regeneração ocorre prontamente.

Já os micrometazoários são microrganismos formados por várias células que, agrupadas, formam verdadeiros tecidos. Células diferentes possuem funções diferentes. No processo de lodos ativados são representados pelos anelídeos, rotíferos, nematóides e tardígrados.

Nas fotos 23 a 25 são mostrados os anelídeos e os rotíferos, presentes no biofilme formado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas.

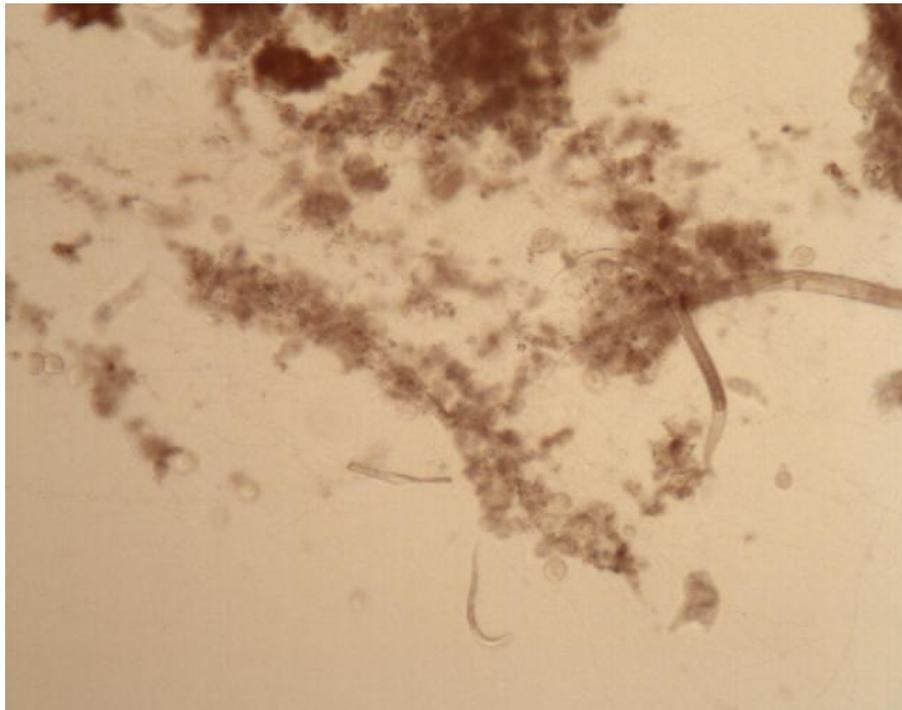


Foto 23: Anelídeos presentes no biofilme formado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas

Ocular 10x, Objetiva 40 a 45x – ampliação máxima de 400 a 450x



Foto 24: Anelídeo presente no biofilme formado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas

Ocular 10x, Objetiva 40 a 45x – ampliação máxima de 400 a 450x

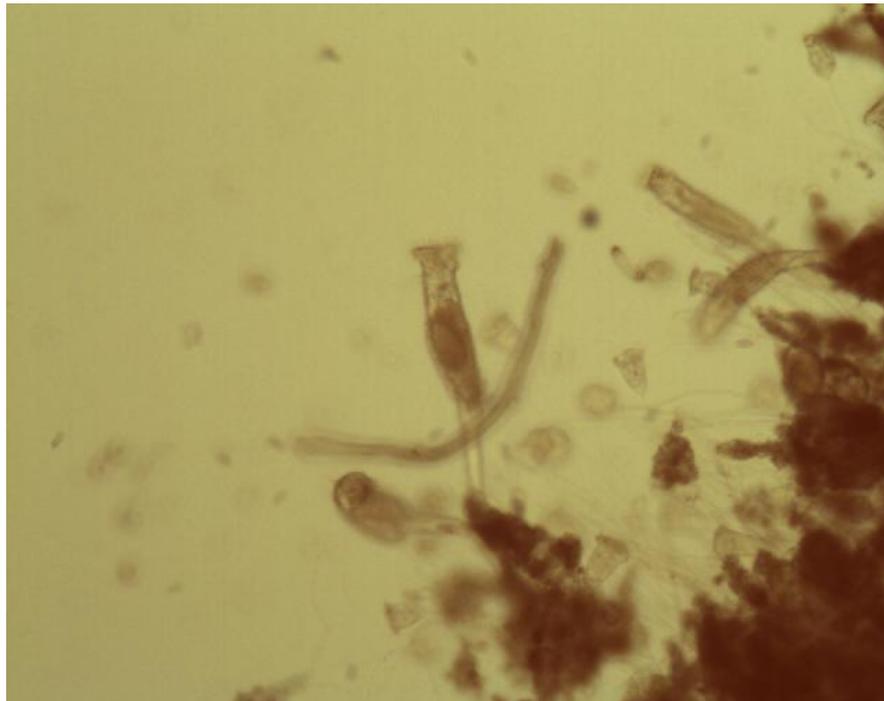
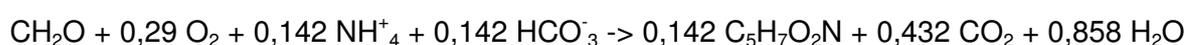


Foto 25: Rotíferos presentes no biofilme formado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas

Ocular 10x, Objetiva 40 a 45x – ampliação máxima de 400 a 450x

7.6. Volume de biomassa gerado no sistema experimental de tratamento de águas cinzas

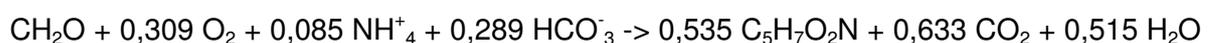
Grady Jr., Daigger & Lim (1998) citam uma típica equação estequiométrica molar para o crescimento bacteriano no carboidrato (CH_2O) com amônia como fonte de nitrogênio:



Onde, $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ é a fórmula empírica para massa da célula.

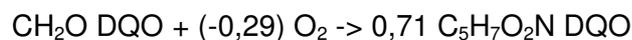
Observa-se que a taxa de biomassa é de 0,142 mols por mol de carboidrato utilizado e que 0,29 mols de oxigênio são requeridos para sintetizar essa biomassa.

Utilizando o peso molecular de cada reagente e de cada produto tem-se a equação estequiométrica de massa:



Onde, o peso molecular para os elementos são: CH_2O , 30; O_2 , 32; NH_4^+ , 18; HCO_3^- , 61; $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$, 113; CO_2 , 44; e H_2O , 18. Observa-se na equação estequiométrica de massa que a taxa de biomassa é de 0,535 gramas por grama de carboidrato usada e que para isso são utilizadas 0,309 gr de oxigênio.

Agora, quando é utilizada uma equação estequiométrica que representa o balanço de DQO tem-se apenas três constituintes, pois não ocorre mudança no estado de oxidação para os demais constituintes:



Observa-se que o coeficiente estequiométrico para o oxigênio carrega sinal negativo mesmo em se tratando de um reagente porque está expresso em termos de DQO consumido e que cada gr de carboidrato usado demanda 0,29 gr de oxigênio para sintetizar 0,71 gr de biomassa.

Grady Jr., Daigger & Lim (1998) citam ainda a massa equivalente da DQO para alguns constituintes, dentre eles tem-se:

- ✓ 1,42 gramas de DQO equivale a 1 grama de $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ (biomassa)

No estudo experimental de tratamento de águas cinzas a DQO média do efluente consumido foi de 215 mg/L, então temos:

215 mg/L de DQO consumido x (0,71 gr biomassa / 1 gr DQO consumido) x (1 gr / 1,42 gr equivalente) de biomassa resultam em 107,5 mg/L de biomassa.

O volume de efluente bruto tratado diariamente no sistema experimental era de 500 litros. Então no sistema experimental de tratamento de águas cinzas, o volume diário de biomassa gerado era de 53.750 mg ou 54 g de biomassa.

Durante os ensaios de tratabilidade de águas cinzas, foram coletadas 5 amostras de lodo para a elaboração de ensaios de ovos de helmintos. Os resultados

demonstraram ausência de ovos de helmintos em todas as amostras de lodo coletadas.

Helmintos são vermes achatados pertencentes ao filo Platyhelminthes. Os helmintos apresentam como habitat principal o intestino humano e em geral as enfermidades produzidas pelos helmintos se devem ao consumo de alimentos contaminados.

Essas enfermidades podem ocorrer por meios endógenos (animais contaminados) ou exógenos (contaminação fecal das águas que regam as hortaliças e que posteriormente são consumidas cruas ou mal lavadas e cozidas). As principais doenças produzidas por helmintos são: ancilostomíase, ascaridíase, teníase, cisticercose, esquistossomose mansoni, estrogiloidíase, enterobíase, filariases e a fasciolíase.

8. USOS ATRIBUÍDOS ÀS ÁGUAS CINZAS E ÀS ÁGUAS PLUVIAIS TRATADAS

O tratamento de águas cinzas e de águas pluviais se faz necessário por uma série de fatores relacionados ao grau de exigência mínima de qualidade da água para o uso não potável. Segundo o manual do SINDUSCON (2005), para usos como rega de jardim, lavagem de pisos, descargas de bacias sanitárias, lavagem de veículos, lavagem de roupas e utilização ornamental (espelhos d'água e chafarizes) é necessário que, após o tratamento das águas cinzas e das águas pluviais, as seguintes características sejam verificadas:

1. **Uso de águas cinzas e de águas pluviais para rega de jardim e**

lavagem de pisos:

- não deve apresentar odores desagradáveis;
- não deve conter componentes que agredam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas;
- não deve ser abrasiva;
- não deve manchar superfícies;
- não deve apresentar risco de infecções ou contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

2. **Uso de águas cinzas e de águas pluviais para descarga em**

vasos sanitários:

- deverá contemplar as restrições do item 1;
- não deve deteriorar os metais sanitários e máquinas.

3. **Uso de águas cinzas e de águas pluviais para lavagem de**

veículos:

- deverá contemplar as restrições do item 1;

- não deve conter sais ou substâncias remanescentes após secagem;

4. Uso de águas cinzas e de águas pluviais para lavagem de roupas:

- deverá contemplar as restrições do item 1;
- deve ser incolor;
- não deve ser turva;
- deve ser livre de algas;
- deve ser livre de partículas sólidas;
- deve ser livre de metais;
- não deve deteriorar equipamentos;

5. Uso de águas cinzas e de águas pluviais para recreação ou uso ornamental:

- deverá contemplar as restrições do item 4;
- não deve provocar irritações nos olhos, pele, boca e garganta dos usuários;

O uso das águas cinzas e das águas pluviais deve-se restringir somente ao consumo não potável devido aos seguintes fatores:

- ✓ risco elevado para a saúde dos usuários;
- ✓ falta de normas técnicas adequadas para o reúso de águas cinzas;
- ✓ falta de apoio e de fiscalização pelas instituições governamentais;
- ✓ falta de preparo, de controle e de manutenção do processo de tratamento de água para fins potáveis, pelo usuário não especializado;
- ✓ custo elevado do tratamento para fins potáveis, o que tornaria o sistema inviável;

Em casos onde há necessidade do reúso para fins potáveis (higiene pessoal, preparo de alimentos e consumo), as águas, além de verificar todas as características acima citadas, devem atender à Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde. Hespanhol (1999) relata que a presença de organismos patógenos e de compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes disponíveis para reúso, principalmente naqueles oriundos de estações de tratamento de esgotos de grandes conurbações, caracteriza o reúso potável como uma alternativa associada a riscos muito elevados, tornando-o praticamente inaceitável.

Além disso, os custos de sistemas de tratamento avançados que seriam necessários, levariam na grande maioria dos casos à inviabilidade econômico-financeira do abastecimento público, não havendo ainda, garantia de proteção adequada da saúde dos consumidores.

Abaixo serão citadas algumas referências internacionais e nacionais que estabelecem parâmetros de qualidade para o reúso não potável. Esses parâmetros serão comparados aos resultados de qualidade obtidos na pesquisa de tratabilidade de águas cinzas claras.

Alguns países têm desenvolvido diferentes alternativas para proteção da saúde pública e do meio ambiente. No entanto, o fator econômico é o que na maioria das vezes governa a escolha de uma estratégia, principalmente com relação aos custos de tratamento e de monitoramento de sistemas de reúso. Grande parte dos países desenvolvidos estabelece diretrizes conservativas, com baixo risco e utilizam tecnologias de alto custo. Entretanto, isso nem sempre garante um baixo risco, em virtude da falta de experiência operacional.

Em Berlim, na Alemanha, por exemplo, os padrões de qualidade microbiológica e higiênica de águas recicladas foram inicialmente utilizados tendo como base critérios dirigidos à saúde e à proteção ambiental, das diretrizes para águas recreativas. Em 1995 foram fixadas normas e critérios pelo “*Berlin Senate Department for Building and Housing*” (SENBAUWOHN, 1995 apud LI et al, 2003).

Já a USEPA (2004) descreve que não existem regulamentações federais nos Estados Unidos relacionadas diretamente à prática do reúso. Entretanto, diversos estados americanos, de maneira isolada, desenvolveram regulamentações ou guias para esse fim. Alguns estados como, por exemplo, a Califórnia, desenvolveram amplos regulamentos e guias especificando requisitos de qualidade e/ou processos de tratamento, para as várias aplicações da água de reúso. A USEPA (2004) em “*Guidelines for Water Reuse*”, descreve os estágios de tratamento, exigências de qualidade da água e as ferramentas de monitoramento para sistemas de reúso não potáveis.

Em Tóquio, no Japão, o reúso de águas residuárias tratadas foi promovido intensamente. O uso mais atribuído às águas recicladas no Japão destina-se a descarga de vasos sanitários. Critérios de qualidade de água reciclada para uso em bacias sanitárias foram definidos no “*Report on Reuse of Treated Wastewater*”.

Na tabela 58 são mostrados os limites estabelecidos para controle da qualidade da água de reúso não potável em referências internacionais.

Tabela 58: Limites estabelecidos para controle da qualidade da água de reúso não potável em referências internacionais

	Parâmetros					
	Turbidez (UNT)	pH	DBO (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Coliformes totais (UFC/100mL)	Coliformes termotolerantes (UFC/100mL)
Berlin	1 - 2	6 - 9	20	-	500	100
USEPA	2	6 - 9	10	≥1	-	ND
USA NSF	90	-	45	-	-	< 240
WHO	-	-	-	-	1000 (m) 200 (g)	-

Fonte: Al-Jayyousi (2003)

ND - Não detectável

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2004)

USA-NSF – NATIONAL SCIENCE FOUNDATION OF USA

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION

(m) – mandatory

(g) – guideline

Na tabela 59 são apresentados alguns limites estabelecidos para reúso de água na descarga de vasos sanitários segundo algumas regulamentações internacionais.

Tabela 59: Limites estabelecidos para reúso de água na descarga de vasos sanitários segundo algumas regulamentações internacionais

	Parâmetros					
	Turbidez (uT)	SST (mg/L)	DBO (mg/L)	Coli. Total (UFC/100 mL)	Coli Termotolerantes (UFC/100mL)	Cloro livre (mg/L)
Arizona ⁱ	2 (méd) 5 (máx)	-	-	-	ND (méd) 23 (máx)	-
Califórnia ⁱ	2 (méd) 5 (máx)	-	-	2,2 (méd) 23 (máx)	-	-
Flórida ⁱ	-	5	20	-	ND (méd) 25 (máx)	-
Havai ⁱ	2 (máx)	-	-	-	2,2 (méd) 23 (máx)	-
Nevada ⁱ	-	-	30	-	2,2 (méd) 23 (máx)	-
Texas ⁱ	3	-	5	-	20 (méd) 75 (máx)	-
Washington ⁱ	2 (méd) 5 (máx)	30	30	2,2 (méd) 23 (máx)	-	-
Austrália ⁱⁱ	-	<10 (90%) 20 (máx)	<10 (90%) 20 (máx)	<1	<10 (90%) 30 (máx)	0,5 – 2,0 (90%) 2,0 (máx)
Sul da Austrália ⁱⁱⁱ	2 (méd) 5 (máx)	<10	<20	<10	-	-
Japão ^{iv}	5	-	10	10	10	-

ND - Não detectável

Fonte: i – United States Environmental Protection Agency - USEPA (2004);
ii – NSW Health (2002);
iii - Kayaalp (1996);
iv – Lazarova (2003)

Mujeriego et al (1999) também estabelecem alguns parâmetros de controle da qualidade da água de reúso para uso na descarga de vasos sanitários (tabela 60).

Tabela 60: Parâmetros de controle da água de reúso para vasos sanitários

Variáveis	Requisitos
DBO _{5,20}	< 10 mg/L
Coliformes Fecais	ND/100mL
Turbidez	< 2NTU
Cloro Residual	1 mg/L
pH	6 a 9

Fonte: Mujeriego et al (1999)
ND - Não detectável

Na tabela 61 são descritos alguns parâmetros de controle da água de reúso não potável descritos na NBR 13.969/1997 item 5.6.4.

Tabela 61: Parâmetros de controle da água de reúso não potável descritos na NBR 13.969/1997 item 5.6.4

Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes	pH	6 – 8
	Turbidez (UNT)	5
	SDT (mg/L)	< 200
	Cloro residual (mg/L)	0,5 – 1,5
	Coliformes termotolerantes NMP/100mL	< 200
Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	pH	-
	Turbidez (UNT)	5
	SDT (mg/L)	-
	Cloro residual (mg/L)	0,5
	Coliformes termotolerantes NMP/100mL	< 500
Descargas de vasos sanitários	pH	-
	Turbidez (UNT)	<10
	SDT (mg/L)	-
	Cloro residual (mg/L)	-
	Coliformes termotolerantes NMP/100mL	<500

Fonte: NBR 13.969/1997

Já o manual do Sinduscon (2005) estabelece os seguintes parâmetros de qualidade para reúso na descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos (tabela 62).

Tabela 62: Parâmetros de controle da água de reúso não potável descritos no manual do SINDUSCON (2005)

Descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos	pH	6 - 9
	Cor (uC)	≤ 10
	Turbidez (UNT)	≤ 2
	SST (mg/L)	≤ 5
	SDT (mg/L)	≤ 500
	DBO (mg/L)	≤ 10
	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	ND

Fonte: SINDUSCON (2005)

De modo geral, observa-se nos dados das tabelas 58 a 62 que os parâmetros de pH para controle da qualidade da água para reúso oscilam em torno

de 6 – 9. Na pesquisa de tratabilidade das águas cinzas claras, a média obtida para o parâmetro pH foi de 6,8.

O parâmetro turbidez oscila entre < 2 e 5 UNT, com exceção do reúso para descargas de vasos sanitários indicado na NBR 13.969/1997, que estabelece um limite < 10 UNT. A média do parâmetro turbidez obtida para as águas cinzas tratadas foi de 1,2 UNT.

Já o parâmetro cor somente é referenciado no manual do SINDUSCON (2005) que estabelece um limite ≤ 10 uC para usos na descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos. Na pesquisa de tratabilidade de águas cinzas, a média do parâmetro cor aparente foi de 6 uC.

Nas referências internacionais, o parâmetro SST oscila entre 5 e 30 mg/L para a descarga de vasos sanitários. O manual do SINDUSCON (2005) estabelece que a concentração de SST seja ≤ 5 mg/L. A média de SST das águas cinzas tratadas encontrada na pesquisa foi de 4 mg/L. Já os SDT, não são mencionados nas referências internacionais. A NBR 13.969/1997 estabelece para SDT um limite inferior a 200 mg/L para usos na lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes. Já o manual do SINDUSCON (2005) estabelece um limite inferior a 500 mg/L para usos na descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos. Na pesquisa de tratabilidade de águas cinzas foi obtido uma média de 421 mg/L de SDT.

Observa-se na tabela 58 que os valores de DBO estabelecidos oscilam entre 10 e 45 mg/L para reúso não potável. Na tabela 59, os valores de DBO estabelecidos oscilam entre 5 e 30 mg/L para a descarga de vasos sanitários. Mujeriego et al (1999) sugerem um limite ≤ 10 mg/L para uso na descarga de vasos

sanitários e no manual do SINDUSCOM (2005), o limite é ≤ 10 mg/L para descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de veículos. Todas as amostras de águas cinzas coletadas após o tratamento apresentaram concentração de DBO ≤ 10 mg/L.

As referências nacionais não estabelecem concentração de coliformes totais para águas de reúso. Na tabela 59 observa-se que o limite de coliformes totais para reúso na descarga de vasos sanitários é bastante restritivo, com valores entre 0 – 23 UFC/100mL. Nas águas cinzas tratadas e desinfetadas a concentração média de coliformes totais encontrada foi < 2 UFC/100mL.

A concentração de coliformes termotolerantes para as referências internacionais é estabelecida entre 0 – 75 UFC/100mL para uso na descarga de vasos sanitários. A NBR estabelece um limite < 200 NMP/100mL para lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes e um limite < 500 NMP/100mL para lavagens de pisos, calçadas, irrigação dos jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos e descarga de vasos sanitários. Já o manual do SINDUSCON (2005) estabelece que não deverá ser detectado coliformes termotolerantes nas águas utilizadas para a descarga de vasos sanitários, para a lavagem de pisos, para fins ornamentais e para a lavagem de veículos. Na pesquisa de tratabilidade de águas cinzas, a concentração de coliformes termotolerantes encontrada foi < 2 NMP/100mL.

Nas referências internacionais, o residual de cloro é limitado a concentrações máximas de 2 mg/L. Em Mujeriego et al (1999), o residual de cloro sugerido é de 1 mg/L e para a NBR 13.969/1997 o residual de cloro oscila entre 0,5

e 1,5 mg/L. Na pesquisa de tratabilidade de águas cinzas claras a concentração de cloro residual oscilou entre 0,8 e 1,7 mg/L.

Observa-se que os resultados obtidos na pesquisa de tratabilidade de águas cinzas claras atendem os limites estabelecidos pelas referências internacionais e nacionais. Verifica-se ainda que as águas cinzas claras tratadas no sistema experimental podem ser utilizadas para reúso não potável como na descarga de vasos sanitários, na lavagem de carros, na lavagens de pisos e calçadas, na irrigação de jardins, na manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos.

Para o uso não potável de águas pluviais, deve-se tomar como referencia a NBR 15527/2007. Os parâmetros de controle estão descritos na tabela 63.

Tabela 63: Parâmetros de qualidade de águas pluviais

Parâmetros	Faixa
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Ausência em 100mL
Cloro residual livre	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	< 2,0 uT, para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente	< 15 uH
pH	pH de 6,0 a 8,0

Fonte: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 15527/2007

No estudo de tratabilidade de águas pluviais todas as amostras coletadas e analisadas após o tratamento (filtração e desinfecção) atenderam aos padrões mínimos de qualidade exigidos para usos não potáveis segundo a NBR 15527/2007.

Apesar dos resultados de qualidade, obtidos no sistema experimental de tratamento de águas cinzas e de águas pluviais, terem sido satisfatórios, cada sistema de reúso ou de aproveitamento de águas pluviais deverá ser monitorado para controle da qualidade do efluente tratado, pois como já foi dito neste trabalho, a qualidade das águas cinzas brutas e das águas pluviais pode variar dependendo de diferentes fatores e poderá refletir na qualidade do efluente final.

8.1. Problemas relacionados ao reúso das águas cinzas e ao aproveitamento de águas pluviais

O principal requisito para a segurança do uso de sistemas de reúso de águas cinzas e de aproveitamento das águas pluviais é a determinação dos padrões mínimos de qualidade da água para fins não potáveis devido ao risco à saúde pública e à inviabilidade econômica.

Nos EUA algumas aplicações mais clássicas do reúso, como na descarga de vasos sanitários, já foram suficientemente pesquisadas e o acervo de dados permite o estabelecimento de níveis de qualidade seguros e não restritivos. Os dados históricos mostram um decréscimo nos níveis de exigência à medida que se acumula conhecimento sobre o assunto, sem que isso represente um proporcional aumento do risco à saúde de seus usuários.

Segundo Crook (1993), existem poucos dados publicados sobre os efeitos à saúde humana com relação ao uso de águas servidas na aquicultura, a maioria dos dados publicados é referente ao uso de águas servidas para consumo não potável, porém em aplicações urbanas.

O reúso de água requer medidas efetivas de proteção à saúde pública e ao meio ambiente e ambas devem ser tecnicamente e economicamente viáveis. Como a disponibilidade de água é mal distribuída em todo o mundo, é importante que normas sejam feitas para cada país de modo a se procurar o equilíbrio entre disponibilidade, tecnologia e risco (ANDERSON, 2001).

Em sistemas de reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais deve-se avaliar a sustentabilidade e a otimização de desempenho do sistema para investigar métodos de tratamento adequados. “Nossa sociedade necessita incrementar mudanças nos hábitos e desenvolver estilos de vida sustentáveis

através de novos conhecimentos e tecnologias e trazer maior proteção ao meio ambiente” (LETTINGA et. al., 2001).

Segundo Metcalf e Eddy (2004), o reúso de águas cinzas é uma prática cada vez mais difundida nos países desenvolvidos, mesmo onde a água ainda não é um recurso escasso, não somente pela necessidade de formação de uma nova consciência de que essa prática preserva o meio ambiente reduzindo impactos ambientais, como também pelo interesse no aprimoramento da tecnologia aplicada ao reúso.

As principais dificuldades para a implantação de sistemas de reúso de águas cinzas no Brasil deve-se a falta de normas técnicas para o uso não potável, a falta de conscientização da população para a necessidade de preservação dos recursos hídricos e energéticos, a falta de incentivo financeiro do governo e dos órgãos competentes e a falta de esclarecimento e ensino da população sobre o assunto.

As águas cinzas contêm muitas substâncias químicas que são utilizadas em casas, sendo que algumas dessas substâncias podem causar grandes impactos no meio ambiente. Os riscos à saúde pública dependem da fonte dos organismos patógenos, do tratamento aplicado e das rotas de exposição (OTTOSON & STRENSTROM, 2003). Já Jeppesen (1996) descreve que as águas cinzas podem conter coliformes termotolerantes em concentrações elevadas, indicando risco à saúde pública pela presença potencial de microorganismos patogênicos. Assim, é necessário a aplicação de diretrizes adequadas para possibilitar o reúso seguro e a redução do consumo de água potável.

É difícil assegurar que os sistemas de tratamento de águas cinzas e águas pluviais mantenham a mesma eficiência durante todo o período de operação. Pesquisas realizadas nos EUA e na Austrália indicam que, de 60% a 80% das

estações de tratamento de efluentes domésticos geram efluentes fora do padrão de qualidade em alguns períodos de operação o que leva a produção de efluentes com qualidade inaceitável para o reúso.

Para irrigação de gramados e jardins, o contato humano pode ser impedido pela irrigação subsuperficial e irrigação de superfície (quando em áreas não habitáveis), evitando neste último caso a formação de aerossóis devido ao risco de transmitir doenças diretamente por qualquer inalação de aerossóis ou indiretamente por contato com resíduo de spray. Aerossóis são definidos como partículas em suspensão no ar que variam de 0,01 a 50 μm de diâmetro.

Já o armazenamento das águas cinzas pode resultar na geração de odores ofensivos e o crescimento de microorganismos, inclusive coliformes termotolerantes. O reúso sem armazenamento minimiza o crescimento de microorganismos, e conseqüentemente reduz odores. Porém, o armazenamento faz-se fundamental, pois a produção de águas cinzas oscila durante o período de 24 horas. Já em sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais, o sistema de armazenamento necessita ser instalado, pois as águas pluviais são armazenadas para suprir as épocas de estiagem.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

9.1. Conclusões

Para o reúso das águas cinzas e o aproveitamento das águas pluviais é necessário efetuar o tratamento dessas águas e adequá-las aos padrões de qualidade compatíveis aos usos para os quais estas águas se destinarão, visando a diminuição dos riscos de saúde pública, a maior aceitabilidade dos usuários e a viabilidade técnica e econômica do empreendimento.

Em cada sistema de reúso de águas cinzas projetado deve-se considerar o comportamento do usuário, sendo que o volume e a concentração de contaminantes podem variar muito dependendo da tipologia da edificação, da localidade, do nível de ocupação da residência, da faixa etária, do estilo de vida, da classe social, da cultura e dos costumes dos moradores. Já em sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais deve-se averiguar as condições do local de instalação e quais fatores próximos ao local podem interferir na qualidade da água coletada.

Na caracterização das águas cinzas claras sem tratamento realizada nesta pesquisa, pôde-se constatar que as águas provindas do primeiro ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem) e do chuveiro e lavatório apresentam concentrações elevadas de matéria orgânica, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

As concentrações de cor aparente também foram significativas nas águas cinzas provindas do 1º ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem), lavatório e chuveiro. Já o parâmetro turbidez teve maior evidência no efluente provindo do chuveiro e lavatório. O pH das águas cinzas apresentou-se básico nas amostras coletadas do 1º ciclo da máquina de lavar roupas devido à presença de produtos químicos para lavagem de roupas. Nas amostras coletadas do 1º e 2º enxágüe, o pH apresentou-se próximo a 7,0 e nas águas provindas do chuveiro e lavatório,

ligeiramente ácido. A dureza das águas cinzas apresentou-se baixa, indicando que as águas cinzas são classificadas como brandas ou moles e que apresentam baixa probabilidade de incrustação.

De modo geral, as maiores concentrações de poluentes encontrados nas águas cinzas claras derivaram-se do 1º ciclo da máquina de lavar roupas, do chuveiro e do lavatório. Na mistura dessas águas provindas do 1º ciclo da máquina de lavar roupas, do chuveiro e do lavatório com as provindas do 1º e 2º enxágüe da máquina de lavar roupas ocorreu uma diluição, porém, os resultados de qualidade das águas cinzas misturadas constataram que essas águas precisam ser tratadas antes do seu uso final, mesmo que seja em usos não potáveis.

No sistema experimental de tratamento das águas cinzas pôde-se verificar que a maior eficiência na remoção de poluentes das águas cinzas claras foi obtida no sistema de biodisco. Nas amostras de águas cinzas claras coletadas na saída do biodisco pôde-se constatar uma redução na cor aparente de 91,1% e após a filtração e a desinfecção de 95,1% , na turbidez de 97,5% e após a filtração e a desinfecção de 98,2%, nos óleos e graxas de 56,1%, no fósforo de 32,7% e no nitrogênio total Kjeldhal de 63,2%. Já nas análises de DBO, todas as amostras coletadas na saída do biodisco apresentaram concentrações <10mg/L e a DQO média foi de 34mg/L, significando uma redução de 93,4% para DBO e 86,3% para DQO.

O sistema de filtração utilizado para o tratamento das águas cinzas não apresentou, neste caso, grande eficiência, pois não foi adicionado coagulante no efluente para auxiliar na retenção das partículas suspensas e dissolvidas. Já a desinfecção das águas cinzas foi de extrema importância para a inativação de quaisquer patógeno presente nas águas cinzas e principalmente, para a obtenção

do residual de cloro. Durante os ensaios foi mantido um residual mínimo e máximo de cloro nas águas cinzas tratadas de 0,8 e 1,7 mg/L.

Com relação ao biofilme formado no sistema experimental de tratamento (biodisco) de águas cinzas claras, pôde-se constatar uma maior evidência de bactérias filamentosas nos dois primeiros discos localizados na primeira câmara do reator, já nos demais discos a predominância era de protozoários livre nadantes, penduculados e micrometazoários como anelídeos e rotíferos.

A qualidade das águas cinzas tratadas obtidas no sistema experimental de tratamento de águas cinzas claras, atendeu aos padrões mínimos de qualidade estabelecidos na NBR 13.969/1997 item 5.6.4 e no manual do SINDUSCON (2005) para usos na descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos e calçadas, na irrigação de jardins, na manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos.

Nutrientes como fósforo e nitrogênio encontrados nas águas cinzas claras podem ser benéficos em sistemas de irrigação de jardins. Deve-se tomar cuidado com o tipo de planta a ser irrigada com águas cinzas, pois existem plantas que necessitam primordialmente de nitrogênio como o caso de gramas e outras, de fósforo. Em projetos de reúso onde as águas tratadas serão utilizadas na irrigação de jardins é necessário a verificação da demanda de nutrientes para o jardim em específico.

Já no sistema experimental de tratamento de águas pluviais os parâmetros analisados durante o período de monitoramento obtiveram as seguintes reduções: cor aparente de 62%, turbidez de 75,7%, Coliformes termotolerantes de 100%, Coliformes totais de 100% e não foram detectados odores desagradáveis em nenhuma das amostras de água coletada. Durante os ensaios foi mantido um residual mínimo e máximo de cloro de 0,6 – 1,2 mg/L.

A qualidade das águas pluviais obtidas no sistema experimental de tratamento de águas pluviais, atendeu aos padrões mínimos de qualidade exigidos pela NBR 15527/2007 para usos não potáveis em edificações.

De modo geral, sistemas de reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais devem ser instalados em locais que apresentem espaço físico adequado para alojar os equipamentos necessários, em locais que apresentem demanda não potável suficiente para o uso dessas águas após o tratamento e, principalmente locais que dispõem de operador devidamente treinado para manuseio desses equipamentos. Por isso, o uso de sistemas de reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais torna-se favorável em locais como condomínios residenciais, shopping centers, hotéis, centros esportivos, escolas, etc.

9.2. Recomendações

Algumas recomendações para novas pesquisas em sistemas de reúso de águas cinzas e em sistemas de aproveitamento de águas pluviais são citadas abaixo:

- ✓ estudar a presença de outros microrganismos presentes nas águas cinzas, tais como salmonela, giárdia, vírus entéricos, entre outros;
- ✓ estudar outros tipos de tratamento biológico para as águas cinzas visando o reúso não potável;
- ✓ avaliar a eficiência do tratamento de águas cinzas e águas pluviais com a adição de coagulantes no sistema de filtração;
- ✓ testar outros processos de desinfecção, como por exemplo, a desinfecção com radiação UV em águas cinzas e em águas pluviais;
- ✓ estudar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de reúso de águas cinzas em novos empreendimentos;

- ✓ estudar a qualidade das águas pluviais coletadas de pátios e estacionamentos onde pode-se encontrar óleos e graxas provindos de veículos;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. Resolução CNRH n° 54, de 28 de novembro de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de março de 2006.

3P TECHNIK. Informações sobre o aproveitamento das águas de chuva. Disponível em: <<http://www.água-de-chuva.com/>>. Acesso em: 24 mar. de 2001.

ADHITYAN, A. A dual-mode system for harnessing roof water for non-potable uses. *Urban Water*, 1(4), 318-321, 1999.

AGÊNCIA BRASIL. PAC prevê até 2010 levar água potável a 86% dos domicílios brasileiros. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2007/02/17/materia.2007-02-17.5383216215/view>>. Acesso em: 24 out. de 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Boletim Água 2005. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/SalaImprensa/noticiasExibe.asp?ID_noticia=353>. Acesso em: 01 out. 2007.

AISSE, M. M.; COURACCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O.; JURGENSEN, D.; LAPOLLI, F. R.; MELO, H. N. S.; PIVELLI, R. P.; LUCCA, S. J. Cloração e Descloração, Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003, cap. 4, p. 113-168.

AL-JAYYOUSI, O. R. Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination* 156, p. 181 – 192, 2003

ALMEIDA, M. C.; BUTLER, D.; FRIEDLER, E. At-source domestic wastewater quality. *Urban Water* 1, p. 49 – 55, 1999.

AMORIM, M. C. C. Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas: Estudo de caso no município de Petrolina - PE In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001. p.9. 1 CD – ROM.

ANDERSON, J. Prospect for international guidelines for water recycling. *Water* 21. p. 16-21, ago. 2001.

APPAN, A. A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable use. *Urban Water*, 1(3), 317-321, 1999.

ARBUÉS, F.; GARCIA-VALIÑAS, M. A.; MARTINEZ-ESPIÑEIRA, R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *Journal of Socio-Economics*. v. 32, n. 1, p. 81-102, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. São Paulo, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. P. 21 – 23.

BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações. 2005. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2005.

BIO – Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente. Economia de água. Rio de Janeiro, RJ. Ano XI n, 18, p. 17 – 36, abr/jun 2001.

BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de água. São Paulo: Manole, 2003, pg. 125 a 172.

BORGES, L. Z. Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos. 2003, 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Curso de pós- graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

BORTONE, G.; CIMATTI, E.; FAILLA, B.; SPADONI, M; STANTE, L. Innovative water saving systems in households in Europe. In: Inter-regional Conference on Environmental-Water, 2, 1999. Disponível em: http://www.wca-infonet.org/servlet/BinaryDownloaderServlet?filename=1019210758250_148.pdf&reflD=25327. Acesso em: 27 out. 2006.

BRANCATELLI, R. SP começa a investir em reúso de água. O Estado de São Paulo, 6 mai. 2007. Cidades/metrópole, Caderno meio ambiente, p. C 12.

BURNAT, J. M. Y.; MAHMOUD, N. Evaluation of on-site gray wastewater treatment plants performance in Bilien and Biet-Diko Villages/Palestine. In: International water demand management conference. Dead Sea, Jordan, 2004. Disponível em: <http://www.Wdm2004.org/new_web/technical-session/files/jamal_burnat.pdf>. Acesso em: 01 set. 2006.

BUTLER, D.; FRIENDLER, E.; GATT, K. Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows. Water Science Technology. v. 31, n. 7, p. 13-24, 1995.

CALIFORNIA GRAYWATER STANDARDS. Graywater systems for single family dwellings. Código Administrativo da Califórnia. Título 24. Parte 5, 1994. UNITED STATES CENSUS, 2000. Disponível em: <www.Census.gov./main/www/cen2000.html>. Acesso: 05 jul. 2006.

CAMPOS, J. D. et al. Barragem subterrânea de captação e barramento de água da chuva no semi-árido. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001. p.8, 1 CD – ROM.

CIA DE SABEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. Programa de controle e redução de perdas – Diretoria metropolitana de Distribuição – M. janeiro de 2004. Disponível em: http://www.comitepcj.sp.gopv.br/download/SABESP_Debora_Soares_29-01-04.pps. Acesso em 16 out. 2007.

CHENG, C. L. The evaluation of water conservation for green building in Taiwan. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. Proceedings. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v.1, p.B5-1B5-10, 2001.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*. v. 106, n. 1-3, p. 391-397, 1996.

CROOK, J. Critérios de qualidade da água para reúso. *Revista DAE (Departamento de Águas e Esgotos)- SABESP*. São Paulo, v. 53, n. 174, p. 10 a 18, nov/dez. 1993.

CROOK, J. Water reclamation and reuse criteria. IN: ASANO, T. Water quality management library – Volume 10. Wastewater reclamation and reuse . Pennsylvania, USA: Technomic Publication, 1998.

DACACH, N. G. Saneamento básico. 3 ed. Rio de Janeiro: Didática e Científica, 1990.

DELPHI. Delphi-Study Watertechnology in the year 2010. Ministry of the Environment Hessen Referat Ofentlichkeitsarbeit, 1999. Disponível em: <http://www.unep.or.jp>. Acesso em: 27 out. 2006.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination. *Water Science and Technology*, v. 39, n. 5, p. 25-32, 1999.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A.; ROBINSON, M. Measurement and modeling of quality changes in stored untreated grey water. *Urban Water*, v.1, n. 4, p. 293-306, 1999.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H.; LEDIN, A. A characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, v. 4, n. 1, p. 58 – 104, 2002.

FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: the field-testing of a collection system. *Building and Environment*. v. 34, n. 9, p. 765-772, 1999.

FIGUEIREDO, R. Banheiro livre de bactérias. *Fantástico: sua revista eletrônica*, 01 mai. 2005. Disponível em: < <http://fantastico.globo.com/Jornalismo/Fantastico/0AA955037-4438,00.html>> Acesso em: 25 out. 2007.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H.S. Avaliação do potencial de reúso de águas cinzas em edificações. In: I Conferência latino-americana de construção sustentável – X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2004. ENTAC/2004. 1 CD-ROM.

FONINI, A.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. S. Estudo para determinação da capacidade de aproveitamento das águas pluviais e das águas cinzas em um complexo esportivo universitário. In: I Conferência latino-americana de construção sustentável – X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2004. ENTAC/2004. 1 CD-ROM.

FORNARO, A.; GUTZ, I. G. R. Acid Deposition and Related Atmospheric Chemistry at the São Paulo Metropolis, Brazil: Part II – Contribution of Formic and Acetic Acids. São Paulo, 2000. Proceedings: São Paulo: FRG 2000.

FORTI, M. C. et al. Elements in the precipitation of São Paulo city (Brazil). *Atm. Environ*, 1999, 24B, p. 355-366.

FRASIER, G. W. Proceedings of water harvesting symposium. Berkeley: USDA (United states agricultural research service), 1975.

GARDNER, T.; COOMBES, P.; MARKS, R. Use of rainwater at a rang of scales in Australian urban environments. Disponível em: <<http://www.eng.Newcastle.edu.au/~cegak/Coombes/RainwaterScales.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2002.

GELT, J. Home use of gray water, rainwater conserves water and may save money. Disponível em: <<http://www.ag.Arizona.Edu/AZWATER/Arroyo/071rain.html>>. Acesso em: 13 dez. 2002.

GNADLINGER, J. A contribuição da captação de água de chuva para o desenvolvimento sustentável do semi-árido brasileiro: Uma abordagem focalizando o povo. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. Anais, Paraíba: ABRH, 2001, p.10, 1 CD – ROM.

GNADLINGER, J. Captação de água de chuva para uso doméstico e produção de alimentos: A experiência do estado de Gangu no norte da China. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001, p.13. 1 CD – ROM.

GNADLINGER, J. Coleta de água de chuva em áreas rurais. Associação Internacional de Sistemas de Coleta de Água de Chuva. 2º Fórum Mundial da Água. Holanda, 2000. Disponível em: <<http://irpaa.org.br/colheita/indexb.htm>>. Acesso em: 31 jul. 2003.

GUANAYEM, M. Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. Palestine, Applied Research Institute-Jerusalem. In: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS. Manheim, 2001. Proceedings, Germany, 2001. p11.

GUANGHUI, M. et al. The quality and major influencing factors of runoff in Beijing's urban area. In: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, Manheim, 2001. Proceedings, Germany, 2001, p. 10.

GRADY JR.; DAIGGER, G; LIM, H. Biological Wastewater Treatment. Second Edition, Revised and Expanded. 2 ed. CRC, 1998.

GREY, S. R.; BECKER, N. S. C. Contaminant flows in urban residential water system. *Urban Water*. v.4 n. 4 p. 331-346, 2002.

GUNTER, F. Wastewater treatment by greywater separation: Outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden. *Ecological Engineering*. v. 15, n. 1-2, p. 139-146, 2000.

HENZE, M.; LEDIN, A. Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters. New York: IWA Published, 2001.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*, 1(4), 308-316, 1999.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico – uma visão realista. In: *Água doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Coordenação de Aldo Rebouças, Benedito Braga e José Galizia Tundisi. Editora Escrituras, 1999.

HESPANHOL, I. Reúso integrado à gestão de recursos hídricos bases para planejamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Vitória, 1997. Disponível em: <<http://www.usp.br/cirra/arquivos/prof-simposio>>. Acesso em: 21 set. 2002.

HILL, S.; BIRKS, R.; DIAPER, C.; JEFFREY, P. An evaluating of single-house greywater recycling system. In: Proc. IWA International Symposium on Wastewater Reclamation & Reuse, 2003. Cidade do México. Disponível em: <http://www.rwthameswater.co.uk/en_gb/Downloads/PDFs/Final_102-Hills_S.pdf>. Acesso em: 21 set. 2005.

HINRICHSEN, D.; ROBEY, B.; UPADHYAY, U. D. Solutions for a water-short world. Baltimore, Johns Hophins School of Public Health. Population Information Program, 1997. Disponível em: http://www.infoforhealth.org/pr/m14chap2_2.shtml. Acesso em: 11 jun. 2006.

HOFKES, E. H. Rainwater harvesting for drinking water supply and sanitation. Londres: International reference center for communing water supply, 1981.

ILHA, M. S. O; GONÇALVES, O. M.; OLIVEIRA JR., O. B. Avaliação do desempenho de bacias sanitárias de volume de descarga reduzido quanto à remoção e transporte de sólidos. ANTAC, 2002.

INAMINE, M. et al. Rainwater catchment availability for building in drought-prone Okinawa and proposed numerical appraisal. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. Proceedings. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. v.1, p. D6-1 D1-6, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 2000a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 11 fev. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000b. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 ago. 2004.

IWANAMI, H. Rainwater utilization system in building. In CIBW62 SEMINAR, Tokyo Japan. Proceeding. 1985.

JALFIM, F. T. Considerações sobre a viabilidade técnica e social da captação e armazenamento da água da chuva em cisternas rurais na região semi-árida brasileira. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001, p.6. 1 CD – ROM.

JAMRAH, A.; AL-FUTAISI, A.; PRATHAPAR, S.; AHMED, M.; AL-HARRASI, A. Evaluating greywater reuse potencial for sustainable water resources management in the Sultanate of Oman. In International water demand management conference. Dead Sea. Jordan, 2004. Disponível em: <http://www.wdm2004.org/new_web/technical_session/files/ahmad_jamrah.pdf>. Acesso em: 01 set. 2006.

JEFFERSON, et al. Technologies for domestic wastewater recycling. Urban Water. 1, p. 285-292, 1999.

JEPPESEN, B. Domestic greywater re-use: Australia's challenge for the future, Desalination. 106 p. 311 – 315, 1996.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de esgoto doméstico. 4 ed. Rio de Janeiro: Segrac. 2005.

KAYAALP, N.M. Regulatory Framework in South Australia and reclaimed water reuse options and possibilities. Desalination. V. 106. N. 1 – 3 , p. 317 – 322, 1996.

KHAN, I. A. Domestic roof water harvesting technology in that desert, Índia. RWH Conference, IITD, New Delhi. abril de 2001. Disponível em: <<http://www.rainwaterharvesting.com/papersInPDF/App2.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2001.

KITA, I. et al. Local government's financial assistance for rainwater utilization in Japan. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. 9. Petrolina, 1999. Proceedings. Petrolina: ABRH, 1999, p. 5.

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E. Ecological Sanitation – a way to solve global sanitation problems?. Environmental International. v. 31, n. 3, p. 433-444, 2005.

LAVRADOR FILHO, J. Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

LAZAROVA, V.; HILLS, S.; BIRKS, R. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology*. V.3, n. 4, p. 69 – 77, 2003.

LEAL, A. C. et al. Gestão dos recursos hídricos e a construção das cidades construtoras para o próximo milênio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. Anais: Belo Horizonte. ABRH, 1999. 1 CD-ROM.

LEAL, U. Ciclo da água na edificação. *Téchne*, v. 9, n. 48, p. 45-6, set/out, 2000.

LETTINGA, G. et al. Environmental protection for sustainable development. New York: IWA Published, 2001.

LI, Z.; GULYAS, H.; BEHRENDT, J.; GAJUREL, D. e OTTERPOHL, R. High quality greywater recycling with biological treatment and 2-step membrane filtration. 2nd international symposium on ecological sanitation. Abr. 2003. Disponível em: <http://gtz.de/de/dokumente/en-ecosan-symposium-luebeck-session-e-2004.pdf>. Acesso em: 30 out. 2006.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas, SP: Ed. Átomo, 2005.

MANCUSO, P, C. S.; SANTOS, H. F. A escassez e o reúso de água em âmbito mundial. São Paulo: Manole, 2003, p. 12.

MARCH, J. G.; GUAL, M.; OROZCO, F. Experiences on graywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination*. v. 164, n. 3, p. 241-247, 2004.

MARCH, J. G.; GUAL, M.; SIMONET, B. M. Determination of residual chlorine in greywater using o-tolidine. *Talanta* 58, p. 995 – 1001, 2001.

MATIAS, J. A. B. Cisterna de placas pré-moldadas. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001, p.6, 1 CD – ROM.

MAY, S. Estudo do aproveitamento de águas pluviais para consumo não potável em edificações. 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MELCHIOR ET. AL. Tratamento de efluentes por processos de lodos ativados. In: 3º FÓRUM DE ESTUFOS CONTÁBVEIS. Limeira, 2003. Anais. Faculdades Integradas Claretianas – Rio Claro. Disponível em: <<http://www.ceset.unicamp.br/lte/Artigos/3fec2413.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2007.

MENDONÇA, P. A. O. Reúso de água em edifícios públicos. O caso da escola politécnica. Salvador, 2004. 162 p. Dissertação (Mestrado em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2004.

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering – Treatment and Reuse. 4 ed. New York: McGraw Hill, 2003.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria n° 518 de 25 de março de 2004. Disponível em: <<http://www.springway.com.br>>. Acesso em 30 out. 2006.

MOFFA, P. E. The control and treatment of industrial and municipal storm water. United states of America. Van Nostrand Reinhold, 1996.

MUJERIEGO, R. et al. The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse. Water Science Technology. v.40, n. 4-5, p. 1-9, 1999.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. Urban Water. v. 1, n. 4, p. 275 – 284, 1999.

NSW HEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises. Sidney, 2002. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2006.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey – the new colors of sanitation. Water 21, p. 31-41, out. 2001.

OTTOSON, J. STRENSTROM, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. Water Research. v. 37, n. 3, p. 645 – 655, 2003.

PAIVA, R. P. et al. A Preliminary Study of the Anthropogenic Contribution to São Paulo. Rainfall São Paulo, 1994. Proceedings: São Paulo: FRG 1994.

PALMIER, L. R. A necessidade das bacias experimentais para a avaliação da eficiência de técnicas alternativas de captação de água na região semi-árida do Brasil. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001, p.8. 1 CD – ROM.

PEREIRA JR., J. S. Recursos hídricos – conceituação, disponibilidade e usos. Brasília, 2004. Disponível em: <http://www2.camara.gov.br/publicacoes/estonotec/pdf/2004-2687.pdf>. Acesso em: 01 out. 2007.

PETRY, B.; BOERIU, P. Environmental Impact Assessment. Water Quality Management Strategies for Sustainable Use of Water Resources. *International Institute for Infrastructure, Hydraulic and Environmental Engineering*, 2000.

PHILIPPI, J. A. Introdução ao reúso de águas. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de águas. São Paulo: Manole, 2003. p. 6.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H.; PETERS, M. R.; LAPOLLI, F. R. Reúso de águas cinzas (greywater) e água de chuva em uma unidade residencial. In: 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2005.

PMSS – Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento: visão geral da prestação dos serviços de água e esgotos – 2003. Brasília: MCIDADES. SNSA: IPEA, 2004.

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. Informativo do comitê brasileiro do programa das nações unidas para o meio ambiente. Disponível em: <<http://www.unilivre.org.br/>>. Acesso em: 26 mar. 2001.

PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT (PBQP-H). Programa setorial da qualidade de louças sanitárias para sistemas prediais. 2008.

ROCHA, F. R. et al. Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo Metropolis, Brazil: Part I, Capillary electrophoresis of rainwater. São Paulo, 1998. Proceedings: São Paulo: FRG 1998.

RODRIGUES, L. C. S. Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória – Espírito Santo, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2005.

ROSE, J. B.; SUN, G.; GERBA, C. P.; SINCLAIR, N. A. Microbial and persistence of enteric pathogens in graywater from various household source. Water Research. v. 25, n. 1, p. 37-42, 1991.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. Ambiente construído, Porto Alegre. v. 2, n. 4, p. 7-18, 2002. Disponível em:<<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc11030.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2006.

SCHIMIDT, M. Captação de água de chuva na Alemanha. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001, p. 8. 1 CD – ROM.

SCHISTEK, H. A cisterna de tela e cimento. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001, p.10. 1 CD – ROM.

SCHONNING, G. Hygienic aspects on the reuse of source-separated human urine. In: NJF Seminar, Copenhagen, 2001. Disponível em: <http://www.agsci.kvl.dk/njf327/papers/reviewedSchonning.pdf>. Acesso em: 30 out. 2007.

SHIKLOMANOV, I. A. World Water Resources. A new appraisal and assessment for the 21st century, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris, 1998. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001126/112671eo.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2001.

SILVA, G. S. et. al. Implantação de uso racional da água em campi universitários. IN: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Paulo: ISBN, 2004.

SINDUSCON. Conservação e reúso de água em edificações. São Paulo. Prol Editora Gráfica, 2005.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnósticos dos serviços de água e esgoto (2005). Tabelas de informações e diagnósticos. Brasília: MCIDADES. SNSA: IPEA, 2006.

SOARES, D. A. F. et al. Considerações a respeito da reutilização das águas residuárias e aproveitamento das águas pluviais em edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 12. Vitória, 1999. Anais. Vitória: ABRH, 1999, p.7. 1 CD – ROM.

SOARES, D. A. F. et al. Sizing a rainwater reservoir to assist toilet flushing. In: CIB W62 Seminar. Rio de Janeiro, Proceedings. CIB W62 Seminar. Rio de Janeiro. V.1, p. D11-1D1-12, 2000.

SOARES, D. A. F; GONÇALVES, O. M. Fuzzy sets applied to the building reuse systems design. In: CIB W62 Seminar. Rio de Janeiro. Proceedings. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. v.1, p. B3-1 B1-8, 2001.

SOBRAL, H. R. O meio ambiente e a cidade de São Paulo. São Paulo, Makron Books, 1996.

SONDA, C. et al. A convivência da mulher com o semi-árido: A vida antes e depois das cisternas. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001, p.8. 1 CD – ROM.

SOUTH EAST WATER. South east water's household greywater reuse guidelines. Disponível em: <http://www.sewl.com>. Acesso em: 27 out. 2006.

THOMAS, T. Escolha de cisternas para captação de água de chuva no sertão. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO. Paraíba, 2001. Anais. Paraíba: ABRH, 2001. p.7. 1 CD – ROM.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva: Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003.

TOMAZ, P. Conservação da água. 1 ed. São Paulo: Parma, 1998.

TOMAZ, P. Economia de água: Para empresas e residências. São Paulo: Navegar, 2001. p. 112.

TOMAZ, P. Previsão de consumo de água. São Paulo: Navegar, 2000.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA, Manual: Guidelines for water reuse, Washington. DC: 2004 (EPA/625/R-04/108).

VAES, G.; BERLAMONT, J. The effect of rainwater storage tanks on design storms. *Urban Water*, 3(4), 304-307, 2001.

VESENTINI, J. W. Brasil, Sociedade e Espaço. 7 ed. São Paulo: Ática, 1999.

VICKERS, A. Handbook of water use and conservation. Massachusetts, 2001.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. V.1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. UFMG, 2005. 452p.

WATERFALL, P. H. Harvesting Rainwater for Landscape Use. University of Arizona Cooperative. Disponível em: <http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1052/harvest.html>. Acesso em 13 dez. 2002.

WHO/UNICEF JOINT MONITORING PROGRAMME FOR WATER SUPPLY AND SANITATION. Global water supply and sanitation assessment 2000 report. Geneva, World Health Organization (WHO) and United Nations Childrens Fund (UNICEF), Apr. 24, 2001. 79p. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/Globassessment/GlasspdfTOC.htm. Acesso em 27 out. 2006.

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

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world. Genebra, 1997.

ZAIZEN, M. et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. *Urban Water*, 1(4), 356-359, 1999.

ANEXO 1: ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO APLICADOS AS ÁGUAS CINZAS CLARAS

Durante o estudo de tratabilidade das águas cinzas claras foram realizados alguns ensaios de coagulação/floculação para a verificação do comportamento das águas cinzas no tratamento físico químico.

Segundo Pavanelli (2001), a coagulação tem por objetivo aglomerar as impurezas que se encontram em suspensão e algumas que se encontram dissolvidas, em partículas maiores que possam ser removidas por decantação ou filtração. O autor afirma ainda que o processo de aglomeração ocorre devido à duas ações distintas:

- ✓ desestabilidade onde, por adição de produtos químicos se neutralizam as forças elétricas superficiais e se anulam as forças repulsivas;
- ✓ aglomeração dos colóides “descarregados” até a formação de flocos que sedimentam a uma velocidade adequada. Esta aglomeração é facilitada pela agitação suave, porém completa para facilitar o contato dos flocos uns com os outros. Esta é chamada de floculação sem, contudo quebrá-los.

Os reagentes utilizados no processo de coagulação são agrupados em três categorias:

- ✓ coagulantes: compostos, geralmente de ferro ou alumínio. Capazes de produzir hidróxidos gelatinosos insolúveis e englobar as impurezas;
- ✓ alcalinizantes: capazes de conferir a alcalinidade necessária à coagulação (cal viva – óxido de cálcio, hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio – soda cáustica, carbonato de sódio – barrilha);
- ✓ coadjuvantes: capazes de formar partículas mais densas e tornar os flocos mais lastrados (argila, sílica ativa, poeletrolitos, etc).

Para a realização dos ensaios de coagulação/floculação foi utilizado cal. Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados em amostras coletadas de diferentes pontos do sistema experimental de coleta de águas cinzas claras, a saber:

- ✓ 1° ciclo da máquina de lavra roupas (lavagem);
- ✓ 1°, 2° e 3° ciclo da máquina de lavar roupas (lavagem, 1° e 2° enxágüe);
- ✓ chuveiro e lavatório;
- ✓ águas cinzas claras misturadas.

Nas tabelas 64 a 67 estão descritos os resultados dos ensaios de coagulação/floculação realizados nas águas cinzas claras.

Tabela 64: Ensaio de coagulação/floculação das águas cinzas provindas do 1° ciclo da máquina de lavar roupas

1° ciclo da máquina de lavar roupas - lavagem							
Dosagem de cal gr/2L	Dosagem de cal ppm	Turbidez Inicial	Turbidez 5 mim.	Turbidez 15 mim	Turbidez 25 mim	pH inicial	pH final
1	500	96,8	34,5	33,5	33,1	9,1	11,3
1,2	600	96,8	27,3	25,6	24,1	9,1	11,3
1,4	700	96,8	14,6	12,0	11,7	9,1	11,3
1,6	800	96,8	10,2	9,5	9,0	9,1	11,3
1,8	900	96,8	9,9	9,6	9,2	9,1	11,4
2	1000	96,8	9,3	8,6	8,2	9,1	11,4
3	1500	96,8	5,8	3,3	2,6	9,1	11,9
4	2000	96,8	5,6	3,4	2,5	9,1	11,9
5	2500	96,8	4,0	2,9	2,3	9,1	11,8
6	3000	96,8	3,8	2,4	2,2	9,1	11,8

Tabela 65: Ensaio de coagulação/floculação das águas cinzas provindas do 1°, 2° e 3° ciclo da máquina de lavar roupas

1°, 2° e 3° ciclo da máquina de lavar roupas – lavagem, 1° e 2° enxágüe							
Dosagem de cal gr/2L	Dosagem de cal ppm	Turbidez Inicial	Turbidez 5 mim.	Turbidez 15 mim	Turbidez 25 mim	pH inicial	pH final
1	500	32,5	9,4	6,0	5,4	8,5	11,4
1,2	600	32,5	5,7	4,1	3,7	8,5	11,3
1,4	700	32,5	5,4	3,8	3,5	8,5	11,3
1,6	800	32,5	5,3	3,7	3,5	8,5	11,3
1,8	900	32,5	4,9	3,6	3,3	8,5	11,4
2	1000	32,5	4,6	3,2	3,0	8,5	11,5
3	1500	32,5	4,1	3,0	2,7	8,5	11,5
4	2000	32,5	3,6	2,6	2,4	8,5	11,6
5	2500	32,5	3,1	2,4	2,3	8,5	11,6
6	3000	32,5	2,5	2,3	2,1	8,5	11,6

Tabela 66: Ensaio de coagulação/floculação das águas cinzas provindas do chuveiro e lavatório

Lavatório e Chuveiro							
Dosagem de cal gr/2L	Dosagem de cal ppm	Turbidez Inicial	Turbidez 5 mim.	Turbidez 15 mim	Turbidez 25 mim	pH inicial	pH final
1	500	140	113	104	102	7,0	11,6
1,2	600	140	111	102	99,6	7,0	11,5
1,4	700	140	108	97,6	97,0	7,0	11,5
1,6	800	140	103	93,0	90,1	7,0	11,5
1,8	900	140	101	89,9	88,7	7,0	11,4
2	1000	140	100	89,0	88,1	7,0	11,4
4	2000	140	82,5	76,8	75,3	7,0	12,0
6	3000	140	77,0	68,8	67,5	7,0	11,9

Tabela 67: Ensaio de coagulação/floculação das águas cinzas misturadas

Águas cinzas misturadas							
Dosagem de cal gr/2L	Dosagem de cal ppm	Turbidez Inicial	Turbidez 5 mim.	Turbidez 15 mim	Turbidez 25 mim	pH inicial	pH final
1	500	88,1	29,2	21,8	19,7	7,8	11,5
1,2	600	88,1	22,0	14,5	14,2	7,8	11,6
1,4	700	88,1	21,9	13,2	12,8	7,8	11,5
1,6	800	88,1	18,4	12,5	11,8	7,8	11,5
1,8	900	88,1	17,9	10,9	11,2	7,8	11,4
2	1000	88,1	13,3	10,0	9,5	7,8	11,4
3	1500	88,1	5,4	4,6	4,0	7,8	11,9
4	2000	88,1	4,5	4,1	3,7	7,8	11,9
5	2500	88,1	4,2	3,8	3,2	7,8	11,8

De modo geral, observa-se nos resultados das tabelas 64 a 67 que as dosagens de cal utilizadas nos ensaios de coagulação/floculação das águas cinzas claras foram elevadas. Com o uso de elevadas dosagens de coagulantes, além de inviabilizar economicamente o tratamento, o volume de lodo gerado é bastante intenso.

Observa-se ainda que a cal utilizada nos ensaios elevou o pH das águas cinzas, chegando a 11,9. Em pH alcalino pode ocorrer incrustações em peças, equipamentos e no sistema de distribuição de água, devendo este ser corrigido antes da água ser utilizada.

Foram observados odores desagradáveis nas amostras de águas cinzas brutas e nas amostras coletadas após os ensaios de coagulação/floculação. Foi também observada a presença de espuma ao agitar as amostras após os ensaios.

ANEXO 2: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS PLUVIAIS SEM TRATAMENTO

PARÂMETROS	MÉDIA E DESVIO PADRÃO									
	Nº 1 ⁰	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV. 1	RESERV. 2
Cor uH	98,7(± 60)	59,3(± 26)	52,8(± 19)	43,7(± 16)	41,0(± 16)	40,8(± 16)	37,8(± 16)	45,7(± 24)	25,2(± 14)	20,8(± 5)
Turbidez UNT	3,6(± 2)	1,9(± 1)	1,9(± 1)	1,3(± 1)	0,9(± 0,2)	1,2(± 0,5)	1,2(± 1)	1,1(± 0,4)	0,9(± 1)	0,7(± 0,3)
Alcalinidade mg/L	35,3(± 12)	33,0(± 15)	30,0(± 16)	27,0(± 10)	30,3(± 14)	31,7(± 15)	30,0(± 16)	27,7(± 16)	19,6(± 6)	18,0(± 7)
pH	7,1(± 0,4)	7,1(± 0,3)	7,0(± 0,4)	6,9(± 0,6)	6,9(± 0,5)	6,9(± 0,6)	6,9(± 0,7)	6,9(± 0,6)	6,7(± 0,3)	6,7(± 0,4)
Condutividade µS/cm	88,6(± 30)	60,8(± 25)	57,9(± 25)	54,2(± 29)	57,5(± 33)	61,8(± 38)	59,6(± 43)	66,9(± 45)	26,6(± 18)	24,8(± 11)
Dureza mg/L	55,7(± 13)	38,0(± 13)	39,0(± 10)	37,3(± 13)	34,0(± 19)	37,7(± 22)	37,0(± 26)	36,7(± 25)	21,6(± 5)	17,6(± 4)
Cálcio mg/L	18,0(± 6)	13,9(± 6)	10,3(± 5)	20,0(± 22)	23,0(± 23)	11,8(± 8)	11,5(± 9)	11,2(± 9)	5,3(± 2)	4,0(± 2)
Magnésio mg/L	1,6(± 1)	1,2(± 0,4)	1,0(± 0,5)	0,9(± 0,7)	0,8(± 1)	1,1(± 1)	1,0(± 1)	1,0(± 1)	0,5(± 0,5)	0,4(± 0,3)
Ferro mg/L	0,4(± 1)	0,4(± 1)	0,05(± 0,1)	0,1(± 0,1)	0,04(± 0,1)	0,05(± 0,1)	0,04(± 0,1)	0,03(± 0,04)	0,1(± 0,2)	0,02(± 0,02)
DBO_{5,20} mg/L de O ₂	3,7(± 2)	3,1(± 2)	2,5(± 1)	2,1(± 1)	2,2(± 1)	2,6(± 1)	2,1(± 1)	1,8(± 1)	1,6(± 1)	1,4(± 1)

Fonte: May (2004)

⁰ As colunas de indicação Nº 1, Nº 2, Nº 3, etc são referentes ao número de amostras de águas pluviais coletadas no coletor automático nos tempos indicados em anexo 2. As colunas de indicação reserv. 1 e reserv. 2 são referentes às amostras coletadas nos reservatórios de acumulação.

ANEXO 2: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS PLUVIAIS SEM TRATAMENTO

(CONTINUAÇÃO DA PÁGINA ANTERIOR)

PARÂMETROS	MÉDIA E DESVIO PADRÃO									
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV, 1	RESERV, 2
Sólidos Totais mg/L	187(± 100)	104(± 49)	65(± 21)	67(± 34)	77(± 44)	65(± 49)	65(± 47)	73(± 55)	30(± 28)	20(± 12)
Sólidos totais fixos mg/L	78(± 65)	48(± 42)	29(± 16)	25(± 18)	25(± 23)	20(± 21)	20(± 19)	18(± 21)	0	0
Sólidos totais voláteis mg/L	108(± 69)	47(± 26)	35(± 27)	42(± 34)	53(± 34)	45(± 39)	45(± 40)	55(± 47)	30(± 28)	20(± 12)
Sólidos suspensão totais mg/L	75(± 65)	46(± 46)	19(± 11)	21(± 16)	19(± 17)	28(± 33)	14(± 12)	21(± 24)	2(± 2)	1(± 1)
Sólidos suspensão fixos mg/L	35(± 41)	24(± 34)	11(± 6)	9(± 8)	10(± 12)	14(± 19)	6(± 9)	9(± 14)	0	0
Sólidos suspensão voláteis mg/L	39(± 27)	22(± 16)	9(± 8)	12(± 9)	9(± 6)	14(± 16)	8(± 4)	12(± 11)	2(± 2)	1(± 1)
Sólidos dissolvidos totais mg/L	112(± 45)	58(± 29)	44(± 19)	46(± 31)	58(± 41)	37(± 38)	52(± 51)	53(± 51)	28(± 28)	19(± 13)
Sólidos dissolvidos fixos mg/L	43(± 33)	24(± 17)	18(± 15)	16(± 14)	15(± 16)	6(± 5)	15(± 14)	10(± 10)	0	0
Sólidos dissolvidos voláteis mg/L	65(± 39)	34(± 28)	27(± 30)	30(± 33)	44(± 37)	31(± 36)	38(± 42)	43(± 48)	28(± 28)	19(± 13)
Oxigênio dissolvido mg/L	22,6(± 15)	24(± 14)	19(± 11)	19,1(± 12)	23,3(± 15)	19,7(± 15)	18,2(± 11)	16,7(± 13)	17,7(± 14)	17,4(± 14)

Fonte: May (2004)