



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

**PROPOSIÇÃO DE UM SISTEMA ENVOLVENDO PROCESSOS
OXIDATIVOS AVANÇADOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES
RESIDENCIAIS VISANDO O REÚSO**

ANDRE LUIZ SEIBERT

Lajeado (RS), Setembro de 2012

ANDRÉ LUIZ SEIBERT

**PROPOSIÇÃO DE UM SISTEMA ENVOLVENDO PROCESSOS
OXIDATIVOS AVANÇADOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES
RESIDENCIAIS VISANDO O REÚSO**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ambiente e
Desenvolvimento do Centro Universitário
Univates, como parte da exigência para
obtenção do grau de Mestre em Ambiente e
Desenvolvimento

Orientador: Prof.^a Dr.^a Simone Stulp

Co-orientador: Prof.^o Dr.^o Claus Haetinger

Lajeado (RS), setembro de 2012

AGRADECIMENTOS

À minha professora, orientadora, amiga, Simone Stulp, pelas aulas, orientações, conselhos e momentos de apoio que foram muito importantes para que eu continuasse persistente no mestrado.

Ao professor e co-orientador Claus Haentinger, pela serenidade que sempre transmitiu em suas aulas e orientações.

Aos demais professores do PPGAD pelas experiências e conhecimentos repassados ao longo do curso.

Aos bolsistas do Laboratório Núcleo de Eletrofotoquímica e Materiais Poliméricos/Univates, Luciano Cuozzo e Verônica Machado, que sempre me auxiliaram durante as análises requeridas para realização deste trabalho.

Agradeço a minha família que sempre me deu apoio: a minha mãe Dirce e ao meu irmão Carlos. Obrigado!

À Pamela, minha namorada, que conheci ao longo do mestrado, pela paciência e pelas palavras de motivação no período de desenvolvimento da dissertação. Sem você, provavelmente não teria conseguido.

À Dona Vânia, mãe da Pamela, que neste período também estava cursando um mestrado, pelos momentos onde pudemos compartilhar nossas angústias e dúvidas.

Aos colegas de turma: Elisete, Odimar, Daniele, Daiane, Oh Cara Bertuzzi, Japa Link, Tânia, Letícia, Valquíria, João Novo e João Velho, Lydia, Estevão pelas noites de sextas-feira onde nos reuníamos na casa de alguém, bares ou restaurantes para desopilarmos, agradeço, especialmente ao colega Marciano, parceiro de Sinuca e que formatou este trabalho.

Agradeço aos amigos de infância Alexandre Dávila, Rafael Gruner, Michael Ferreira, Bayard Klein e Edson Fauth, pelas palavras de apoio como: “o que tu queres cursando um mestrado”...

A todos meus colegas de trabalho, que além do apóio, sempre foram compreensíveis nos momentos em que estive ausente para me dedicar à conclusão deste trabalho.

Aos meus avós, Raimundo e Norma, que sempre me apoiaram em tudo que fiz na vida. Muito Obrigado!

À Deus, por ter me dado a oportunidade de viver e poder escrever essa dissertação.



RESUMO

Esta dissertação objetivou dimensionar um sistema de tratamento de efluentes utilizando Processos Oxidativos Avançados (POAs), em sistemas habitacionais, com a finalidade de reutilizar a água para fins não potáveis.

O efluente residencial estudado foi a água residual descartada no processo de lavagem de roupas. O efluente foi submetido a dois processos de purificação, um utilizando o sistema conjugado UV/H₂O₂ e outro utilizando o conjugado UV/TiO₂ em ambos os casos foram realizadas análises de pH, Carbono Orgânico Total, Sólidos totais, Cloretos, Condutividade, Turbidez, Coliformes termotolerantes e testes de Toxicidade utilizando *Lactuca sativa*.

Os resultados dos ensaios foram comparados com os parâmetros recomendados pela legislação vigente, neste caso a resolução CONAMA 357/2005, CONAMA 430/2011, a resolução CONSEMA 128/2006, CONSEMA 129/2006 e portaria do Ministério da Saúde 2914/2011.

Após a comparação percebeu-se que os resultados mais satisfatórios ocorreram com os efluentes tratados com sistema UV/TiO₂. O processo de tratamento utilizando UV/TiO₂, foi mais eficiente para diminuição do Carbono Orgânico Total (mineralizou aproximadamente noventa por cento da matéria orgânica), Turbidez (reduziu em oitenta por cento nas amostras) e apresentou menor toxicidade em relação ao tratamento onde se utilizou UV/H₂O₂.

De acordo com os resultados, foi proposto um sistema de tratamento utilizando UV/TiO₂, sendo avaliados aspectos vinculados ao dimensionamento e aos custos relativos a essa aplicação.

Palavras chave: POAs, reuso e condomínios residenciais

ABSTRACT

This thesis aims to provide a design of a wastewater treatment system using advanced oxidation process (AOPs), in system housing, in order to reuse the water for non potable uses.

The effluent studied was residential wastewater discharged in the process of washing clothes. The effluent was subjected to two purification process, one using the system conjugate UV/H₂O₂ and another using the conjugate UV/TiO₂ in both cases were analyzed pH, Total Organic Carbon, Total Solids, Chlorides, conductivity, turbidity, coliformes thermotolerant and the toxicity testing using *Lactuca sativa*.

The test results were compared with the parameters recommended by laws, in this case the CONAMA resolution 357/2005, 430/2001, the CONSEMA resolution 128/2006, CONSEMA 129/2006 and the Ministry of Health Decree 2914/2011.

After the comparing realized that the most satisfactory results happen with the treated effluent with UV/TiO₂ system. The treatment process using UV/TiO₂, was more efficient to decrease the Total Organic Carbon (mineralized almost ninety percent of the organic matter), Turbidity (reduce almost eighty percent of the sample) and showed less toxicity in relation to treatment was used UV/H₂O₂.

According to the results, were proposed a treatment system using UV/TiO₂ being assessed aspects related to the design and costs of this application.

Key words: AOPs, reuse and residential condominiums

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APHA – American Public Health Association

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CORSAN – Companhia Rio-Grandense de Saneamento

CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETEs – Estações de Tratamento de Efluentes

EPA – Environmental Protection Agency

MS – Ministério da Saúde

NBR – Norma Brasileira

NMP – Número Mais Provável

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

POAs – Processos Oxidativos Avançados

OD – Oxigênio Dissolvido

ST – Sólidos Totais

UV – Ultra Violeta

VPM – Valor Mínimo Permitido



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de água pelo mundo	17
Figura 2 – Distribuição de água no mundo de acordo com a atividade	20
Figura 3 – Consumo de água residencial em São Paulo	23
Figura 4 – Consumo de água em unidade residencial unifamiliar	23
Figura 5 – Célula de tratamento	51
Figura 6 – pHmetro utilizado nos ensaios	52
Figura 7 – Condutivímetro utilizado nos ensaios	53
Figura 8 – Medidor de Carbono Orgânico Total utilizado no acompanhamento dos experimentos	53
Figura 9 – Turbidímetro DM-TU – Digimed	54
Figura 10 – Incubadora de germinação utilizada nos experimentos	55
Figura 11 – Reator de tratamento aplicado aos efluentes de lavagem	62
Figura 12 – Sistema de tratamento proposto para efluente proveniente de processos de lavagem de roupas em sistemas habitacionais de dezessies apartamentos. 78	
Figura 13 – Detalhe da célula fotoquímica do sistema de tratamento proposto.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volume de água em circulação na terra	16
Tabela 2 – Volume de água doce nos rios em cada continente	18
Tabela 3 – Disponibilidade hídrica do Brasil por regiões.....	18
Tabela 4 – Distribuição da população brasileira por região.....	19
Tabela 5 – Distribuição da população brasileira por região.....	21
Tabela 6 – Sistemas homogêneos e heterogêneos de processos oxidativos avuçados	33
Tabela 7 – Limites da resolução CONAMA 357/2005	41
Tabela 8 – Padrões de potabilidade de acordo com a portaria MS 2914/2011	42
Tabela 9 – Padrões de lançamento de efluentes resolução CONSEMA 128/2006..	43
Tabela 10 – Resultados físico-químicos do efluente bruto de água de lavagem.....	50
Tabela 11 – Resultados físico-químicos do efluente bruto	59
Tabela 12 – Resultados físicos-químicos do efluente bruto	61
Tabela 13 – Resultados após tratamento UV/H ₂ O ₂	63
Tabela 14 – Resultados das análises de pH, turbidez e condutividade dos efluentes de lavagem de roupas após tratamento UV/H ₂ O ₂ em comparação com limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente.....	63
Tabela 15 – Testes de toxicidade, em termos de percentual de germinação de sementes de <i>Lactuca sativa</i> , de amostras de efluente de lavagem de roupas bruto e tratado com UV/H ₂ O ₂	64
Tabela 16 – Análise de Coliformes termotolerantes e cloretos dos efluentes de lavagem de roupas tratados por processo UV/H ₂ O ₂	65
Tabela 17 – Resultados das análises de coliformes e cloretos dos efluentes de lavagem de roupas após tratamento UV/H ₂ O ₂ em comparação com limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente.....	65
Tabela 18 – Resultados do efluente bruto e tratado com dióxido de titânio	66
Tabela 19 – Resultados do efluente bruto e tratado com radiação UV e dióxido de titânio comparados com a legislação	67
Tabela 20 – Resultados de carbono orgânico total e turbidez dos efluentes tratados com UV e dióxido de titânio.....	67
Tabela 21 – Resultados de pH, turbidez e condutividade da amostra tratada submetida a UV/TiO ₂ comparados com a legislação ambiental vigente.....	68

Tabela 22 – Teste de toxidade com sementes de <i>Lactuca sativa</i> com o efluente proveniente de processos de lavagem de roupa antes e após tratamento com UV/TiO ₂ .	68
Tabela 23 – Teste de análise de Sólidos Totais, Fixos e Voláteis de efluentes de lavagem com e sem tratamento UV/TiO ₂	70
Tabela 24 – Resultados da análise de Sólidos comparados a legislação ambiental vigente.	70
Tabela 25 – Análise de Coliformes e cloretos	71
Tabela 26 – Resultado da análise de coliformes e cloretos comparados a legislação ambiental vigente	71
Tabela 27 – Análise de Coliformes e cloretos	71
Tabela 28 – Resultado da análise de Marmitt para efluentes de corante alimentícios tratados por UV/H ₂ O ₂	72
Tabela 29 – Resultado da análise de Machado (2011) para avaliação do potencial de reúso de efluente de indústria de alimentos utilizando fotólise direta.	73
Tabela 30 – Comparação em termos percentuais de redução de COT, ST e Turbidez entre os trabalhos de Machado (2011), utilizando fotólise direta e o autor utilizando UV/TiO ₂ .	73
Tabela 31 – Dados do ensaio de toxicidade com sementes de alface (<i>Lactuca sativa</i>)	74
Tabela 32 – Limites de tolerância estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 para águas classe II.	76
Tabela 33 – Valores recomendados pela SABESP para lavagem de veículos	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Distribuição de águas mundo	16
2.1.1 <i>Distribuição de águas no Brasil</i>	18
2.2 Consumo de água	19
2.2.1 <i>Consumo Doméstico</i>	21
2.2.2 <i>Consumo residencial</i>	21
2.3 Reúso de água	24
2.3.1 <i>Formas de reúso</i>	24
2.3.2 <i>Reúso Urbano</i>	26
2.3.3 <i>Reúso Urbano para fins potáveis</i>	27
2.3.4 <i>Reúso urbano para fins não potáveis</i>	28
2.4 Qualidade da água	29
2.4.1 <i>Qualidade da água para abastecimento urbano</i>	29
2.5 Tratamento de efluentes.....	30
2.5.1 <i>Tratamentos convencionais</i>	30
2.5.2 <i>Tratamentos avançados</i>	31
2.5.3 <i>Processos Oxidativos Avançados (POAs)</i>	32
2.5.4 <i>Fotólise direta com ultravioleta (UV)</i>	33
2.5.5 <i>Peróxido de hidrogênio (H₂O₂)</i>	34
2.5.6 <i>H₂O₂/UV</i>	34
2.5.7 <i>UV/TiO₂</i>	34
2.5.8 <i>Fatores que influenciam a fotodegradação</i>	35
2.6 Legislação de reúso de água	35
2.6.1 <i>Lei das águas x reúso</i>	37
2.6.2 <i>A classificação da água e o reúso</i>	38
2.6.3 <i>Resolução CONAMA 357/2005</i>	39
2.6.4 <i>Resolução CONAMA 430/2011</i>	41
2.6.5 <i>Portaria MS 2914/2011</i>	42
2.6.6 <i>Resolução CONSEMA 128/2006</i>	42
2.6.7 <i>Resolução CONSEMA 129/2006</i>	43

2.7 Condomínios residenciais	44
2.7.1 Águas cinzas em edificações	46
2.7.2 Qualidade para uso de águas cinzas em bacias sanitárias.....	47
2.7.3 Qualidade para uso de águas cinzas em paisagismo	48
3 METODOLOGIA	49
3.1 Análise da amostra.....	49
3.2 Tratamento por fotólise em reator de fluxo ascendente	50
3.3 Teste de toxicidade	55
3.4 Proposição e Dimensionamento de um sistema de tratamento para condomínios residenciais	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.1 Tratamento utilizando Processos Oxidativos Avançados.....	61
4.1.1 Tratamento com sistema conjugado UV/H ₂ O ₂	62
4.1.2 Tratamento com sistema conjugado UV/TiO ₂	66
4.2 Comparação com estudos realizados utilizando técnicas semelhantes.....	72
4.3 Proposição de um sistema de tratamento para águas cinzas em edificações residenciais	75
4.3.1 Estação de tratamento de águas cinzas.....	77
4.3.2 Custos operacionais.....	79
5 CONCLUSÕES	83
6 RECOMENDAÇÕES.....	86
7 REFERÊNCIAS.....	88
8 ANEXOS	93

1 INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural mais utilizado no planeta. Como a água é um bem finito, o seu uso racional deve ser objetivado, evitando sua escassez.

A escassez desta prejudica muitas atividades humanas, não se limitando ao consumo humano, mas seu emprego nas atividades industriais e agropecuárias. Grandes condomínios residenciais são capazes de gerar uma enorme quantidade de efluentes com potencial de contaminação de corpos hídricos se não tratados de forma eficiente. As novas construções devem utilizar conceitos de sustentabilidade visando a gestão e reutilização da água.

Do ponto de vista ambiental, o reúso reduz a necessidade de captação da mesma, diminui a poluição que seria resultante do retorno desses efluentes aos corpos hídricos e ainda pode agregar valor econômico para residência que optar em desenvolver um sistema de reúso adequado, como diminuição nos custos relativos ao consumo de água.

Embora o uso de águas residuárias em ambientes residenciais represente uma alternativa adequada sob aspectos ambientais, social e econômico, esses efluentes podem apresentar, elementos poluentes e patogênicos. Para isso é necessário definir padrões de reutilização que garantam a segurança dos usuários (HESPANHOL, 2003).

Devido à possibilidade de contaminação que existe na reutilização recomenda-se que a reutilização direta destes efluentes, não ocorra para fins

potáveis, sendo recomendado, somente em casos de extrema escassez de água (COSTA, 2007).

Uma das possibilidades de eliminação destes contaminantes é tratar efluentes através de Processos Oxidativos Avançados (POAs). Existem muitos estudos que demonstram ter obtido eficiência tratando efluentes de água de lavagem com sistemas conjugados de UV/H₂O₂ e UV/TiO₂ (Duran et. al., 2000, Moraes, 2006, Garcia, 2009, Marmitt, 2010, Scharf, 2010).

Esses estudos foram realizados tratando efluentes industriais, principalmente de indústria têxtil. Este trabalho objetivou aplicar técnicas semelhantes em ambientes residenciais. Para isso, foi proposto dimensionar um sistema de tratamento para água cinza descartada por máquinas de lavar roupas, construindo por um tanque auxiliar para armazenamento inicial do efluente, seguido pela célula de reação, onde o efluente foi submetido à fotólise utilizando o sistema UV/TiO₂ (processo que obteve os melhores resultados para potencial de reúso), passando então para o novo tanque auxiliar de estocagem. Após o tratamento, o efluente pode ser utilizado para abastecimento das bacias sanitárias.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho objetivou dimensionar um sistema de reúso da água, analisando as possibilidades de reutilização do efluente descartado por máquinas de lavar roupas para fins não potáveis, em condomínios residenciais, através técnicas envolvendo Processos Oxidativos Avançados (POAs).

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o efluente de máquinas de lavar roupas com análises de pH, COT, Sólidos Totais, Cloretos, Condutividade, Turbidez, Coliformes Termotolerantes e teste de Toxicidade utilizando *Lactuca sativa*.

- Submeter o efluente descartado a processos de tratamento com POAs através de H_2O_2 e TiO_2/UV .
- Determinar a possibilidade de reúso da água para fins residenciais.
- Dimensionar um sistema de tratamento para condomínios residenciais.



2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Distribuição das águas no mundo

Estima-se, que a quantidade total de água na Terra seja de 1.386 milhões de km³, destes 97,5% são águas salgadas, que formam os oceanos e mares, e a água doce corresponde somente a 2,5%. Este volume não tem se modificado nos últimos 500 milhões de anos, mas como a água pode se apresentar em diversos estados físicos, isso possibilita movimentos constantes de manifestação e renovação, conforme o ciclo da água. Assim, vale ressaltar que as quantidades estocadas nos diferentes reservatórios individuais da Terra variaram de forma substancial durante essa época conforme Tabela 1(REBOUÇAS,1999).

Tabela 1 – Volume de água em circulação na terra

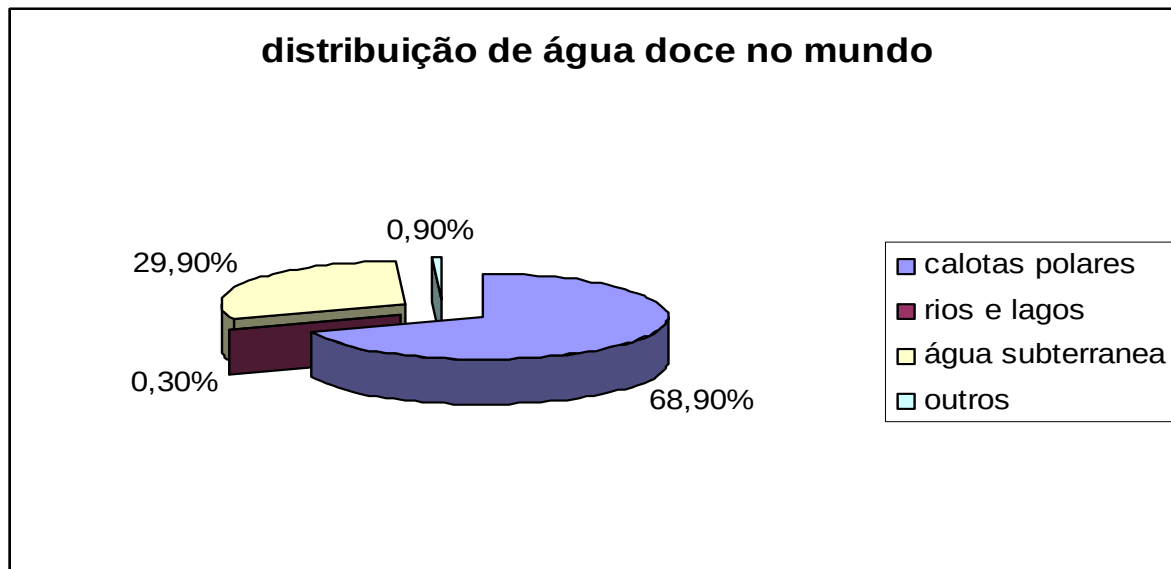
Volume de água em circulação na terra	km³/ano
Precipitação em oceanos	458.000
Precipitação em continentes	119.00
Descarga total dos rios	43.000
Volume vapor atmosférico	13.000
Evaporação dos oceanos	503.000
Evaporação dos continentes	74.200
Contribuição dos fluxos subterrâneos às descargas dos rios	43.000

Fonte: (Rebouças 1999, p. 12)

Destes 2,5% que representam a água doce do planeta, 68,9% estão congelados nas calotas do Ártico, Antártida e nas regiões montanhosas. A água subterrânea compreende 29,9%, somente 0,266% da água doce é representada por

lagos e rios e o restante está na biomassa e na atmosfera sob forma de vapor (COSTA, 2007). Esta representação pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição de água pelo mundo



Fonte: adaptado pelo autor com base em Costa (2007, p. 3)

Sabe-se que os recursos hídricos utilizados para atividades sociais e econômicas no mundo são provenientes de água estocadas nos rios e lagos de água doce que somam apenas 200 mil km³, aproximadamente 0,3 % do total disponível no planeta (COSTA, 2007).

Isso vem provocando um movimento chamado “crise da água”, porque estatisticamente, esse volume de água representa que em apenas 30 ou 50 anos, considerando a população atual, estaria esgotada a capacidade de consumo de água no planeta (BRAGA, 1999).

Existem muitos problemas relacionados à escassez de recursos hídricos, um deles, talvez um dos mais relevantes, está relacionado com a má distribuição de água no espaço em relação à concentração populacional. A Tabela 2 mostra essa relação.

Tabela 2 – Volume de água doce nos rios em cada continente

Continentes	Água(%)	População(%)
Europa	8	13
Ásia	36	60
África	11	13
América do Norte	15	8
América do Sul	26	6
Oceania	5	1

Fonte: adaptado pelo autor com base em EMBRAPA, 1996

2.1.1 Distribuição de águas no Brasil

A extensão territorial do Brasil é de 8,547.403 km², sendo considerado o quinto maior país do mundo. A região coberta por água doce ocupa 55.457 km², o que equivale a 1,66% da superfície do planeta.

O Brasil ganha destaque no mundo devido à sua produção hídrica de água doce. Seus rios apresentam vazão média de 177. 900 m³/s, isso representa 53% em comparação à América do Sul que produz 334.000 m³/s. Se comparada à produção hídrica do mundo 1.448.000 m³/s, o Brasil possui 12% da produção mundial (TOMAZ, 2003).

Apesar da grande disponibilidade de recursos hídricos do Brasil, existem algumas regiões onde existe escassez de água doce. São basicamente dois fatos que determinam essa condição: a má distribuição da população, que aumenta ano após ano, e se concentra em regiões com baixa disponibilidade hídrica, conforme pode ser observado nos dados das Tabelas 3 e 4; e a as formas desordenadas de uso e ocupação de território.

Tabela 3 – Disponibilidade hídrica do Brasil por regiões

Regiões do Brasil	Vazão (km³/s)	Porcentagem (%)
Norte	3.845,50	68,5
Nordeste	186,2	3,3
Sudeste	334,2	6
Sul	365,4	6,5
Centro-Oeste	878,7	15,7
Total	5610	100

Fonte: (Tomaz 2003, p. 21)

Tabela 4 – Distribuição da população brasileira por região

Regiões do Brasil	Área	População	Porcentagem da população (%)
Norte	3.869.637	12.133.705	7,4
Nordeste	1.561.177	46.289.042	28,23
Sudeste	927.289	69.858.115	42,61
Sul	577.214	24.445.950	14,91
Centro-Oeste	1.612.077	11.220.742	6,85
Total	8.547.403	163.947.554	100

Fonte: (Tomaz 2003, p. 21)

Pelas tabelas 3 e 4 pode-se observar a má distribuição dos recursos hídricos em relação à distribuição da população. Por exemplo, a região norte possui 68,5% da água de todo país e concentra apenas 7,4% da população. Já a região sudeste possui 42% da população e apenas 6% dos recursos hídricos.

Em grandes centros urbanos, além do problema da possível falta de água devido à baixa disponibilidade, a ocupação desordenada do território gera uma ineficiente coleta e tratamento da água residual com o consequente lançamento de esgotos não tratados nos corpos de água. O destino destes resíduos somados ao desperdício, à poluição e à falta de conscientização da população, refletem na degradação dos recursos hídricos.

Costa (2007) afirma que é necessário ser implementado no Brasil um programa de gerenciamento de recursos hídricos, que tenha como objetivo, diminuir o desperdício da água e a degradação de sua qualidade. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente, 72% das internações hospitalares no Brasil são decorrentes de problemas relacionados à água.

Uma nova cultura sobre a água deve ser desenvolvida, objetivando a conscientização definitiva de que água é um bem finito, vital e de grande valor econômico competitivo no mercado global.

2.2 Consumo de água

Durante muitos anos acreditava-se que a água era um recurso infinito. A natureza teria fontes inesgotáveis e renováveis. Atualmente, devido ao aumento do

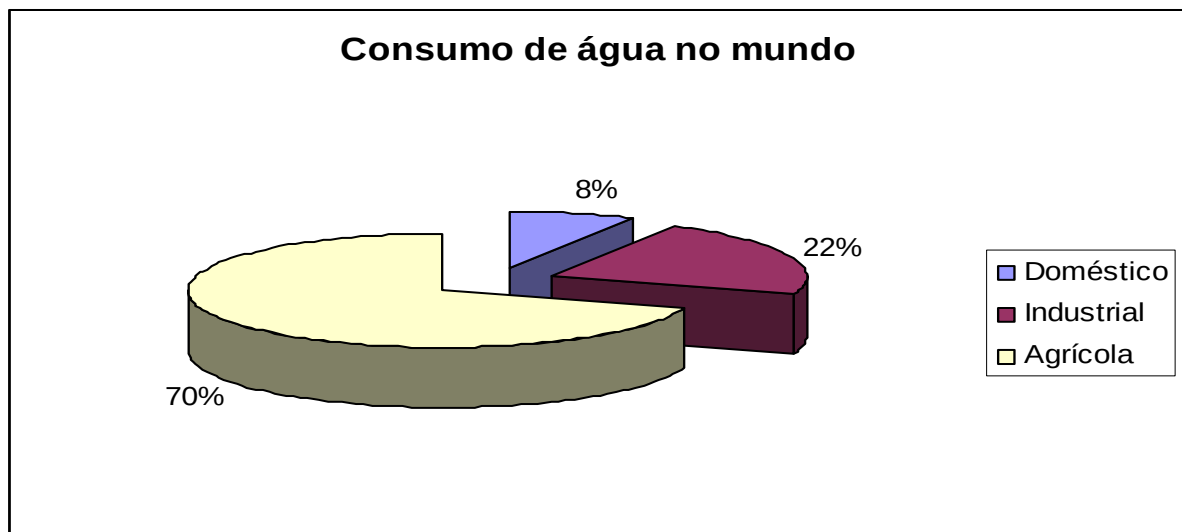
consumo e ao mau uso da água disponível, o mundo está atento à evidente diminuição dos reservatórios de água no planeta (COSTA, 2007).

De acordo com a finalidade do consumo da água, as características de qualidade podem variar. Para cada uma destas finalidades, é definido um padrão mínimo relativo à sua aplicação.

Além do consumo para satisfazer necessidades biológicas, a água está relacionada a enumeras outras atividades, como gerar energia, saneamento básico, agricultura, pecuária, dentre outros.

O consumo de água é dividido em três grandes áreas, sendo que a agricultura, é, de forma bastante singular, a atividade que consome mais água no planeta, seguido da indústria e do consumo doméstico. A Figura 2 demonstra o consumo por atividade no mundo.

Figura 2 – Distribuição de água no mundo de acordo com a atividade



Fonte: adaptado pelo autor com base World Resources Institute, ONU, apud <http://www.deca.com.br>

A utilização da água também está ligado à condição econômica de cada sociedade, sendo que podem ser observadas duas condições relacionadas à classe de cada indivíduo, desperdício por falta de instrução ou descaso provocado pelo seu baixo valor monetário. A Tabela 5 mostra essa relação.

Tabela 5 – Distribuição da população brasileira por região

Classe	Utilização anual - m ³ /hab.
Baixa	386
Média	453
Alta	1.167

Fonte: Uníagua apud Costa (2007, p. 6)

2.2.1 Consumo Doméstico

O consumo doméstico, também recebe o nome de consumo urbano, isso varia de acordo com o autor utilizado. Dentro desta categoria ainda se divide o consumo de água em três sub-categorias (TOMAZ, 2000):

- Consumo residencial: relativo a residências unifamiliares e edifícios multifamiliares;
- Consumo comercial: relativo a restaurantes, hospitais, serviços de saúde, hotéis, lavanderias, auto-posto, lava-rápidos, clubes esportivos, bares, lanchonetes e lojas;
- Consumo público: relativo aos edifícios públicos, escolas, parque infantil, prédios de unidade de saúde pública, cadeia pública e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes.

Alguns autores também classificam o consumo urbano em apenas dois segmentos: residencial e não residencial (comercial + industrial + público).

2.2.2 Consumo residencial

O consumo de água em uma residência é influenciado por diversos fatores como (Gonçalves, 2006):

- Clima da região
- Renda familiar

- Número de habitantes na residência
- Características culturais na comunidade
- Desperdício domiciliar
- Custo da água
- Estrutura e forma de abastecimento

A água para consumo humano pode ter dois fins distintos:

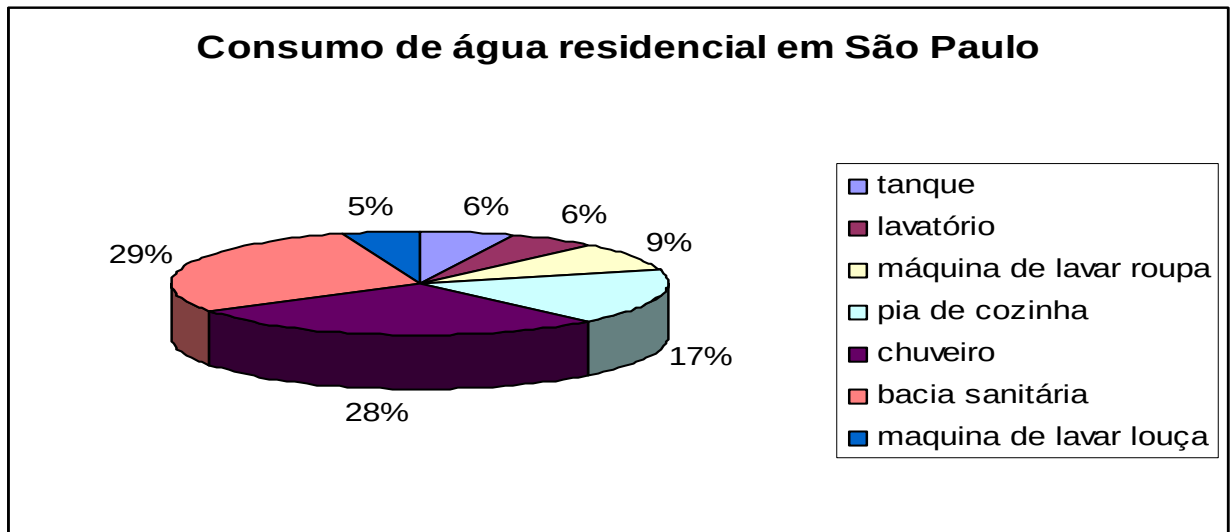
- Usos potáveis: higiene pessoal, para beber e na preparação de alimentos. Sua qualidade depende de padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação.
- Usos não potáveis: lavagem de roupas, carros, calçadas, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, piscinas, etc.

Segundo o Ministério da Saúde (resolução MS 2914/2011), para que a água seja potável e adequada ao consumo humano, deve apresentar características microbiológicas, físicas, química, e radioativas que atendam a um padrão de potabilidade estabelecido. Por isso antes de chegar às residências, a água passa por estações de tratamento, para garantir o consumo sem riscos à saúde.

Para calcular o sistema de abastecimento urbano devem ser considerados: o sistema de fornecimento e cobrança, o custo operacional, a pressão da rede distribuidora, a existência de redes de esgoto e os tipos de aplicação (COSTA, 2007).

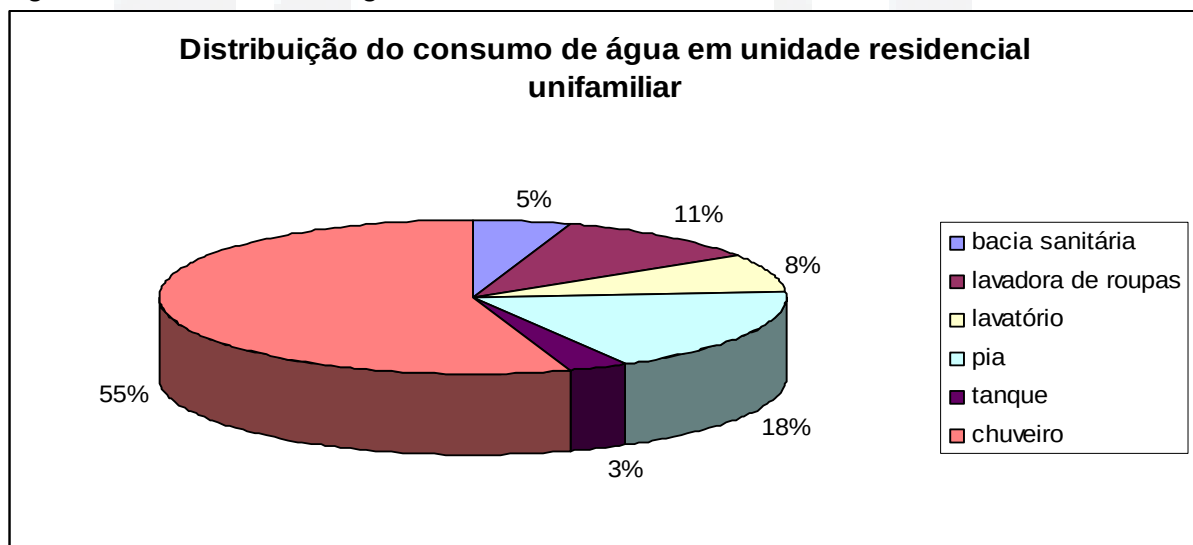
É difícil encontrar consenso sobre o consumo residencial e a atividade relacionada. Como demonstram as Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Consumo de água residencial em São Paulo



Fonte: adaptado pelo autor com base World Resources Institute, ONU, apud <http://www.deca.com.br>

Figura 4 – Consumo de água em unidade residencial unifamiliar



Fonte: Hespanhol et al. 2005

Essas variações ocorrem devido a vários fatores, como clima, cultura, tipo de torneiras, chuveiros, bacias sanitárias mais ou menos econômicas, etc. Cada edificação, portanto, deve ser analisada individualmente para se ter avaliação real do consumo por atividade.

O que pode ser afirmado, é que dentro de uma residência os pontos de maior consumo de água são para dar descarga dos vasos sanitários, para a lavagem de roupas e para banho.

Se for levada em consideração a média dos consumos, verifica-se que 40% do total de água consumida em uma residência é destinado ao uso não potável. Dessa forma, seria possível pensar em um modelo de abastecimento de rede dupla de água, uma sendo potável e outra sendo de reúso (GONÇALVES, 2006).

2.3 Reúso de água

Existe uma dificuldade para conceituar de forma precisa o reúso de água. Isso ocorre porque é difícil definir em que momento do processo o reúso está ocorrendo.

Para Mancuso (2003), subentende-se o reúso como uma tecnologia desenvolvida em maior ou menor grau, dependendo da finalidade desejada para o emprego da água e como ela foi utilizada anteriormente.

De forma semelhante, Costa (2007), define o reúso como o aproveitamento de um efluente após uma extensão do seu tratamento, com ou sem investimentos adicionais.

Mancuso *apud* Lavrador Filho (2003, p. 25), sugere que o reúso da água seja o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para atender à necessidade de outros fins, incluindo o original.

O reúso pode ser direto ou indireto, planejado ou não planejado (COSTA, 2007).

2.3.1 Formas de reúso

A literatura sobre a terminologia do reúso de água é bastante ampla e acabam surgindo algumas discrepâncias entre os autores do assunto. Neste trabalho foram utilizadas as convergências de três autores: Mancuso (2005), Costa (2007) e Lavrador filho *apud* Mancuso (2003).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) *apud* Mancuso (2005, p.23):

Reúso indireto: é quando a água utilizada, uma ou diversas vezes, independente do uso, é devolvida ao corpo de água e utilizada novamente de forma diluída.

Reúso direto: é quando se planeja o uso de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, e recarga de corpos de água e água potável.

Reciclagem da água: é quando a água é reaproveitada internamente antes de sofrer qualquer tipo de tratamento, tendo como meta a economia de água e o controle da poluição.

A reciclagem é uma forma particular de reúso direto. Costa (2007) destaca as seguintes aplicações de águas recicladas:

Irrigação paisagística: parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestradas, campi universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.

Irrigações de campos para cultivos: plantios de forrageiras, plantas fibrosa e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas.

Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processamento.

Lavrador Filho *apud* Mancuso (2003, pag. 25), sugere a seguinte terminologia:

Reúso indireto não planejado de água: é quando a água, utilizada uma ou mais vezes para determinada atividade humana é devolvida à natureza e novamente utilizada numa forma mais diluída, sem intenção e sem controle. Dessa forma, esse tipo de reúso é um subproduto não intencional de descarga de montante.

Reúso planejado da água: é quando o reúso da água é fruto de uma ação humana consciente, o reúso posterior à descarga do efluente pode ser direto ou

indireto. Essa forma de reúso prevê a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda ao novo padrão de qualidade requerido pelo novo uso da água.

Reúso indireto planejado da água: é quando os efluentes, após passarem por tratamentos convenientes, são despejados nos corpos d'água, para serem utilizados de forma diluída e de maneira controlada.

Reúso direto planejado de água: é quando os efluentes devidamente tratados são direcionados do ponto de descarga para o local do reúso, sem nunca serem devolvidos à natureza.

2.3.2 Reúso Urbano

Esse tipo de reúso utiliza efluentes de origem essencialmente doméstica e por motivos de segurança à saúde pública este efluente, após receber o devido tratamento, só pode ser utilizado para os chamados “fins menos nobres”, ou seja, que não exigem qualidade de água potável, tais como irrigação de jardins, lavagem de pisos, descarga de vasos sanitários etc.

Para Hespanhol (2003), o reúso doméstico, possui um potencial muito amplo e diversificado, porém, os usos que demandam uma qualidade superior da água, necessitam de sistemas de tratamento e de controle avançados, podendo levar a custos incompatíveis com os benefícios correspondentes. De uma maneira geral os efluentes urbanos tratados, podem ser utilizados para fins potáveis e não potáveis.

Segundo Costa (2007), o reúso urbano para fins potáveis ocorre somente em regiões onde existe escassez crônica de água e essa tecnologia se demonstra como a única solução possível. Quando isto ocorre, os cuidados com a qualidade do esgoto devem ser redobrados. É necessário que o efluente possua características estritamente orgânicas.

2.3.3 Reúso Urbano para fins potáveis

Segundo Hespanhol (2003), a presença de organismos causadores de doenças e de compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes urbanos, principalmente naqueles oriundos de estações de tratamento de esgotos de grandes aglomerados urbanos com consideráveis polos industriais, o reúso da água para fins potáveis se revela uma estratégia com muitos riscos envolvidos, sendo praticamente inaceitável. Para isso, seria necessário implementar sistemas avançados de tratamento, que além de serem economicamente inviáveis, não garantiram total segurança à saúde dos usuários finais.

Ainda, de acordo com Hespanhol (2003), caso não exista nenhuma alternativa e seja necessário um sistema de reúso para fins potáveis, é necessário respeitar certos critérios básicos:

- Utilizar apenas sistemas de reúso indireto: A OMS não recomenda o reúso direto, é aconselhada a diluição dos esgotos, após tratamento, em um corpo hídrico, no qual, após tempos de detenção relativamente longos, são efetuadas novas captações.
- Utilizar somente esgotos domésticos: Pela dificuldade de identificar a enorme quantidade de compostos de alto risco, presente em efluentes de origem industrial, corpos de água que receberam descarga deste tipo de efluente são descartados para prática de reúso para fins potáveis.
- Empregar barreiras múltiplas nos sistemas de tratamentos: Devidos aos riscos associados, na utilização de esgotos domésticos, para fins potáveis, são necessários alguns cuidados especiais para assegurar a proteção à saúde dos usuários. Os sistemas de tratamentos para este fim devem possuir unidades de tratamentos suplementares, além daquelas teoricamente necessárias. Por exemplo, quando se visualiza a necessidade de se utilizar ozônio com o objetivo de efetuar a oxidação de micropoluentes orgânicos, pode-se, também, acrescentar

sistemas de carvão ativado, que operariam como uma segunda barreira, para atingir o mesmo objetivo (MANCUSO, 2003).

- Adquirir aceitação pública e assumir as responsabilidades pelo empreendimento: Os programas de reúso para fins potáveis devem ser motivo de ampla divulgação e discussão com todos os setores da população concernente. Para a implementação, deve existir aceitação pública da proposta de reúso. Por outro lado, as responsabilidades técnica, financeira e moral, que cabem às entidades organizadoras do planejamento, implementação e gestão do sistema de reúso, devem ser explicitamente reconhecidas e assumidas.

2.3.4 Reúso urbano para fins não potáveis

Os reúsos urbanos não potáveis envolvem riscos menores e devem ser considerados como a primeira opção de reúso na área urbana. Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto do público com gramados de parques, jardins, hotéis, áreas turísticas e campos de esporte. Os maiores potenciais de reúso são os que empregam esgotos tratados para: irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, campos de golfe, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos em canteiros de rodovias, reserva de proteção contra incêndios, descargas sanitárias em banheiros públicos, lavagem de trens e ônibus públicos, etc (HESPANHOL, 2003).

Os problemas associados ao reúso urbano não potável são, principalmente, os custos elevados de sistemas duplos de distribuição, dificuldades operacionais e riscos potenciais de ocorrência de conexões cruzadas. Os custos, entretanto, devem ser considerados em relação aos benefícios de conservar água potável e de, eventualmente, adiar ou eliminar a necessidade de desenvolvimento de novos mananciais, para abastecimento público.

2.4 Qualidade da água

Para Blum (2003), quando se trata de avaliar a qualidade da água para consumo humano, deve-se considerar o fato que ainda não se conhece suficientemente os efeitos sobre a saúde oriundos pela presença de várias substâncias químicas, especialmente compostos orgânicos sintéticos.

Ainda, não se dispõe de padrões de potabilidade para todos os possíveis constituintes de uma água, e deve ser considerado o efeito sinérgico, quando ocorre a associação de duas ou mais substâncias gerando subprodutos que podem, inclusive, não ter métodos de identificação desenvolvidos.

Normalmente, os padrões de qualidade de água para abastecimento ao público são definidos por lei, baseados em valores de referência e estudos científicos, mas também em condições específicas locais. Em lugares de escassez crônica de água, esses padrões podem ser menos restritivos, mas nunca podem colocar em risco a saúde da população atendida.

De acordo com a aplicação, pode-se definir a qualidade da água, ou seja, a condição de uso. Assim, o controle de qualidade objetiva a indicação do limite aceitável de impureza em uma determinada aplicação.

O uso da água está relacionado com a qualidade. Assim, quando são realizadas análises da água, deve-se associar tal uso aos requisitos mínimos exigidos para cada tipo de aplicação (SPERLING,1996).

2.4.1 Qualidade da água para abastecimento urbano

De acordo com Costa (2007), a qualidade da água para abastecimento urbano está condicionada aos padrões de potabilidade. No Brasil, esses padrões são estabelecidos pelo Ministério da Saúde, através da portaria nº 518 de 25 de março de 2004.

As características da água natural comparada às exigidas para água consumida pelo usuário, é que irão determinar o tipo de tratamento necessário.

2.5 Tratamento de efluentes

Para se projetar um sistema de tratamento, segundo Mancuso (2003), deve ser adotada uma sequência de operações e processos unitários definidos em razão de três requisitos:

- características do líquido a ser tratado
- objetivos pretendidos com o tratamento
- capacidade de remoção de cada tratamento

Algumas destas sequências já são bem conhecidas, tanto no tratamento de despejos em corpos d'água, como para abastecimento para o público. São popularmente conhecidos como tratamentos convencionais.

2.5.1 Tratamentos convencionais

De acordo com Nuvolari (2007), os tratamentos convencionais mais conhecidos estão presentes em estações de tratamento de efluentes (ETEs). Dentre eles os mais conhecidos são: tanques de sedimentação ou clarificadores; digestão, secagem e disposição de lodos; processos biológicos aeróbios e anaeróbios: lodos ativados, filtros biológicos, lagoas de estabilização.

Existem outros tratamentos convencionais bem conhecidos, mas que não estão presentes em ETEs como: fossa séptica, tanque de Imhoff, sumidouros, vala de infiltração e vala de filtração.

Esses processos são popularmente conhecidos como primários e secundários, sendo que atualmente essa nomenclatura está em desuso, por não ser

em todos os casos respeitada a mesma sequência de processos. Esses têm por objetivo remover matéria orgânica através de processos físico-químicos e reações bioquímicas.

2.5.2 Tratamentos avançados

Ainda, segundo Nuvolari (2007), muitos destes tratamentos avançados não estão presentes em ETEs. Os processos avançados mais populares são:

1) Remoção de sólidos dissolvidos:

- Osmose reversa;
- Troca iônica;
- Eletrodiálise reversa.

2) Remoção de sólidos suspensos:

- Macrofitração;
- Microfitração;
- Ultrafiltração;
- Nanofiltração;
- Clarificação: Ozonização.

3) Remoção de compostos orgânicos:

- Ozonização;
- Carvão Ativado.

4) Desinfecção:

Cloro, ozônio, dióxido de cloro, permanganato de potássio, cloramidas, radiação ultravioleta, entre outros meios.

Esses tratamentos físico-químicos têm como finalidade a remoção complementar da matéria orgânica e de composto não-biodegradáveis, de nutrientes, de poluentes tóxicos, metais pesados, sólidos inorgânicos e patógenos.

2.5.3 Processos Oxidativos Avançados (POAs)

Para Jardim (2004), nas últimas décadas, os POAs vêm se destacando, devido à sua grande eficiência para degradar compostos orgânicos com baixo custo operacional. Os POAs são processos de oxidação onde ocorre a geração de radicais hidroxila, estes são altamente oxidantes, capazes de provocar a mineralização da matéria orgânica a dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Existem muitos processos que formam esses radicais, esses são classificados em sistemas homogêneos ou heterogêneos, conforme a ausência ou a presença de catalisadores na forma sólida e podem ainda estar ou não sob efeito de radiação.

É possível gerar os radicais hidroxila por meio de reações envolvendo oxidantes fortes, com o ozônio (O_3), e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), semicondutores, como dióxido de titânio (TiO_2) e o óxido de zinco (ZnO) e irradiação ultravioleta (UV), segundo Masilla et al. *apud* Jardim (2004). Os processos que utilizam catalisadores são chamados de heterogêneos quando presentes em fase distinta, enquanto que os demais são chamados de homogêneos. Os principais sistemas estão na Tabela 6.

Tabela 6 – Sistemas homogêneos e heterogêneos de processos oxidativos avançados

SISTEMAS HOMOGÊNEOS	COM IRRADIAÇÃO O ₃ /UV H ₂ O ₂ /UV FEIXE DE ELÉTRONS US H ₂ O ₂ /US UV/US SEM IRRADIAÇÃO O ₃ /H ₂ O ₂ O ₃ /OH ⁻ H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ (FENTON)
	COM IRRADIAÇÃO TiO ₂ /O ₂ /UV TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV SEM IRRADIAÇÃO ELETRO-FENTON
SISTEMAS HETEROGÊNIOS	

Fonte: Huang et alii *apud* Jardim (2005, p. 17)

2.5.4 Fotólise direta com ultravioleta (UV)

Esse processo ocorre quando a luz é a única fonte capaz de destruir o poluente. A fotólise direta, normalmente, em comparação a sistema envolvendo a geração de radicais hidroxila, possui uma eficiência mais baixa.

A radiação ultravioleta está situada na faixa de 40 a 400 nm de comprimento da onda no espectro eletromagnético, e pode ser dividida em:

UV Vácuo – 40 a 200 nm

UV C – 200 a 280 nm

UV B – 280 a 315 nm

UV A – 315 a 400 nm

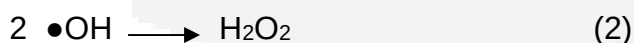
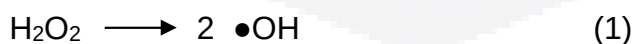
2.5.5 Peróxido de hidrogênio (H₂O₂)

Uma maneira de gerar radicais hidroxila é através do uso do peróxido de hidrogênio, um agente oxidante muito poderoso. Dependendo da aplicação, é possível utilizá-lo sozinho, isso é possível para controle de corrosão, remoção de odor, compostos inorgânicos e orgânicos ou combinado com outros oxidantes, a associação com radiação UV pode aumentar sua eficiência (DÚRAN, 2000).

2.5.6 H₂O₂/UV

A combinação destes processos é muito mais eficiente do que seu uso separadamente. Isso ocorre devido à geração de grandes quantidades de radicais hidroxila.

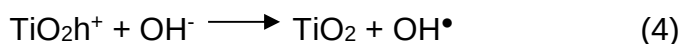
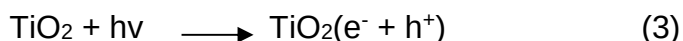
De acordo com Dúran (2000), o mecanismo que explica a fotólise de H₂O₂ com UV é a divisão da molécula em dois radicais hidroxila para cada molécula de H₂O₂ (1), e ainda existe a possibilidade de recombinação desses radicais, transformando-se em H₂O₂ (2).



Adams e Kuzhikalinn apud Pereira (2008) trataram surfactantes com H₂O₂/UV e encontraram um aumento da biodegradabilidade destes compostos após 30 minutos de exposição.

2.5.7 UV/TiO₂

O provável mecanismo que explica a formação de radicais hidroxila está descrito abaixo (GARCIA, 2009).



Muitos semicondutores podem agir como sensibilizadores em processos de oxidação e redução mediados pela luz devido a sua estrutura eletrônica. Entre os semicondutores, o TiO_2 é o mais amplamente estudado devido principalmente a sua não toxicidade, fotoestabilidade e estabilidade química em uma faixa mais ampla de pH (Jardim,1998).

O princípio da fotólise envolvendo o TiO_2 , ocorre quando esse semicondutor é ativado por luz solar ou artificial ($h\nu$, na equação 3). A absorção de fótons resulta na promoção de um elétron na banda de valência para a banda de condução com a geração de uma lacuna h^+ (3) na banda de valência. Estas lacunas mostram potenciais bastante positivos. Este potencial é suficientemente positivo para gerar radicais $\text{OH}^\bullet$ (4) a partir de moléculas adsorvidas na superfície do semicondutor, os quais só podem subsequentemente oxidar o contaminante orgânico.

2.5.8 Fatores que influenciam a fotodegradação

Os POAs são influenciados por vários fatores: concentração de matéria orgânica, concentração dos oxidantes, características da fonte luminosa, do sistema de operação, temperatura, pH, da geometria e dos parâmetros hidrodinâmicos do reator entre outros (JARDIM, 2004).

Os processos que utilizam peróxido de hidrogênio são mais eficientes em caráter ácido (JARDIM, 2004).

2.6 Legislação de reúso de água

Segundo Mancuso (2003), mesmo sendo a água um recurso natural renovável, devido à sua escassez, seja para atividades produtivas, agropecuárias e

até para o abastecimento de populações, tem levado os países a tratarem seus recursos hídricos como se não fossem renováveis, institucionalizando e sistematizando políticas para sua utilização de descarte.

O código de água foi estabelecido pelo decreto federal nº 23.643, de 10 de julho de 1934. Este previa a propriedade privada dos corpos d'água, assegurava o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente e tratava os problemas relativos ao uso das águas como meras questões de vizinhança (GRANZIERA, 2001).

A consciência de que os recursos hídricos têm fim, surgiu com a Constituição Federal de 1988 e com a lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (GRANZIERA, 2001).

De acordo com Costa (2007), esta lei assegurou o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água para as primeiras necessidades da vida e permitiu que todos usassem as águas públicas, de acordo com os regulamentos administrativos. A lei impede a utilização das águas públicas para aplicação em agricultura, indústria e higiene, sem a existência de concessão. O código prevê que a concessão deve ser feita sem prejuízo à navegação, salvo nos casos de uso para as primeiras necessidades da vida ou previstos em leis especiais. Estabelece que não é lícito a ninguém, contaminar as águas que não consome, com prejuízos a terceiros. Prevê ainda, que os trabalhos para a salubridade das águas serão realizados à custa dos infratores que, além da responsabilidade criminal, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e por multas que lhe forem impostas pelos regulamentos administrativos.

No Brasil, onde existe uma rede de abastecimento implantada, a população recebe água com custo referente ao seu tratamento e sua distribuição. Não é cobrado nenhum valor pela água em si, uma vez que ela é considerada um bem público. A regulamentação da Política de Recursos Hídricos pretende instaurar uma cobrança pelo líquido em si, estabelecendo que a água é um bem público dotado de valor econômico.

2.6.1 Lei das águas x reúso

A lei nº 9.433/97 não aborda o reúso de forma explícita, a lei Federal de Recursos Hídricos, dispõe essencialmente sobre o uso primário da água. Entretanto, dispositivos apontam na direção do reúso como um processo importante para a racionalização do uso da água (SANTOS, 2005).

Os parágrafos a seguir tratam sobre os aspectos gerais da lei e suas implicações para o reúso.

O artigo 1 da lei trata sobre sua fundamentação:

II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico.

IV – a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas.

Para Santos (2005), esses fundamentos traduzem duas ideias: a escassez e o valor econômico induzem à prática da reutilização e os efluentes ou águas de segunda qualidade são partes integrantes dos recursos hídricos nacionais e poderão ser utilizados de forma benéfica para usos múltiplos.

O artigo 2 fala sobre os objetivos:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

Os usos menos exigentes podem ser atendidos com água de qualidade inferior e a prática do reúso proporciona aumento da disponibilidade de água.

O artigo 7 versa sobre o planejamento e o conteúdo mínimo:

IV – metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis.

O reúso possibilita o aumento da oferta hídrica, substituição de fontes, e melhora a qualidade, proporcionando abatimento de poluição.

O Artigo 19 observa os objetivos da cobrança do uso dos recursos hídricos:

II - incentivar a racionalização do uso da água

O mecanismo de cobrança induz a prática de reutilização e de conservação da água.

O artigo 32 trata sobre os objetivos do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:

IV – planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos.

A prática do reúso promove e reforça todos esses procedimentos.

2.6.2 A classificação da água e o reúso

A Política de Recursos Hídricos prevê instrumentos para sua aplicação, dentre eles está a classificação das águas. Esse instrumento está intimamente ligado à prática de reúso.

Para Santos (2005), se reúso é o reaproveitamento da águas já utilizadas, qualquer utilização que não seja primária constitui reúso. Assim, classes inferiores de água podem ser chamadas de águas para reúso.

O artigo 9 da lei trata especificamente sobre o assunto:

II – Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água. Essa classificação tem com objetivo:

Assegurar às águas qualidade compatível com usos mais exigentes a que forem destinadas;

Diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

2.6.3 Resolução CONAMA 357/2005

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

As águas são divididas em três grandes grupos: doces, salinas e salobras. Dentro destes grupos ainda ocorre subdivisões: doces (classe especial, 1, 2, 3 e 4); salinas (classe especial, 1, 2, 3 e 4); salobras (classe especial, 1, 2, 3 e 4). Neste projeto será apresentado somente o grupo das águas doces.

De acordo com o capítulo II, Seção I, artigo 4º as águas doces são classificadas em:

I – Classe especial: águas destinadas:

Ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;

À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;

À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II – Classe 1: águas que podem ser destinadas

Ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado;

À proteção das comunidades aquáticas;

À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;

A irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;

À proteção de comunidades aquáticas em Terras Indígenas,

III – Classe 2: as águas que podem ser destinadas:

Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

À proteção das comunidades aquáticas;

À recreação de contato primário, tais como natação esqui aquático e mergulho.

À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;

À aquicultura e atividade de pesca

IV – Classe 3: as águas que podem ser destinadas:

Ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;

À irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

À pesca amadora

À recreação de contato secundário;

À dessentação de animais

V – Classe 4: águas que podem ser destinadas:

À navegação

À harmonia paisagística

A lei ainda prevê as propriedades físico-químicas para cada uma das classes e o uso associado.

A Tabela 7 demonstra os limites da resolução CONAMA 357/2005 para classe 2 – águas destinadas à recreação de contato primário, tais como natação e mergulho, irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, e à aquicultura e à atividade de pesca.

Tabela 7 – Limites da resolução CONAMA 357/2005

Parâmetros	Tolerância
Coliformes fecais (Número Mais Provável/100ml)	1000
Coliformes totais (Número Mais Provável/100ml)	5000
pH	6 a 9
DBO (mg/L)	≤ 5,0
OD (mg/L)	≤ 5,0
Cloretos (Cl ⁻ mg/l)	250
Turbidez (UNT)	100

Fonte: Diário Oficial da União

2.6.4 Resolução CONAMA 430/2011

A Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, completa e altera a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA.

De acordo com o capítulo II, Seção II, artigo 16 determina as condições de lançamento de efluentes. De acordo com o artigo os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as seguintes condições:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas:
 - 1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

2.6.5 Portaria MS 518/2004

A portaria 518 estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Na Tabela 8 são apresentados alguns dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos exigidos para água estar em conformidade com o padrão exigido pela portaria.

Tabela 8 – Padrões de potabilidade de acordo com a portaria MS 518/2004

Parâmetros	Tolerância
Coliformes fecais (NMP/100ml)	Não detectável
Coliformes totais (NMP/100ml)	Não detectável
pH	6 a 9,5
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	1000
Cloretos (Cl ⁻ mg/l)	250
Turbidez (UNT)	5

Fonte: Diário Oficial da União

2.6.6 Resolução CONSEMA 128/2006

Esta portaria dispõe sobre os critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos da água interiores do Estado do Rio Grande do Sul. O objetivo da portaria é

reduzir a carga poluidora lançada nos recursos hídricos do Estado do Rio Grande do Sul. A Tabela 9 demonstra os padrões para lançamento de efluentes em corpos d'água.

Tabela 9 – Padrões de lançamento de efluentes resolução CONSEMA 128/2006

Parâmetros	Tolerância
Coliformes termossensíveis (NMP/100mL)	≤ 300
DBO	≤ 120
pH	6 a 8,5
DQO (mg/L)	≤ 360
Sólidos suspensos (mg/L)	≤ 120
Espumas	Ausentes
Cor	Não conferir mudança de cor ao corpo receptor

Fonte: Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul

2.6.7 Resolução CONSEMA 129/2006

A resolução versa sobre a definição de critérios e padrões de emissão para toxicidade de efluentes líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul.

De acordo com o artigo 11 da resolução, os padrões de emissão de toxicidade para efluentes líquidos de novas fontes poluidoras deverão atender:

I - Os efluentes não devem apresentar toxicidade aguda quando submetidos a ensaios de toxicidade para organismos-teste de pelo menos três diferentes níveis tróficos, FT=1(Fator de toxicidade, significa a menor diluição da amostra na qual não se observa efeito deletério sobre os organismos testes, nas condições prescritas em cada metodologia);

II - Os efluentes não devem apresentar toxicidade crônica quando submetidos a ensaios de toxicidade para organismos-teste de pelo menos dois diferentes níveis tróficos e genotoxicidade, quando lançados em corpos d'água com vazão ($Q_{\min}$) inferior a 10 (dez) vezes a vazão do efluente (taxa de diluição < 1:10),

III - para toxicidade crônica e genotoxicidade devem ser observados os critérios previstos no artigo 9º, respeitando o enquadramento de vazão máxima de lançamento em corpos d'água com vazão ($Q_{\min}$) igual ou superior a 10 vezes a

vazão do efluente, sendo que os prazos serão contados a partir da publicação de presente Resolução;

IV - decorridos os prazos previstos no artigo 9º, deve ser contemplado somente o período pré-operacional de 12 meses para ausência de toxicidade aguda, com organismos-teste de 3 diferentes níveis tróficos e adicional de 6 meses para ausência de toxicidade crônica com organismos-teste de 2 níveis tróficos e ausência de genotoxicidade.

Abaixo os critérios definidos no artigo 9º para uma população acima de 250.000 habitantes:

Prazo de até 4 (quatro) anos: padrão de emissão para toxicidade a ser definido, em fator de diluição (FT), caso a caso, em função da vazão do efluente, vazão mínima do corpo receptor, de acordo com a equação:

$FT \leq Q_{\text{mín corpo receptor}} / 100 Q_{\text{máx efl}}$, limitado ao valor máximo de 4 (quatro) e mínimo de 1 (um), em ensaios de toxicidade aguda para organismos-teste de pelo menos três diferentes níveis tróficos;

Prazo de até 6 (seis) anos: o efluente não deve apresentar toxicidade aguda para organismos-teste de pelo menos três diferentes níveis tróficos, $FT=1$ (efeito não observado);

Prazo de até 8 (oito) anos: o efluente não deve apresentar toxicidade crônica para organismos-teste de pelo menos dois diferentes níveis tróficos;

Prazo de até 10 (dez) anos: o efluente não deve apresentar genotoxicidade.

2.7 Condomínios residenciais

A sociedade é acometida com aumento da violência, dessa forma a preocupação com a segurança, tanto pela propriedade privada quanto da própria vida, fez com que a busca pelos espaços murados se tornasse uma necessidade (CALDEIRA, 2003).

O condomínio em edifícios de apartamentos, além de possibilitar maior segurança ao indivíduo, possui grande aceitação devido a outros fatores diversos, como: melhor aproveitamento do terreno, diminuindo o custo das construções, o fato das construções se tornarem mais econômicas graças a aquisição de grandes quantidades de materiais, entre outros fatores (MALUF, 2005).

Ao longo dos últimos anos, a política brasileira, dirigida à população de menor poder aquisitivo, ganhou destaque graças ao aperfeiçoamento do setor e parcerias público-privada. A atual gestão governamental coincidiu com um cenário econômico favorável, tanto nacional quanto internacional, que permitiu ao Brasil alavancar o crédito imobiliário e expandir a construção civil, parceria determinante para diminuição do déficit habitacional e na produção formal de moradias (KRAHENBUHL, 2010).

Em março de 2009, o governo lançou o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) como ação para enfrentar a crise econômica anunciada em fins de 2008, alocando recursos do Orçamento Geral da União em proporção ainda não vivenciada no País, incentivando a iniciativa privada a ampliar a produção de unidades habitacionais de interesse social e abrigo no programa ações voltadas à redução de tributos, de custas cartoriais e dos seguros prestamistas, além de medidas para a regularização fundiária (ALVES, 2010).

Desde seu início, o programa MCMV já financiou mais de 2 milhões de novas residências. O padrão construtivo preferido pelos empreiteiros deste tipo de obra, são edificações de quatro pavimentos de alvenaria estrutural. O principal motivo está vinculado à relação custo benefício deste tipo de edificação, que neste caso, dispensam elevadores, vigas e outras exigências, diminuindo o custo da construção. (DANTAS ET AL., 2010)

Por anos, as questões ambientais, como o descarte de efluentes, não foram levadas em consideração, a cultura de que os recursos naturais existiam em abundância, fizeram com que as cidades crescessem de forma desordenada e sem planejamento, causando impacto nocivo a mananciais, e alto custo de tratamento (SOUSA, 2008).

No Brasil, o reúso de água em edificações não é uma prática comum. Uma das razões é que a sociedade mostra certa resistência a mudanças e à utilização de novas tecnologias, além da disponibilidade hídrica do país ser considerada elevada. Entretanto, em médio prazo, o Brasil poderá sofrer com problemas de abastecimento de água tratada (NOSÉ, 2008).

A grande disponibilidade de informações a respeito dos impactos e consequências no descuido da utilização dos recursos naturais, juntamente com a conscientização ambiental alinhada a uma legislação mais restritiva, obrigaram os empreendedores a considerar os impactos de suas obras e trabalhar conforme determinam as leis. Isto, além de contribuir na preservação do meio ambiente, pode ser utilizado como *marketing* verde, vislumbrando no patrimônio ambiental a possibilidade de valorizar seu produto (SOUSA, 2008).

A desordenada gestão da oferta e demanda de água nas edificações requer soluções sustentáveis, com bases metodológicas apropriadas, e, dentre estas, se destacam as técnicas de conservação de água, tais como a utilização de fontes alternativas de suprimento de água em sistemas prediais. O reúso de águas cinza para fins não potáveis consolida este objetivo (NIRENBERG, 2010).

2.7.1 Águas cinzas em edificações

Águas cinzas são aquelas provenientes dos lavatórios, chuveiros, tanques e máquinas de lavar roupas e louça (FERNANDES, 2006). O resíduo líquido gerado em uma residência, popularmente conhecido como esgoto, pode ser classificado em águas negras e cinzas. Em águas negras há presença dos efluentes oriundos de vasos sanitários e nas cinzas, não há contribuição de efluentes de vasos sanitários. Porém, quanto ao conceito de água cinza não há consenso internacional.

O reúso de água em edificações é perfeitamente viável, desde que seja dimensionado para esse fim, respeitando as diretrizes a serem analisadas, e não permitindo o uso da água para consumo direto, preparação de alimentos e higiene pessoal (FERNANDES, 2006).

Segundo Mancuso (2003), o reúso da água cinza para finalidades não potáveis, como jardinagem e descarga em bacias sanitárias, deve ser estimulado também com a intenção de diminuir o tamanho da instalação da ETE.

O reúso de água busca evitar consumo de água potável em procedimentos em que seu uso é totalmente dispensável, sendo substituída, em muitos casos, com vantagens econômicas nas indústrias e grandes condomínios residenciais e comerciais. A água proveniente de pias, lavatórios, chuveiros pode ser reutilizada, e alguns casos, sem tratamento, para descarga de bacias sanitárias e lavagem de pisos (HESPANHOL, 2003).

Em relação à utilização das águas cinzas em edificações residenciais, existem alguns projetos, onde as águas cinzas são coletadas em tubulações separadas e após são conduzidas para pequenas estações de tratamento antes de retornarem para distribuição não potável, a qual são realizadas por tubulações específicas de distribuição (FERNANDES, 2006).

Reutilizar a água, para qualquer fim, depende de sua qualidade física, química e microbiológica. Os parâmetros físico-químicos de qualidade são bem compreendidos, sendo possível estabelecer critérios de qualidade que sejam orientados para o reúso. Para reutilizar a água, ela deve satisfazer os critérios recomendados ou os padrões que tenham sido fixados para determinado uso e, para isso, é necessário que se conheçam as características físicas e químicas (FERNANDES, 2006).

2.7.2 Qualidade para uso de águas cinzas em bacias sanitárias

Muitos países já conhecem o perfil de consumo quantitativo da água em uma residência, isso varia de acordo com região, época do ano e cultura de cada país, mas na maioria dos casos o vaso sanitário foi identificado como um dos pontos residenciais de maior consumo (ALMEIDA, 2012).

Em relação ao reúso em bacias sanitárias, deve ser levado em consideração que existe a possibilidade de contato físico do usuário com a água. Nesse caso deve

ser determinado qual o parâmetro mínimo aceitável para a qualidade da água que será utilizada para esse fim (ALMEIDA, 2012).

A OMS publicou um trabalho baseado em 22 pesquisas que relacionavam a qualidade da água com a saúde dos usuários praticantes de esportes em águas balneáveis. A conclusão do trabalho, através da análise dos números dos estudos selecionados, é que não existe razão para crer que enfermidades severas, tais como hepatite e febre tifoide possam ser transmitidas a banhistas através de águas recreativas contaminadas com os agentes causadores. Dessa forma é possível estabelecer para água que for utilizada em vaso sanitário, que ela seja classificada como balneável, considerando que neste caso, é possível mergulhar na água tendo contato com todas as partes do corpo, ao passo, que nas bacias sanitárias a possibilidade de contato, além de remota, será em proporções ínfimas (ALMEIDA, 2012).

2.7.3 Qualidade para uso de águas cinzas em paisagismo

Segundo Mota (2000), o reúso de água em irrigação deve considerar os seguintes aspectos: (1) tipo de cultura a ser irrigada; qualidade do efluente a ser utilizado, dependendo do tipo de cultura; (3) tratamento a ser utilizado no efluente; (4) técnicas de irrigação a serem utilizadas e medidas de controle ambiental a serem adotadas.

Segundo Brites (2008), as modalidades de reúso urbano (paisagístico), envolvem uma grande variedade de aplicações: irrigações de campos de esporte, parques, jardins, cemitérios, canteiros de rodovias, usos ornamentais e paisagísticos entre outros.

Para Hespanhol (2003), os parâmetros a serem analisados para projetos de reúso em irrigação são: pH, salinidade, taxa de infiltração no solo, toxicidade por íons específicos, DBO, ST, turbidez e coliformes termotolerantes.

3 METODOLOGIA

3.1 Análise da amostra

Primeiramente foram coletadas amostras no condomínio Vila Jardim localizado no Bairro Verena em Santa Cruz do Sul – RS. A coleta foi feita em quatro apartamentos num total de 16. Foram coletadas, também, amostras do efluente descartado de máquinas de lavar roupas no Centro Universitário UNIVATES, localizada no município de Lajeado – RS.

Após análises preliminares, verificou-se que os resultados eram semelhantes e optou-se em utilizar as amostras provenientes do Centro Universitário devido à facilidade de coleta. Apesar da UNIVATES não ser uma residência, as peças lavadas e o método utilizado, são os mesmos praticados em ambientes residenciais.

O efluente é proveniente da lavagem de uniformes dos funcionários, toalhas de mesa entre outras peças. Os produtos utilizados na lavagem dessas, não são muito diversificados, mas podem variar consideravelmente suas fórmulas devido à marca utilizada. Entre eles podem ser citados: sabão em pó, amaciante, alvejante, água sanitária entre outros, sendo que em sua composição há uma variedade de surfactantes além de substâncias cloradas.

Apesar da variedade dos produtos utilizados, o efluente normalmente apresentou um caráter neutro, mas muitas vezes foi necessário corrigir o pH para incremento da eficiência do tratamento (JARDIM, 2009), quando este apresentava características básicas. Na Tabela 10, tem-se a caracterização do efluente utilizado

neste estudo. Para a realização dos experimentos, foram sempre coletados 10 Litros de efluente.

Tabela 10 – Resultados físico-químicos do efluente bruto de água de lavagem

Amostras analisadas	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade (mS.cm ⁻¹)	COT (mg.L ⁻¹)
Efluente Bruto 1	10,06	46,7	1,69	408,9
Efluente Bruto 2	7,2	16,26	5,19	274,1
Efluente Bruto 3	6,91	108	2,67	438,1

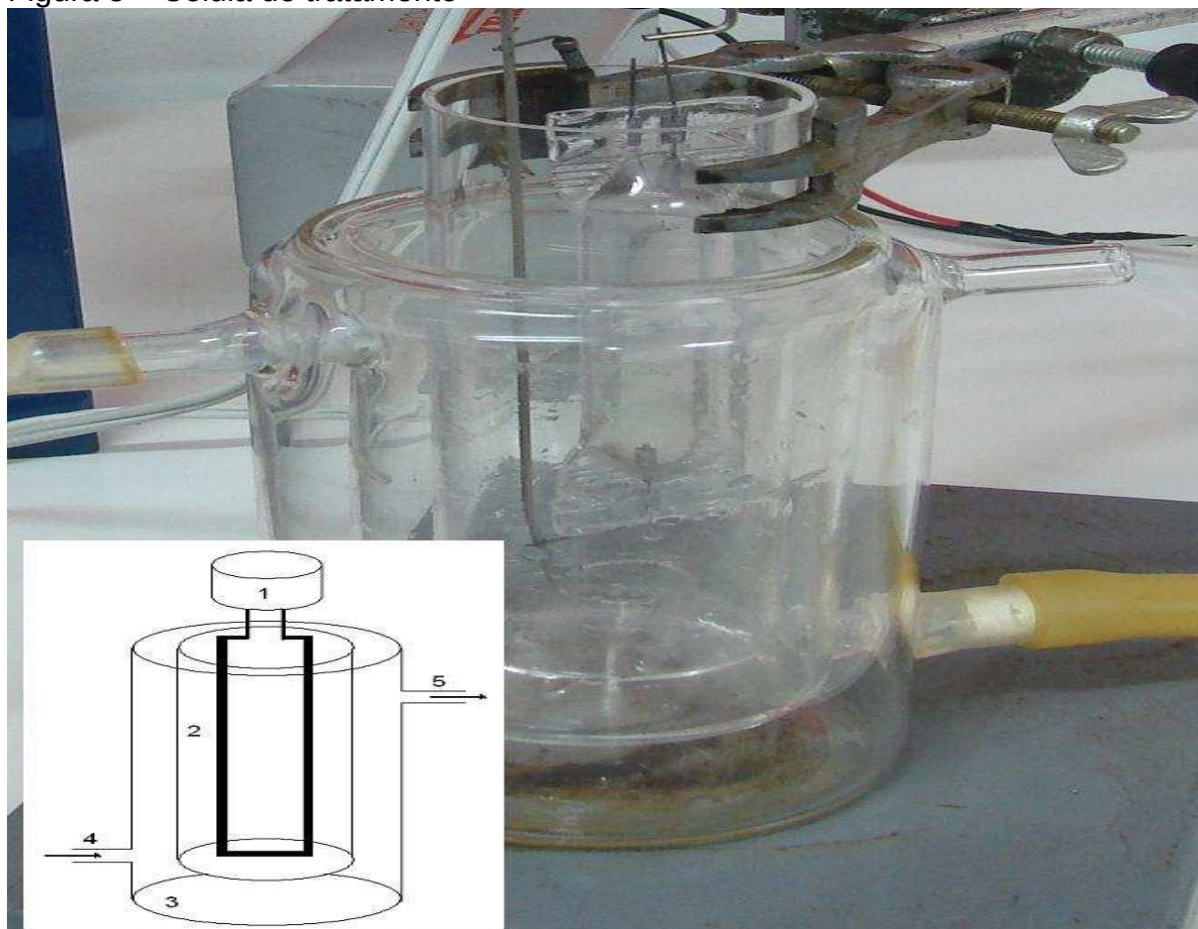
Fonte: do autor

Além do pH, a quantidade de material orgânico dissolvido e turbidez também variam de acordo com tipo de atividade (toalha de mesa, pano de chão, uniforme, etc.) em que a peça lavada foi utilizada.

3.2 Tratamento por fotólise em reator de fluxo ascendente

Os testes de degradação por fotólise foram realizados utilizando 10 litros de amostra do efluente bruto adicionando-se catalisador ou agente oxidante. Usou-se a força da gravidade para sua passagem por uma tubulação de 2 cm de diâmetro até o reator de fluxo laminar ascendente, composto por uma célula de vidro, um tubo de quartzo e uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão sem o bulbo de vidro externo (Osram HQL 400 W), construído pelo Núcleo de Eletrofototécnica e Materiais Poliméricos – Nemp/Univates, conforme a Figura 5 (MARMITT, 2010).

Figura 5 – Célula de tratamento



Fonte: do autor 1- Lâmpada 2- Tubo de quartzo 3- Becker 4- Entrada de efluente 5- Saída do efluente

O agente oxidante utilizado no processo foi o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e como catalisador utilizou-se o dióxido de titânio (TiO_2). Para o sistema conjugado UV/ H_2O_2 foi adicionado ao efluente bruto 17 mL.L^{-1} de peróxido de hidrogênio P.A. e para o sistema conjugado UV/ TiO_2 foram adicionados 1 g.L^{-1} de TiO_2 . Estas concentrações foram utilizadas tendo por base estudos anteriores do grupo de pesquisa.

Enquanto eram realizados os ensaios no reator, foram separadas alíquotas das amostras para caracterização por meio de técnicas analíticas como: determinação de Turbidez (Turbidímetro DM-TU – Digimed), Condutividade (Condutivímetro 856 – METROHM), Carbono Orgânico Total (Equipamento – TOC – VCPH da SHIMADZU) e pH (pHmetro 827 – METROHM).

Para medição de pH foi utilizado o pHmetro 827 – METROHM conforme Figura 6.

Figura 6 – pHmetro utilizado nos ensaios



Fonte: do autor

Para a determinação da condutividade foi utilizado o Condutímetro 856 – METROHM conforme a Figura 7.

Figura 7 – Condutivímetro utilizado nos ensaios



Fonte: do autor

Na medição do COT foi utilizado Equipamento – TOC – VCPH da SHIMADZU conforme Figura 8.

Figura 8 – Medidor de Carbono Orgânico Total utilizado no acompanhamento dos experimentos



Fonte: do autor

Para medir a turbidez foi utilizado Turbidímetro DM-TU – Digimed conforme Figura 9.

Figura 9 – Turbidímetro DM-TU – Digimed



Fonte: do autor

Paralelamente, foram realizados ensaios para a determinação de Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF) e Sólidos Voláteis (SV) – Método Gravimétrico (APHA, 2005), e análises de teor de cloro, microbiológicas de Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais no Laboratório de Análises da UNIVATES - Unianálises.

Devido à variação do pH do efluente, que oscilava em torno de 6,8 a 10,0, houve situações onde foi necessário seu ajuste para pH= 6,0, utilizando a adição de Ácido Clorídrico 0,1 mol L⁻¹ para aumentar a eficiência do processo de fotodegradação. Todos os ensaios foram realizados em triplicatas.

3.3 Teste de toxicidade

As análises foram realizadas em triplicata, utilizando água deionizada como controle negativo e o ácido bórico na concentração de 5% como controle positivo, em amostras do efluente bruto e tratado em diferentes diluições. Para os ensaios de toxicidade foi utilizado um filtro de papel colocado sobre uma placa de Petry, previamente marcado com a diluição da amostra bruta e tratada. O papel filtro foi então saturado com 4 mL da respectiva amostra. Dez sementes de alface (*Lactuca sativa*) foram colocadas sobre o filtro de papel com espaço suficiente para o crescimento das raízes. Às placas foram adicionadas tampas e as mesmas foram envolvidas com filme polimérico para evitar a perda de umidade, sendo que foram incubadas por 120 horas à temperatura controlada de $22,2 \pm 2$ °C (GARCIA, 2009). A Figura 10 mostra a incubadora utilizada.

Figura 10 – Incubadora de germinação utilizada nos experimentos



Fonte: do autor

O efeito da amostra sobre a germinação foi determinado de acordo com a equação 5.

$$\% \text{ germinação absoluta} = \frac{\text{nº de sementes germinadas}}{\text{nº total de sementes}} \times 100 \quad (5)$$

O efeito da amostra sobre o crescimento da *Lactuca sativa* foi determinado levando-se em conta a raiz e o caule, de acordo com a equação 6.

$$\% \text{ de inibição de crescimento relativo} = \frac{\text{MCCR} - \text{MACR}}{\text{MCCR}} \times 100 \quad (6)$$

Onde MCCR= média controle de crescimento da raiz e MACR= média da amostra de crescimento da raiz.

3.4 Proposição e Dimensionamento de um sistema de tratamento para condomínios residenciais

Após a análise e discussão dos resultados foi dimensionado um sistema de tratamento para o efluente descartado pela máquina de lavar roupas, possível de ser implantado em um condomínio residencial de dezesseis apartamentos. A quantidade de apartamentos foi determinada em função do padrão construtivo no Brasil, que em sua maioria, as construtoras optam por construir prédios de quatro andares com quatro apartamentos por andar (DANTAS et al.,2010).

Para combater a gestão desorganizada do consumo de água em edificações (Niremborg, 2010), buscam-se soluções sustentáveis, com bases metodológicas apropriadas, e, com técnicas de conservação de água, tais como a utilização de fontes alternativas de suprimento de água em sistemas prediais, podendo ser incluído aqui soluções que visem o reúso de efluentes.

Buscou-se dimensionar um sistema de tratamento para a água cinza descartada pela máquina de lavar roupas, indicando-se para esta finalidade a construção de um tanque auxiliar onde, após este, o efluente seria submetido à fotodegradação, utilizando o sistema UV/TiO₂ (técnica que obteve os melhores resultados para potencial de reúso), sendo que após o tratamento, o efluente

poderia ser utilizado para abastecimento das bacias sanitárias. Para isso foi necessário que se projetasse um sistema de tubulações independente.

O dimensionamento levou em consideração as possibilidades de reúso do efluente tratado, de acordo com a legislação ambiental vigente, neste caso, a resolução CONAMA 357/2005, CONAMA 430/2011, portaria do MS 2914/2011, resolução Consema 128/2006, resolução CONSEMA 129/2006. Além das possibilidades de reúso, foram avaliados os custos de implantação e manutenção do sistema, assim como a potencial economia gerada com o mesmo.

Para determinação do custo da energia elétrica foi realizado uma média dos valores cobrados por todas as concessionárias do território nacional conforme o site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) conforme o Anexo 1.

Ainda, na avaliação do consumo energético foi utilizada a equação 7 (ALVARENGA, 1997).

$$CE = \frac{P \times h \times d}{1000} \quad (7)$$

Onde:

CE= Consumo Energético

P= Potência em kW

h= Número de horas utilizadas dia

d= Número de dias utilizados no mês

Para o cálculo do custo da água, foi utilizada a tabela de tarifa fornecida pela CORSAN (Companhia Rio-Grandense de Saneamento) em junho de 2012, sendo o custo de 1 m³ igual a R\$ 3,20.

A avaliação do *payback* (tempo necessário para valor investido no sistema retornar ao caixa), do sistema de tratamento de águas cinzas, desconsiderando os custos em análise de água, foi realizada através da equação 8 (VERAS, 2007):

$$VP = B / (1 + S)^t \quad (8)$$

Onde:

VP= Valor presente

B= benefício econômico (custo da água antes da estação – custo da água pos estação)

S= taxa de retorno (foi utilizada a taxa Selic de 08/2012, ou seja, 8% ao ano)

t= tempo para retornar o investimento

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante aproximadamente três meses, foram coletadas amostras dos efluentes provenientes das máquinas de lavar roupas da UNIVATES. As amostras foram coletadas em datas aleatórias, sendo as análises realizadas poucos minutos depois para evitar interferências nos resultados.

Inicialmente, os estudos foram realizados com o objetivo de analisar e classificar o tipo de reúso possível do efluente que era descartado no processo de lavagem de acordo com a legislação vigente. Nesses estudos foram medidos pH, turbidez, condutividade e COT.

Os resultados encontrados estão expressos na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados físico-químicos do efluente bruto

Amostras analisadas	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade (mS.cm ⁻¹)	COT (mg.L ⁻¹)
Efluente Bruto 1	10,06	46,70	1,69	408,90
Efluente Bruto 2	7,20	16,26	5,19	274,10
Efluente Bruto 3	6,91	108,00	2,67	438,10

Fonte: do autor

Os resultados das Tabelas 11 e 12 mostram alguns dos resultados das análises realizadas durante os três meses. Observa-se que ocorre variação em todos os parâmetros, demonstrando que devido à variedade de produtos que são utilizados para lavagem de roupas, e o tipo de contaminante a que a peça lavada foi exposta, é praticamente improvável que exista uma amostra com parâmetros

próximos da outra, consistindo, portanto, em uma amostra do tipo complexa, com alta variabilidade de construção, e desta forma os experimentos foram realizados em triplicata.

Pode ser constatado que, apesar da variação dos resultados, as amostras tenderam a apresentar um caráter de neutro a básico. Analisando somente os valores de pH, o efluente bruto estaria dentro ou muito próximo dos valores exigidos pela resolução CONSEMA 128/2006 e a Resolução CONAMA 430/2011, que dispõem sobre as condições de lançamentos de efluentes líquidos em corpos de água. A portaria 518/04 de potabilidade foi utilizada apenas em nível de comparação, pois o reúso de águas não deve ser utilizado para fins nobres conforme Costa (2007), ou ao menos deve ser somente realizado em situações de extrema escassez de água.

De forma análoga ao pH, o mesmo pode ser constatado ao analisar somente a turbidez, o efluente bruto está dentro ou muito próximo do estipulado por ambas portarias já anteriormente mencionadas.

Devido às variações dos contaminantes e produtos utilizados na lavagem, pode-se afirmar que sem tratamento ou diluição adequada, o efluente bruto não pode ser despejado diretamente em um corpo de água, pois está fora dos parâmetros determinados pela legislação ambiental como pode ser observado na Tabela 12. Dessa forma, se descarta também, a possibilidade de que o mesmo seja reutilizado antes de ser tratado ou diluído de forma adequada.

A Tabela 12 realiza um comparativo dos resultados encontrados com os parâmetros aceitáveis de acordo com a legislação vigente.

Tabela 12 – Resultados físicos-químicos do efluente bruto

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Portaria MS 2914/11 ¹	CONSEMA 128/2006 ²	CONAMA 357/2005 ³	CONAMA 430/2011 ⁴
pH	10,06	7,20	6,91	6 a 9,5	6 a 9	6 a 9	5 a 9
Turbidez (NTU)	46,70	16,26	108,00	5		100	
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	1,69	5,19	2,67				

Fonte: do autor

1- Padrão de potabilidade de acordo com a portaria MS 2914/2011.

2- VMP(valor máximo permitido) de lançamento de efluentes em corpos d'água pela resolução CONSEMA 128/2006.

3- Limites da Resolução CONAMA 357/2005 para classe 2 – águas destinadas à recreação de contato primário

4- Condições de lançamento de efluentes da Resolução CONAMA 430/2011

4.1 Tratamentos utilizando Processos Oxidativos Avançados

Na tentativa de purificar a amostra foram utilizados tratamentos com POAs. O efluente foi submetido a dois tratamentos, primeiramente ao sistema conjugado UV/H₂O₂ e na sequência, ao UV/TiO₂.

A literatura sugere que sistemas conjugados de POAs são mais eficientes em pH de caráter ácido (ALVES, 2006). Como algumas amostras analisadas possuíam um pH elevado, foi necessário realizar a correção antes de submetê-la ao tratamento. Isso foi possível através da adição de ácido clorídrico 0,1 mol L⁻¹ ajustando o pH entre 6 e 7.

A Figura 11 mostra o sistema utilizado para realização dos tratamentos.

Figura 11 – Reator de tratamento aplicado aos efluentes de lavagem



Fonte: do autor

4.1.1 Tratamento com sistema conjugado UV/H₂O₂

Após o ajuste do pH, foi adicionado ao efluente, peróxido de hidrogênio p.a. na quantidade de 17 mL.L⁻¹ (concentração utilizada em função de estudos anteriores realizados pelo grupo de pesquisa), e foi submetido ao processo de fotólise. O processo ocorreu mediante a incidência de radiação ultravioleta no efluente bruto + H₂O₂ para sua degradação. Pode-se observar uma pequena diminuição na turbidez, mas sem apresentar uma melhora significativa, sendo que a Tabela 13 demonstra os resultados medidos.

Tabela 13 – Resultados após tratamento UV/H₂O₂

Amostras analisadas	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade (mS.cm ⁻¹)	COT (mg.L ⁻¹)
Efluente Bruto 1	6,90	46,70	1,69	242,50
Efluente Bruto 1 tratado	4,90	40,10	2,32	182,40
Efluente Bruto 2	7,14	75,00	1,65	191,00
Efluente Bruto 2 tratado	5,90	32,30	2,28	88,96
Efluente Bruto 3	6,91	108,00	2,67	438,10
Efluente Bruto 3 tratado	4,90	77,20	4,05	354,00

Fonte: Autor

O tratamento fotoquímico mostrou-se pouco eficiente para redução de carbono orgânico total. A melhor eficiência foi a de redução de 53% como pode ser observado na avaliação dos valores relativos ao efluente 2 na Tabela 13.

Ainda pela Tabela 13, pode-se verificar que houve aumento da condutividade em todos os tratamentos, bem como a diminuição da turbidez, o que indica que apesar das moléculas orgânicas não serem mineralizadas por completo, provavelmente estão sendo quebradas em moléculas menores.

Outro efeito que pode ser observado após o tratamento, é que o processo torna o caráter do efluente ácido, resultado que implica em muitas restrições para aplicação de reúso doméstico, necessitando, portanto, posterior correção deste parâmetro.

Na Tabela 14 tem-se os resultados das análises de pH, turbidez e condutividade dos efluentes após o tratamento UV/H₂O₂ em comparação com os definidos por legislação.

Tabela 14 – Resultados das análises de pH, turbidez e condutividade dos efluentes de lavagem de roupas após tratamento UV/H₂O₂ em comparação com limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Parâmetros	Amostra 1 Tratada	Amostra 2 Tratada	Amostra 3 Tratada	Portaria MS 518/04	CONSEMA 128/2006	CONAMA 357/2005
pH	4,90	5,9	4,9	6 a 9,5	6 a 9	6 a 9
Turbidez (NUT)	40,1	32,3	77,2	5		100
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	2,32	2,28	2,67			

Fonte: do autor

A Tabela 14 mostra que o pH após o tratamento está fora do VMP (Valor Mínimo Permitido) para lançamento em corpos d'água, sendo que o mesmo apresenta maior acidez em comparação ao efluente sem tratamento.

Para o efluente de lavagem bruto e tratado com UV/H₂O₂, ainda foram realizados testes de toxicidade conforme a Tabela 15, avaliando-se a germinação de sementes de *Lactuca sativa*.

Tabela 15 – Testes de toxicidade, em termos de percentual de germinação de sementes de *Lactuca sativa*, de amostras de efluente de lavagem de roupas bruto e tratado com UV/H₂O₂

Amostras	Média (cm)	Desvio Padrão	% de germinação
Água	3,4	1,64	100
Ácido Bórico	0	0	0
Bruto	0,79	0,11	22,52
Tratado	0	0	0

Fonte: do autor

De acordo com a EPA (*Environmental Protection Agency*), para que este teste possua aceitabilidade, é necessário que pelo menos 90% das sementes tratadas pelo controle, neste caso, a água, germinem. Neste teste, conforme a tabela 15, 100% das sementes germinaram.

A avaliação da germinação da *Lactuca sativa* e desenvolvimento da raiz e caule, são indicadores representativos da capacidade de estabelecimento de plantas e desenvolvimento em meios potencialmente tóxicos (Garcia, 2009).

Diferentemente do tradicional teste de germinação de sementes (Garcia, 2009), a avaliação de crescimento da raiz e caule das mudas permite avaliar o efeito tóxico de compostos solúveis presentes em níveis de concentração suficientemente baixa para inibir a germinação, mas suficientemente elevada para, possivelmente, retardar ou inibir o crescimento da raiz e caule completamente.

A Tabela 15 demonstra que o efluente antes do tratamento possui um alto índice de letalidade, onde apenas 22,25% das sementes germinaram quando em contato com a amostra.

Quando o teste foi realizado com efluente tratado, nenhuma das sementes colocadas na câmara germinou, indicando um índice de letalidade de 100%. Este índice de letalidade pode ser justificado pela, provavelmente, presença em excesso de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sendo que o mesmo, por ser oxidante, promove a degradação das sementes, inibindo sua germinação.

Ainda em relação ao efluente bruto, pela Tabela 15, pode ser observado que apesar de algumas sementes germinarem, ocorreu uma diminuição na média do tamanho da raiz e caule, provavelmente devido aos produtos de limpeza contidos no efluente de lavagem.

Para os efluentes tratados com UV/ H_2O_2 ainda foram medidos mais dois parâmetros: Coliformes termotolerantes e cloretos conforme a Tabela 16. Na Tabela 17 é estabelecida uma relação dos resultados obtidos com os parâmetros permitidos pela legislação ambiental vigente.

Tabela 16 – Análise de Coliformes termotolerantes e cloretos dos efluentes de lavagem de roupas tratados por processo UV/ H_2O_2 .

Amostras analisadas	Cloretos ($mg.L^{-1}$)	Coliformes termotolerantes
Efluente tratado	198,5	1,8 NMP/100mL

Fonte: do autor

NMP: Número mais provável

Tabela 17 – Resultados das análises de coliformes e cloretos dos efluentes de lavagem de roupas após tratamento UV/ H_2O_2 em comparação com limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Parâmetros	Amostra Tratada	Portaria MS 518/04	CONSEMA 128/2006	CONAMA 357/2005
Cloretos (mg/L)	198,5	250	-	250
Coliformes termotolerantes	1,8NPM/100mL	Não detectável	1000	1000

Fonte: do autor

Através dos resultados das Tabelas 16 e 17, pode-se identificar que a quantidade de cloretos remanescentes na amostra tratada está dentro do VMP permitido pela portaria 518/04 do Ministério da Saúde e da resolução CONAMA 357/2005.

Em relação a quantidade de coliformes termotolerantes encontrados no efluente tratado, pode ser observado que, além do valor estar dentro dos parâmetros determinados pela resolução CONAMA e CONSEMA 128/2006, o índice é muito próximo a que a resolução 518/04 do Ministério da Saúde determina, ou seja, muito próximo aos padrões de potabilidade.

4.1.2 Tratamento com sistema conjugado UV/TiO₂

Após a correção do pH foi adicionado ao efluente dióxido de titânio na quantidade de 1 g.L⁻¹ e foi submetido ao processo de fotólise. Cabe mencionar que esta quantidade de TiO₂ tem por base estudos presentes na literatura (Wu & Wu, 2011; Cordeiro et al., 2004) e anteriores realizados pelo grupo de pesquisa. O processo ocorreu mediante a incidência de radiação ultravioleta no efluente bruto + TiO₂ para sua degradação. Para que o TiO₂ estivesse em suspensão, foi acoplado ao sistema um agitador mecânico. As Tabelas 18, 19 e 20 mostram os resultados das análises antes e após o tratamento UV/TiO₂ do efluente proveniente do processo de lavagem de roupas.

Tabela 18 – Resultados do efluente bruto e tratado com dióxido de titânio

Amostras analisadas	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade (mS.cm ⁻¹)	COT (mg.L ⁻¹)
Efluente Bruto 1	7,2	16,26	5,19	1763
Efluente Bruto 1 tratado	6,1	3,5	1,31	194,5

Fonte: do autor

Tabela 19 – Resultados do efluente bruto e tratado com radiação UV e dióxido de titânio comparados com a legislação

Parâmetros	Amostra 1 Tratada	Amostra 2 Tratada	Amostra 3 Tratada	Portaria MS 518/04	CONSEMA 128/2006	CONAMA 357/2005
pH	4,8	4,3	4,1	6 a 9,5	6 a 9	6 a 9
OD (mgO ₂ .L ⁻¹)	5,4	5	5			≥5
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	1,85	1,79	1,12	2		

Fonte: do autor

Tabela 20 – Resultados de carbono orgânico total e turbidez dos efluentes tratados com UV e dióxido de titânio

Amostras analisadas	Turbidez (NTU)	COT (mg.L ⁻¹)
Efluente Bruto 1	19,5	520,7
Efluente 1 tratado	4,2	194,5
Efluente Bruto 2	20,3	563,4
Efluente 2 tratado	3,9	179,9

Fonte: Autor

Comparando os resultados obtidos com a aplicação do processo UV/TiO₂, com os resultados do processo UV/H₂O₂, pode ser observado que o tratamento realizado com o TiO₂ como catalisador, foi muito mais eficiente na degradação de matéria orgânica, reduzindo para 11,93% da carga orgânica inicial.

A quantidade de oxigênio dissolvido nas amostras tratadas está de acordo com o mínimo estipulado pela legislação em estudo, mas muito próximo do limite tolerável.

O pH após o tratamento apresentou caráter ácido, de forma similar nas amostras tratadas com UV/H₂O₂, ficando fora dos padrões permitidos pela legislação ambiental.

Outra constatação foi diminuição do valor da condutividade da amostra, indicando, neste caso, que houve mineralização mais eficiente das moléculas orgânicas, diferentemente do resultado com a aplicação do tratamento UV/H₂O₂, onde provavelmente as moléculas ao invés de mineralizarem estavam sendo quebradas em moléculas menores. Ainda, no processo com TiO₂ o efeito de adsorção deve ser levado em consideração.

Pode ser observado uma grande redução na turbidez das amostras conforme a tabela 20, essa redução chegou 19,21% da amostra original, mais uma vez demonstrando que o processo que utilizou o dióxido de titânio é mais eficiente que o processo onde se utilizou o peróxido de hidrogênio.

A Tabela 21 faz um comparativo dos resultados destes parâmetros com a legislação ambiental vigente.

Tabela 21 – Resultados de pH, turbidez e condutividade da amostra tratada submetida a UV/TiO₂ comparados com a legislação ambiental vigente.

Parâmetros	Amostra Bruta	Amostra Tratada	Portaria MS 518/04	CONSEMA 128/2006	CONAMA 357/2005
pH	7,2	6,1	6 a 9,5	6 a 9	6 a 9
Turbidez (NTU)	16,26	3,5	5		100
Condutividade (mS/cm)	5,19	1,31			

Fonte: do autor

Comparando os resultados com o VMP da legislação, pode ser verificado que, para esses parâmetros, o efluente submetido ao tratamento UV/TiO₂, está dentro dos padrões aceitáveis pela legislação, inclusive, dentro do que a resolução MS 518/2004 de potabilidade determina, sem levar em consideração o pH, que em alguns casos teria que ser corrigido, mas conforme Costa (2007) essa possibilidade deve ser descartada quando há outras possibilidades em termos de abastecimento.

Os mesmo teste de toxicidade aplicado ao efluente tratado com UV/H₂O₂ foi aplicado ao efluente tratado com UV/TiO₂. A tabela 22 mostra os resultados.

Tabela 22 – Teste de toxicidade com sementes de *Lactuca sativa* com o efluente proveniente de processos de lavagem de roupa antes e após tratamento com UV/TiO₂.

Amostras	Média (cm)	Desvio Padrão	% de germinação
Água (controle negativo)	3,4	1,64	100
Ácido Bórico (controle positivo)	0	0	0
Bruto	0,65	0,52	19,05
Tratado	0,64	0,61	18,65

Fonte: do autor

A Tabela 22 mostra que o efluente antes do tratamento possui um alto índice de letalidade, onde apenas 19,05% das sementes germinaram quando saturadas pela amostra.

Quando o teste foi realizado com efluente tratado, o índice de letalidade aumentou e 81,35 % das espécies não germinaram. Este resultado sugere que outros níveis tróficos sejam avaliados, para que uma avaliação toxicológica completa seja realizada (COSTA et al., 2008).

A Resolução CONSEMA 129/2006 indica que o índice máximo de letalidade é de 50% dos organismos teste, portanto ambos os efluentes, tanto o tratado como o bruto estariam em desacordo com limite tolerável de toxicidade. Esse índice é conhecido como DL₅₀ (Dose Letal Média) onde uma dose da amostra causa a morte de 50% dos organismos teste.

Segundo orientações do EPA (*Environmental Protection Agency*) para que o efluente seja considerado não tóxico, é necessário que o crescimento do caule germinado com o efluente seja tão promissor quanto o crescimento medido pelo controle, neste caso a média de crescimento da raiz e caule tratado com efluente foi apenas 18,82% da média de crescimento das sementes que foram germinadas com o controle.

Apesar dos resultados dos testes de toxicidade indicarem que o método seja impróprio para reúso, por exemplo, em jardinagem, devido ao alto índice de letalidade, isso poderia ser resolvido com a diluição do efluente tratado, sendo portanto caracterizado como reúso indireto.

Para o efluente que recebeu o tratamento de fotólise com adição do catalisador TiO₂, foram ainda realizadas análises para verificar a quantidade de sólidos voláteis, sólidos fixos e totais, nas amostras brutas e tratadas. Sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura preestabelecida durante um tempo fixado (MACHADO, 2011). Os resultados estão na Tabela 23.

Tabela 23 – Teste de análise de Sólidos Totais, Fixos e Voláteis de efluentes de lavagem com e sem tratamento UV/TiO₂

Amostras analisadas	Sólidos Totais (mg.L⁻¹)	Sólidos Fixos (mg.L⁻¹)	Sólidos Voláteis (mg.L⁻¹)
Efluente Bruto 1	2,11	2,23	-
Efluente Bruto 2	2,02	2,15	-
Efluente tratado 1	0,75	0,85	0,10
Efluente tratado 2	0,55	0,67	-

Fonte: do autor

Comparando os resultados da Tabela 23, pode ser observado uma redução de 75% no teor de sólidos totais após o tratamento fotoquímico com a presença de catalisador. A diminuição deste teor é importante para os recursos hídricos, porque sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática se retornarem diretamente ao corpo de água. Além disso, altos teores de sais minerais estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição (MACHADO, 2011).

A Tabela 24 faz um comparativo dos resultados de sólidos obtidos com efluente tratado e a legislação.

Tabela 24 – Resultados da análise de Sólidos comparados a legislação ambiental vigente.

Parâmetros	Amostra tratada 1	Amostra tratada 2	Portaria MS 518/04
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	0,75	0,55	1000

Fonte: do autor

Como pode ser observado pela Tabela 24, os índices de sólidos totais estão dentro do que é determinado pela portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Para os efluentes tratados com UV/TiO₂ ainda foram medidos mais dois parâmetros: Coliformes termotolerantes e cloretos conforme a Tabela 25. Na Tabela 25 tem-se a comparação dos valores encontrados para estes parâmetros com os estabelecidos na legislação ambiental vigente.

Tabela 25 – Análise de Coliformes e cloretos

Amostras analisadas	Cloretos (mg.L ⁻¹)	Coliformes termotolerantes
Efluente tratado	387,1	1,8NMP/100mL

Fonte: do autor

NMP: Número mais provável

Tabela 26 – Resultado da análise de coliformes e cloretos comparados a legislação ambiental vigente

Parâmetros	Amostra Tratada	Portaria MS 2914/2011	CONSEMA 128/2006	CONAMA 357/2005
Cloretos (mg.L ⁻¹)	387,1	250	-	250
Coliformes termotolerantes	1,8NMP/100 mL	Não detectável	1000	1000

Fonte: do autor

Através dos resultados das Tabelas 25 e 26 pode-se identificar que a quantidade de cloretos remanescentes na amostra tratada é acima do VPM permitido pela portaria 518/04 do Ministério da saúde e da resolução CONAMA 357/2011.

Em relação à quantidade de coliformes termotolerantes encontrados no efluente tratado, pode ser observado que, além do estar dentro dos parâmetros determinados pela resolução CONAMA 357/2005 e CONSEMA 128/2006 do RS, o índice é muito próximo a que a resolução 518/04 do Ministério da Saúde determina, ou seja, muito próximo aos padrões de potabilidade.

A Tabela 27 mostra os resultados na medição do cloretos antes e após o efluente ser corrigido com HCl.

Tabela 27 – Análise de cloretos

Amostras analisadas	Cloretos (mg/L)
Efluente bruto	990,8
Efluente com ajuste de pH	1306,4

Fonte: do autor

Conforme os dados da tabelas 25 e 27, é possível observar que apesar do efluente tratado não estar dentro dos parâmetros exigidos pela CONAMA 357, a redução foi significativa, na ordem de 70,36 %.

Um das possibilidades é que o alto teor apresentado pelas amostras pode ter sido causado pela correção de pH das amostras, onde foi utilizado HCl, estando portanto dissociado no sistema o íon cloreto. Isso poderia ser evitado utilizando-se outro ácido para correção do pH.

4.2 Comparação com estudos realizados utilizando técnicas semelhantes

Marmitt (2010), realizou estudos utilizando o tratamento conjugado UV/H₂O₂ em efluentes sintéticos contendo diferentes corantes alimentícios. Os resultados obtidos foram semelhantes aos da Tabela 13 onde observou-se um aumento da condutividade e uma diminuição no pH nas amostras tratadas.

Tabela 28 – Resultado da análise de Marmitt para efluentes de corante alimentícios tratados por UV/H₂O₂

Amostras analisadas	Condutividade (mS/cm)	pH
Efluente Bruto	19,2	5,69
Efluente tratado	81,3	3,97

Fonte: Marmitt (2010) adaptado pelo autor

Comparando os dois trabalhos, observa-se que o tratamento possui a tendência de acidificar o meio submetido ao tratamento e em ambos os casos, ocorreu aumento da condutividade, isto pode ser devido ao fato de o número médio das moléculas orgânicas dissolvidas ou carregadas eletricamente ter aumentado, provavelmente pela quebra das ligações (degradação) promovida pelo tratamento.

Costa et. al (2008) realizou um trabalho semelhante para tentar degradar corantes de banhos de tingimento em indústria têxtil utilizando o processo Foto-fenton, a diferença neste tipo de tratamento, é que além da adição de peróxido de hidrogênio, é utilizada uma fonte de ferro metálico.

Os resultados obtidos por Costa et. al (2008) foram muito promissores no que se diz respeito à descoloração do efluente, chegando a ordem de 90% de redução na turbidez, resultado muito superior ao conseguido no presente trabalho utilizando

o tratamento UV/H₂O₂ onde se conseguiu a redução máxima de 56,94% conforme a Tabela 13. Se compararmos os resultados de Costa et. al (2009) com a Tabela 18, onde o efluente foi tratado com UV/TiO₂, os resultados se aproximam, neste caso, a redução da turbidez foi de 78,48%. O inconveniente associado ao tratamento foto-feton, são as concentrações de ferro solúvel, que implicam em muitas restrições para aplicação de reúso doméstico, o que não ocorre no tratamento por UV/TiO₂.

Machado (2011), utilizou a fotólise direta para avaliar o potencial de reúso de efluente gerados em uma indústria de alimentos, a Tabela 29 mostra os resultados obtidos na análise. O efluente analisado foi originado na lavagem de equipamentos e pisos, no refeitório e banheiros de uma indústria do setor alimentício localizada no município de Lajeado – RS.

Tabela 29 – Resultado da análise de Machado (2011) para avaliação do potencial de reúso de efluente de indústria de alimentos utilizando fotólise direta

Amostras analisadas	Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	pH	COT (mg.L ⁻¹)	Turbidez (NTU)
Efluente bruto	3,0	8,3	124,9	35,1
Efluente tratado	2,3	6,9	8,7	3,7

Fonte: Machado (2011), adaptado pelo autor

Comparando os resultados de Machado (2011) através dos tratamentos por fotólise direta, com os resultados obtidos com o tratamento UV/TiO₂ utilizado neste trabalho (Tabelas 18,19 e 24), pode-se notar que em ambos os tratamentos os resultados obtidos em termos de redução de turbidez, COT e Sólidos Totais foram bastante promissores e muito próximos. A Tabela 30 faz a comparação em termos percentuais de reduções em ambos os trabalhos.

Tabela 30 – Comparação em termos percentuais de redução de COT, ST e Turbidez entre os trabalhos de Machado (2011), UV direta e o autor utilizando UV/TiO₂.

Amostras analisadas	Sólidos Totais (mg/L)	COT (mg/L)	Turbidez (NTU)
Machado	23,33%	93,03%	89,45%
Autor	26,66%	88,96%	91,94%

Fonte: do autor

Apesar de ambos trabalhos terem obtido resultados promissores no que diz respeito à eliminação de matéria orgânica, o mesmo não foi observado no item toxicidade. A Tabela 31 traz os resultados de Machado (2011) para os ensaios de toxicidade com *Lactuca sativa*.

Tabela 31 – Dados do ensaio de toxicidade com sementes de alface (*Lactuca sativa*)

Amostras	Média (cm)	Desvio Padrão	% de germinação
Água (controle negativo)	3,5	1,6	100
Ácido Bórico (controle positivo)	0	0	0
Bruto	0,4	0,1	12,0
Bruto 50%	2	0,3	57,7
Tratado 50%	2,4	0,2	56,0
Tratado 80%	1,7	0,1	41,0

Fonte: Machado (2011), adaptado pelo autor

Os resultados de toxicidade tanto para o efluente bruto como para o tratado, tanto nos estudos de Machado (2011), como no do autor (Tabela 24), ficaram acima do máximo permitido pela legislação, atingindo o DL₅₀. Mas quando Machado (2011), verificou os resultados do efluente bruto e tratado com uma diluição de 50% observou-se uma redução no índice de letalidade, ficando abaixo do DL₅₀. Talvez, fosse possível obter os mesmos resultados para os efluentes tratados, no presente trabalho com UV/TiO₂, se fosse realizado a mesma diluição.

Já Garcia (2009), usou o processo UV/TiO₂ para tratar resíduos industriais do setor têxtil, buscando a redução da coloração e toxicidade dos mesmos. O interessante nos estudos de Garcia, é que a toxicidade do efluente tratado é menor do efluente bruto, diferentemente do que foi observado no presente trabalho, onde a toxicidade do efluente aumentou após o tratamento (Tabela 24). A explicação pode ser que o aumento da toxicidade está associado ao tipo de contaminante presente no efluente bruto e não ao processo utilizado no tratamento.

Diante do exposto, verifica-se que é possível tratar os efluentes provenientes dos processos de lavagem de roupas, apesar de sua complexidade, principalmente devida à presença de surfactantes na constituição destes (OSÓRIO et al., 2001),

sendo que o reúso pode ser permitido, principalmente de forma indireta, minimizando os impactos ambientais.

4.3 Proposição de um sistema de tratamento para águas cinzas em edificações residenciais

Os potenciais de reúso urbanos para fins não potáveis mais comuns são irrigação paisagística, como parques e jardins públicos, centros esportivos, como campos de futebol e golfe, jardins residenciais e de empresas privadas, reserva de proteção contra incêndios, descarga sanitária e lavagem de veículos (HESPANHOL, 2003).

Devidos aos testes de toxicidade realizados nos efluentes bruto e após serem tratados por UV/H₂O₂ e UV/TiO₂, verificou-se que o índice de letalidade para *Lactuca sativa* foi acima do que é permitido pela legislação ambiental vigente. Dessa forma, descartou-se a possibilidade de utilizar o efluente da lavagem de roupas para irrigação paisagística.

De acordo com a NBR 11715 (ABNT, 2003), que dispõe sobre extintores de incêndio com carga de água, para que um extintor receba como carga, água, esta deve ser potável, o que descarta a possibilidade de utilizar o efluente de lavagem de roupas para reserva de proteção contra incêndio mesmo após terem sido submetidos aos tratamentos.

De acordo com Almeida (2012), a qualidade mínima requerida para que a água seja utilizada na bacia sanitária é que ela seja classificada como balneável, ou de acordo com a resolução CONAMA 357/2005, seja pertencente à Classe II.

Tabela 32 – Limites de tolerância estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 para águas classe II.

Parâmetros	Tolerância
Coliformes termotolerantes (NMP.100mL ⁻¹)	1000
Coliformes totais (NMP.100mL ⁻¹)	5000
pH	6 a 9
DBO (mg.L ⁻¹)	≤ 5,0
OD (mg.L ⁻¹)	≥ 5,0
Cloretos (Cl ⁻ mg/L ⁻¹)	250
Turbidez (NTU)	100

Fonte: Diário da União

Dentre os parâmetros analisados neste trabalho e os resultados obtidos com os tratamentos com UV/H₂O₂ e UV/TiO₂, os resultados encontrados através do tratamento com dióxido de titânio atenderam praticamente todos os critérios estipulados pela resolução CONAMA 357/2005 para classe tipo II conforme as Tabelas 19, 23 e 24, sendo necessário apenas a correção do pH.

De acordo com Morelli (2005) a Tabela 33 traz os valores recomendados pela SABESP para lavagem de veículos.

Tabela 33 – Valores recomendados pela SABESP para lavagem de veículos

Parâmetros	Tolerância
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	200
pH	6 a 9
DBO (mg.L ⁻¹)	≤ 30
SST (mg.L ⁻¹)	≤ 30
Turbidez (UNT)	< 15

Fonte: Morelli(2005) adaptado pelo autor

Como pode ser observado, o efluentes tratados com TiO₂ atenderam quase todos os parâmetros sugeridos pela SABESP, sendo necessário apenas a correção do pH.

Ainda de acordo com Morelli (2005), a quantidade de água consumida para lavagem de um veículo é de 250 L para veículos leves, e de 1200 L, para veículos pesados. Essa quantidade é muito maior que a quantidade diária produzida de efluente de lavagem de roupas em uma unidade familiar residencial. Assim, essa possibilidade de reúso foi descartada, não devido aos parâmetros analisados, mas

devido à grande quantidade de efluente que teria que ser armazenado para esse fim.

Dessa forma o dimensionamento proposto buscou aproveitar o efluente tratado da lavagem de roupas para abastecer a bacia sanitária de edificações residenciais.

4.3.1 Estação de tratamento de águas cinzas

Para definição de critérios de concepção e avaliação dos padrões de qualidade das águas em sistemas prediais utilizados nesse projeto, foram seguidas as orientações dispostas na NBR 13969 (ABNT, 1997).

A NBR 13969 tem por objetivo oferecer alternativas de procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos para tratamento local de esgotos. O dimensionamento aqui descrito deverá ser adaptado de acordo com as necessidades e condições do local onde será implantado o sistema de tratamento.

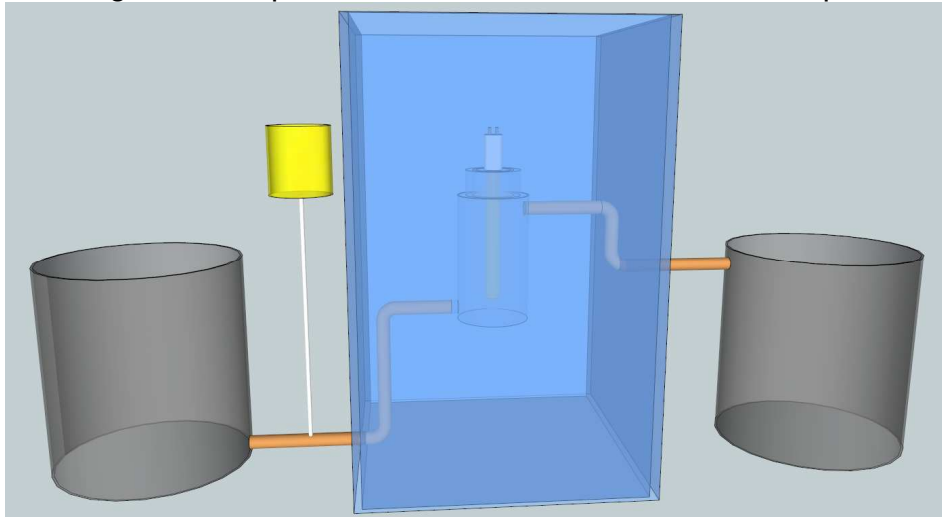
Tal norma determina também que, quando houver usos múltiplos da água de reúso com qualidades distintas, deve-se optar por reservas independentes e identificadas de acordo com a qualidade da mesma; e portanto o grau de tratamento requerido deve ser definido pelo uso mais restritivo quanto à qualidade do efluente a ser tratado.

A estação de tratamento, ilustrada pela Figura 12, recebe o efluente coletado do conjunto habitacional, sendo que a estação tem capacidade de armazenar 500 L (NIRENBERG, 2010; HESPANHOL, 2005), suficiente para armazenar a produção de um dia de efluentes gerados pela máquina de lavar roupas em uma unidade predial com 16 apartamentos. As tubulações de coleta deverão ser independentes das demais para que o tratamento possa ser possibilitado.

Nesta planta de tratamento, será instalado um sistema de desinfecção por radiação ultravioleta, conforme os testes realizados em laboratório, acoplado a um

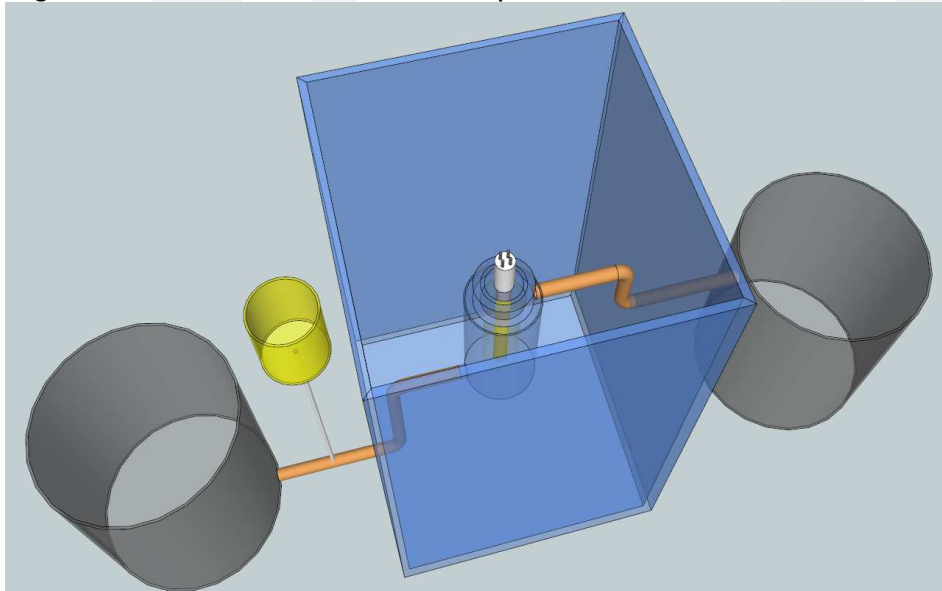
dosador de TiO_2 , e uma bomba de recirculação para tratamento do efluente e uma bomba para direcionar o efluente tratado para a caixa de água auxiliar. Nas Figuras 12 e 13, tem-se a representação deste sistema.

Figura 12 – Sistema de tratamento proposto para efluente proveniente de processos de lavagem de roupas em sistemas habitacionais de 16 apartamentos.



Fonte: Núcleo de Eletrofotocímica e Materiais Poliméricos/Univates.

Figura 13 – Detalhe da célula fotoquímica do sistema de tratamento proposto.



Fonte: Núcleo de Eletrofotocímica e Materiais Poliméricos/Univates.

Neste sistema proposto, seria utilizada um filamento de lâmpada incandescente (vapor de mercúrio), com 400 W de potência, envolvida com uma luva de quartzo que tem como finalidade a preservação da lâmpada e sua operação em intensidade máxima.

Ainda, o sistema conta com uma bomba de recirculação com potência de 13 W e vazão constante de 600 L/h que injeta o efluente bruto acrescido de TiO_2 no aparelho de desinfecção UV. O tanque possui uma saída em outra extremidade que leva a uma segunda bomba de 45 W e mesma vazão da anterior que conduz o efluente tratado para caixa de água auxiliar conforme ilustração presente nas Figuras 11 e 12.

A manutenção periódica é necessária para manutenção da eficácia do equipamento, consistindo na lavagem do tubo de quartzo, no qual, devido à presença de água contaminada, são depositados materiais sobre a sua superfície que impedem a propagação de raios UV no efluente. Sugere-se monitorar também o efluente bruto e tratado por meio da realização de ensaios físico-químicos e bacteriológicos, que comprovem a devida eficiência do tratamento proposto.

4.3.2 Custos operacionais

Nesta etapa do trabalho foi realizado o levantamento dos custos operacionais para aplicação do tratamento proposto com o objetivo de verificação e viabilidade de implantação.

A quantidade de água utilizada em uma residência ou em um setor da residência (banheiro, cozinha, lavanderia, etc), varia de acordo com os hábitos de cada usuário, região geográfica e época do ano (HESPANHOL et al. 2005).

Para o dimensionamento realizado neste trabalho foi utilizado o valor médio sugerido por dois autores, neste caso, Nirenberg (2010) e Hespanhol (2005), mas é importante salientar que cada caso deve ser estudado em particular antes de dimensionar a estação de tratamento proposta neste trabalho, e realizando as adaptações pertinentes para implantação da mesma.

O consumo médio de água em um apartamento de 2 pessoa é de 170 litros/dia (Nirenberg, 2010). De acordo com Hespanhol (2005), a bacia sanitária consome cerca de 29% e a máquina de lavar roupas 11% do total consumido em uma residência.

Para essa simulação será utilizado o padrão de edificação mais comum no Brasil, que seriam prédios de 4 andares com 4 apartamentos por andar (BONATES, 2008).

Consumo de água:

Consumo por apartamento: 170 L

Total consumido em 16 apartamentos: 2720 L por dia

Consumo da bacia sanitária: 788,8 litros

Consumo da máquina de lavar roupas: 299,2 litros

Considerando que seriam economizados por dia 299,2 litros de água, reaproveitando o efluente da máquina de lavar roupas, no mês seriam poupados 8.976 litros de água, o equivalente a 8,976 m³.

De acordo com a tabela de tarifa de água fornecida pela CORSAN, em junho de 2012, o custo de 1 m³ de água é de R\$ 3,20. Dessa maneira a economia mensal seria de R\$ 28,72.

Em relação ao consumo energético proporcionado pelo sistema de tratamento proposto, algumas considerações também foram realizadas.

Consumo de energia:

Potência x nº de horas utilizadas por dia x nº de dias no mês / 1000

Filtro UV: (400W x 2 horas x 30 dias) / 1000 = 12 kWh/mês

Bomba do filtro UV: (13W x 2 horas x 30 dias) / 1000 = 0,39 kWh/mês

Bomba caixa de água: (45W x 2 horas x 30 dias) / 1000 = 1,35 kWh/mês

Consumo total no mês = 13,74 kWh/mês

De acordo com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) o custo médio no país com o kWh é de R\$ 0,36283. Totalizando um custo mensal de R\$ 4,98 para manter o sistema em funcionamento.

Os custos dos materiais foram determinados de acordo com pesquisa em site [www. buscape.com.br](http://www.buscapi.com.br) acessado em 20/08/2012, sempre utilizando com referência o menor preço.

Subtraindo-se a economia de água (R\$ 28,72) do consumo de energia elétrica (R\$ 4,98), seria obtido uma economia de R\$ 23,74.

Custo dos materiais:

2 reservatórios de 500 L = R\$ 700,00

Bomba de recirculação 45 W = R\$ 150,00

Bomba de recirculação 13 W = R\$ 65,00

lâmpada UV 400 W = R\$ 60,00

Tubulações = R\$ 100,00

Célula de tratamento = R\$ 300,00

Tubo de quartzo = R\$ 400,00

Total= R\$ 1.775

A avaliação do *payback*, do sistema de tratamento de águas cinzas, desconsiderando os custos em análise de água, através da equação 4, obteve-se os seguintes valores:

$$VP= B/ (1 + S)^t$$

Onde:

VP= Valor presente

B= benefício econômico (custo da água antes da estação – custo da água pos estação)

S= taxa de retorno (foi utilizada a taxa Selic de 08/2012, ou seja, 8% a/a)

t= tempo para retornar o investimento

Logo:

$$1775 = 284,74 (1 + 0,08)^t$$

$$t = 23,75 \text{ anos}$$

Pelo cálculo é possível perceber que são necessários 23 anos e 9 meses para que investimento retorne para o caixa do condomínio que optar pela implantação.

Deve ser ressaltado que neste cálculo não foram considerados os custos com as análises físico-químicas, que são necessárias de períodos em períodos, para verificar eficiência do sistema, nem os custos de mão de obra para implantação do mesmo.

Apesar do tempo de retorno ser considerado relativamente alto, é importante destacar que hoje o usuário paga somente o custo de tratamento da água, mas a Política Nacional de Recursos Hídricos (art. 1º, II), estabelece que “a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico”, o possibilita que no futuro, além do usuário pagar pelo tratamento, a água passará a ter um valor associado ao seu consumo.

Além disso, hoje não existe fiscalização sobre os lançamentos dos efluentes residenciais em corpos de água, mas já existe a regulamentação para isso (CONSEMA 128), o que indica que no futuro existe a possibilidade de autuação sobre as edificações que não tratem adequadamente seus resíduos líquidos.

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal do trabalho foi sintetizar os resultados obtidos nas análises laboratoriais e propor alternativas de sistema de reúso de água, em ambientes residenciais, tratando o efluente de lavagem de roupa com Processos Oxidativos Avançados.

Deve-se salientar que os dados dos efluentes brutos e tratados foram obtidos através de experimentos, e os do sistema de tratamento são dados teóricos obtidos na literatura especializada, mas servem de indicativo para implementação de um sistema de tratamento para reúso deste efluente em bacias sanitárias.

Dentre as principais conclusões deste trabalho, tem-se que:

O efluente proveniente da água de lavagem de roupas possui características físico-química e biológicas diferentes a cada amostra coletada. Isso ocorre devido à variedade de produtos de limpeza que são utilizadas nos processos de lavagem e o tipo de contaminante a que as peças lavadas foram expostas.

Devido às grandes variações de parâmetros nos efluentes analisados, como pH, turbidez e condutividade, conclui-se que o efluente bruto está fora dos padrões determinados pela resolução CONSEMA 128/2006, resolução CONSEMA 129/2006, portaria 2914/2011 do MS e CONAMA 357/2005. Dessa forma, se descarta a possibilidade que o mesmo seja reutilizado ou lançando diretamente no corpo de água sem ser tratado ou pelo menos ser diluído de forma adequada.

O processo utilizando UV/H₂O₂ não se mostrou eficiente para remoção da matéria orgânica dos efluentes analisados e ainda deixou as amostras com caráter muito ácido após o tratamento, o que implica em muitas restrições mesmo para o reúso não potável.

Além disso, no teste de toxicidade, nenhuma das sementes de *Lactuca sativa* expostas ao efluente tratado com H₂O₂ germinaram, concluindo-se que o tratamento possui um potencial extremamente tóxico.

O processo utilizando UV/TiO₂, ao contrário, do peróxido de hidrogênio, foi muito eficiente para remoção de matéria orgânica, conseguindo mineralizar aproximadamente 90% do total nas amostras testadas.

Apesar da eficiência para remoção da matéria orgânica das amostras, o tratamento com UV/TiO₂ apresentou o mesmo inconveniente que o tratamento onde se utilizou peróxido de hidrogênio em relação ao pH, acidificando a amostra.

Quando os efluentes tratados com dióxido de titânio foram submetidos aos ensaios de toxicidade com *Lactuca sativa*, o efluente atingiu o DL₅₀, que é o índice máximo aceitável para que o agente não seja considerado tóxico, eliminando dessa forma, as possibilidades de reúso para irrigação paisagística.

Tantos os efluentes tratados com dióxido de titânio como o peróxido de hidrogênio apresentaram um índice de toxicidade maior que o efluente bruto, demonstrando que ambos os processos aumentam a toxicidade do efluente de lavagem de roupas.

Após a análise dos resultados dos parâmetros físico-químicos, biológicos e toxicidade de ambos os tratamentos, conclui-se que utilizando o peróxido de hidrogênio não seria possível utilizar esse processo para tratamento do efluente de lavagem de roupas e posterior reúso em ambientes residenciais.

Já para o dióxido de titânio verificou-se que dentro das possibilidades de reúso doméstico mais comuns: irrigação paisagística, como parques e jardins públicos, centros esportivos, como campos de futebol e golfe, jardins residenciais e de empresas privadas, reserva de proteção contra incêndios, descarga sanitária e

lavagem de veículos, a única possibilidade encontrada, dentre os parâmetros estudados neste trabalho e que se enquadrou dentro dos limites estipulados pela legislação ambiental vigente, foi a reutilização em bacias sanitárias.

Devido ao tempo de retorno para estação de tratamento proposto para sistemas habitacionais, que seria de aproximadamente 24 anos para se pagar, sem levar em consideração os custos de manutenção e teste físico-químicos, conclui-se que se os usuários levarem somente em consideração os custos econômico-financeiros o sistema se torna inviável.

6 RECOMENDAÇÕES

Para trabalhos futuros recomenda-se:

1. Realizar diluições para os efluentes tratados com peróxido de hidrogênio e dióxido de titânio e verificar se dessa forma estariam de acordo com parâmetros da legislação ambiental vigente.
2. Realizar testes de toxicidade em mais de um nível trófico de acordo com as determinações da resolução Consema 129/2006.
3. Estudar mais detalhadamente se alto o índice de toxicidade está associado com tipo de tratamento realizado ou com os contaminantes presentes no efluente objeto de estudo.
4. Substituir o ácido clorídrico por outro ácido para realizar a correção de pH, visando diminuir a quantidade de cloretos na amostra tratada, permitindo que a mesma esteja dentro dos parâmetros exigidos pela CONAMA 357 para águas doce classe II.
5. Substituir a lâmpada de 400 W utilizada nos testes por lâmpadas com menor potência visando reduzir os custos de energia elétrica no sistema proposto.
6. Além do sistema de tratamento proposto somente com POAs, buscar tratamento complementares como filtrações, entre outros, objetivando maior eficiência para remoção de matéria orgânicas.

7. Desenvolver na prática um projeto piloto para estação de tratamento, buscando avaliar os custos de manutenção do mesmo e se existe a real necessidade de avaliações físico-químicas, biológicas e os custos associados às mesmas.



7 REFERÊNCIAS

ABNT - 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.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11715**: Extintores de incêndio com carga de água. Rio de Janeiro, 2003.

ALMEIDA, Giovana; COHIM, Eduardo; DULTRA, Fernando; KIPERSTOK, Asher. Qualidade mínima para reúso de efluentes em vasos sanitários: uma proposta para discussão. Disponível em <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art27.pdf> acessado em 25/05/2012

ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio; **Física**. 1ª ed. São Paulo: Scipione, 1997.

ALVES, Juliana F.; AMARAL, Miriam C. S.; LANGE, Liséte C.; MELLO JUNIOR, Wilson R. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente fenton. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Minas Gerais, v. 11, n. 2, p. 175-183, 2006.

ALVES; Maria H. A. F. Inventário da produção habitacional oficial no Brasil. In: _____. **Sustentabilidade e inovação na habitação popular: o desafio de propor modelos eficientes na moradia em São Paulo**. 1 ed. São Paulo, SP: Companygraf, 2010. p.13-16.

APHA, American Public Health Association; Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21 st ed., American Public Health Association: USA, 2005.

ATLAS do meio ambiente do Brasil. 2. ed Brasília: **EMBRAPA**, 1996.

BERTAZZOLI, Rodnei; PELAGRINI, Ronaldo. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico. **Química Nova**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 477-482, 2002.

BLUM, José R. C.; Critérios e qualidade da água. In: _____. **Reúso de água**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2003. cap. 5.

BOLTON, James R.; BIRCHER, Kheith G.; TOLMAN, Chadwick A.; TUMAS, William. Figures-of-merit for technical development an application of advanced oxidation technologies for both electric-and solar-driven systems. **Pure and Applied Chemistry**, IUPAC, v. 73, p. 627-637, 2001.

BRAGA, Benedito; REBOUÇAS, Aldo C.; TUNDISI, José G. **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Escritura, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 2004. Procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, Secção I, p.266, 26 mar. 2004.

BRITES, Carlo R. C.; **Abordagem multiobjetivo na seleção de sistemas de reúso de água em irrigação paisagística no distrito federal**. Dissertação – Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, 2008.

CALDEIRA, Teresa P.R. **Cidade de muros: crime, segregação e cidadania em São Paulo**, 2 ed. São Paulo: EDUSP, 2003.

CLESCERI, Lenore S.; GREENBERG, Arnold E.; EATON, Andrew D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, 2005.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 410 de 2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, maio. 2011.

Consumo de água no mundo. Disponível em: <www.deca.com.br>. Acesso em: 18 nov. 2010.

CORDEIRO, Angela C. S.; LEITE, Selma G. F.; DEZOTTI, Márcia; Inativação por oxidação fotocatalítica de Escherichia coli E Pseudomonas sp., **Quim. Nova**, Vol. 27, n. 5, p. 689-694, 2004.

COSTA, Regina H. P. G.; TELLES, Dirceu D. **Reúso de água: conceitos, teorias e práticas**. 1. ed. São Paulo:Blucher, 2007.

COSTA, Carla Regina; OLIVI, Paulo; BOTTA, Clarice M. R. and ESPINDOLA, Evaldo L. G.. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova** [online]. 2008, v.31, n.7, p. 1820-1830.

DURÁN, Nelson; FREIRE, Renato S.; KUBOTA, Lauri T.; PELEGRINI, Ronaldo; ZAMORA, Patrício P. Novas tendências para tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**. 2000, v. 23, n.4, p. 504-511.

FERNANDES, Vera M. C.; FIORI, Simone; PIZZO, Henrique. Avaliação qualitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6 n.1, p. 19-30, 2006.

FIALHO, Francisco A. P.; OTANI, Nilo; SOUZA, Antonio C. **TCC métodos e técnicas**. 1 ed. Florianópolis: Visual books, 2007.

GARCIA, J. C. et al. Evolutive follow-up of the photocatalytic degradation of real textile effluents in TiO₂ and TiO₂/H₂O₂ systems and their toxic effects on *Lactuca sativa* seedlings. **J. Braz. Chem. Soc.**, v.20, p. 1589-1597, 2009.

GONÇALVES, Ricardo F. **Uso racional de água em edificações**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Ambiental, 2006.

GRANZIERA, Maria L. M. **Direito das águas**: disciplina jurídica das águas doces. São Paulo: Atlas, 2001.

HESPANHOL, Ivanildo; Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. **Bahia & Análise de Dados**, Salvador, v. 13, n. especial, p. 411- 437, 2003.

HESPANHOL, Ivanildo; Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In:_____. **Reúso de água**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2003. cap. 3.

HESPANHOL, Ivanildo et al. **Conservação e reúso da água em edificações**. São Paulo: _____ Prol, _____ 2005. Disponível em: <www.gerenciamento.ufra.br/Downloads/manual_agua.pdf> acessado em: 15 out. 2010.

KRAHENBUHL, Lair; Uma nova estrutura intitucional. In:_____. **Sustentabilidade e inovação na habitação popular: o desafio de propor modelos eficientes na moradia**. 1 ed. São Paulo, SP: Companygraf, 2010. p. 9 a10

JARDIM, Wilson F.; NOGUEIRA, Raquel F. P. A fotólise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 69-72, 1998.

JARDIM, Wilson F.; TEIXEIRA, Cláudia P. A. B. Processos oxidativos avançados: conceitos teóricos. **Caderno temático**, Campinas, v. 3, p. 1-83, 2004.

MALUF, Carlos A .D.; MARQUES, Marcio A. M. **Condomínio edilício no novo código civil**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MANCUSO, Pedro C. S.; SANTOS, Hilton F. **Reúso de água**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2003.

MORAIS, Josmaria L.; SIRTORI, Carla; ZAMORA, Patrício G. P. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. **Química Nova**. 2006 v. 29, n. 1, p. 20-23.

MARMITT, Sandro; PITOTTA, Lilian V.; STÜLP, Simone. Aplicação de fotólise direta e UV/H₂O₂ a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios. **Química Nova**, Lajeado, v. 33, n. 2, p. 384-388, 2010.

MING-Ching Wu; CHUNG-Hsin Wu; Decolorization of C.I. reactive red 198 in UV/oxidant and UV/TiO₂/oxidant systems, *Reac Kinet Mech Cat* (2011) 104:281–290.

MORELLI, Eduardo B.; **Reúso de água na lavagem de veículos**. Dissertação – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

MACHADO, Verônica R.; MARCHINI, Andréia E.; STULP, Simone. Avaliação preliminar do potencial de reuso de efluente gerado em indústria de alimentos degradado por via fotoquímica. **TECNO – LÓGICA**. Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 2, p. 67-72, jul/dez, 2011.

NIRENBERG, Larissa P.; REIS, Ricardo P. A. Avaliação do desempenho de sistema de reúso de água de uma edificação unifamiliar em Goiânia-GO. **REEC – Revista eletrônica de Engenharia Civil**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2010. Disponível em < <http://revistas.ufg.br/index.php/reec/index>>. Acessado em 12/02/2010.

NOSÉ, Daniel. **Aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em condomínios residenciais**. Dissertação – Curso de Graduação em engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, 2008.

NUVOLARI, Ariovaldo; Tratamento de efluentes. In:_____. **Reúso de água: conceitos, teorias e práticas**. . ed. São Paulo: Blucher, 2007. cap. 6.

PEREIRA, Renata O.; **Combinação de tratamento biológico aeróbico com processos oxidativos avançados visando intensificar a remoção de matéria orgânica em efluentes da industria têxtil e de celulose Kraft**. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Saúde e do Meio Ambiente. Portaria nº 05 de 1989. **Norma Técnica nº 01 de 1989**. Dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d'água interiores do Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, 16 mar. 1989.

SANTOS, Johnny F. Regulamentação de reúso da água. In: OFICINA DE TRABALHO SOBRE REÚSO DA ÁGUA. 2005, São Paulo. Disponível em: <http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:T8ArkzszKWMJ:www.integracao.gov.br/download/download.asp%3Fendereco%3D/saofrancisco/pdf/revitalizacao/reuso/Regulacao_do_Reuso.pdf%26nome_arquivo%3DRegulacao_do_Reuso.pdf+oficina+de+reuso+johnny+ferre&hl=pt-BR&gl=br&pid=bl&srcid=ADGEESiyNrZH4dxfl-YauNkYmuBslrQZdLX-1GRv1WSm1_SUHeHfPZ91RjnRzG0ZuF04MdBpHtLatkLvk-A4BzABL8_xp9fwYPUUxAxtD1MiUB2EPmoNgAOKOqseHykOZAvOC6dAwq1e&sig=AHIEtbSZrUCWVdOHYPK_t_douQwTPc9mHA> acessado em: 15 out. 2010.

SHARF, Mauro; VIERA, Giovana A.; ZANELLA, Geovani. Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-fenton e avaliação da potencialidade de reúso. **Química Nova**, Blumenau, v. 33, n. 5, p. 1039-1043, 2010.

MARMITT, Sandro; PITOTTA, Lilian V.; STÜLP, Simone. Aplicação de fotólise direta e UV/H₂O₂ a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios. **Química Nova**, Lajeado, v. 33, n. 2, p. 384-388, 2010.

SOUSA, Andrea F. S. **Diretrizes para implantação de sistemas de reúso de água em condomínios residenciais baseadas no método APPCC – Análise de perigos e pontos críticos de controle – Estudo de caso residencial Valville I.** Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

SPERLING, Marcos V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: Secrac, 1996. v. 1.

SPERLING, Marcos V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: princípios básicos do tratamento de esgotos.** 1. ed. Belo Horizonte: Secrac, 1996. v. 2.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.** 2. ed. São Paulo: Navegar, 2003.

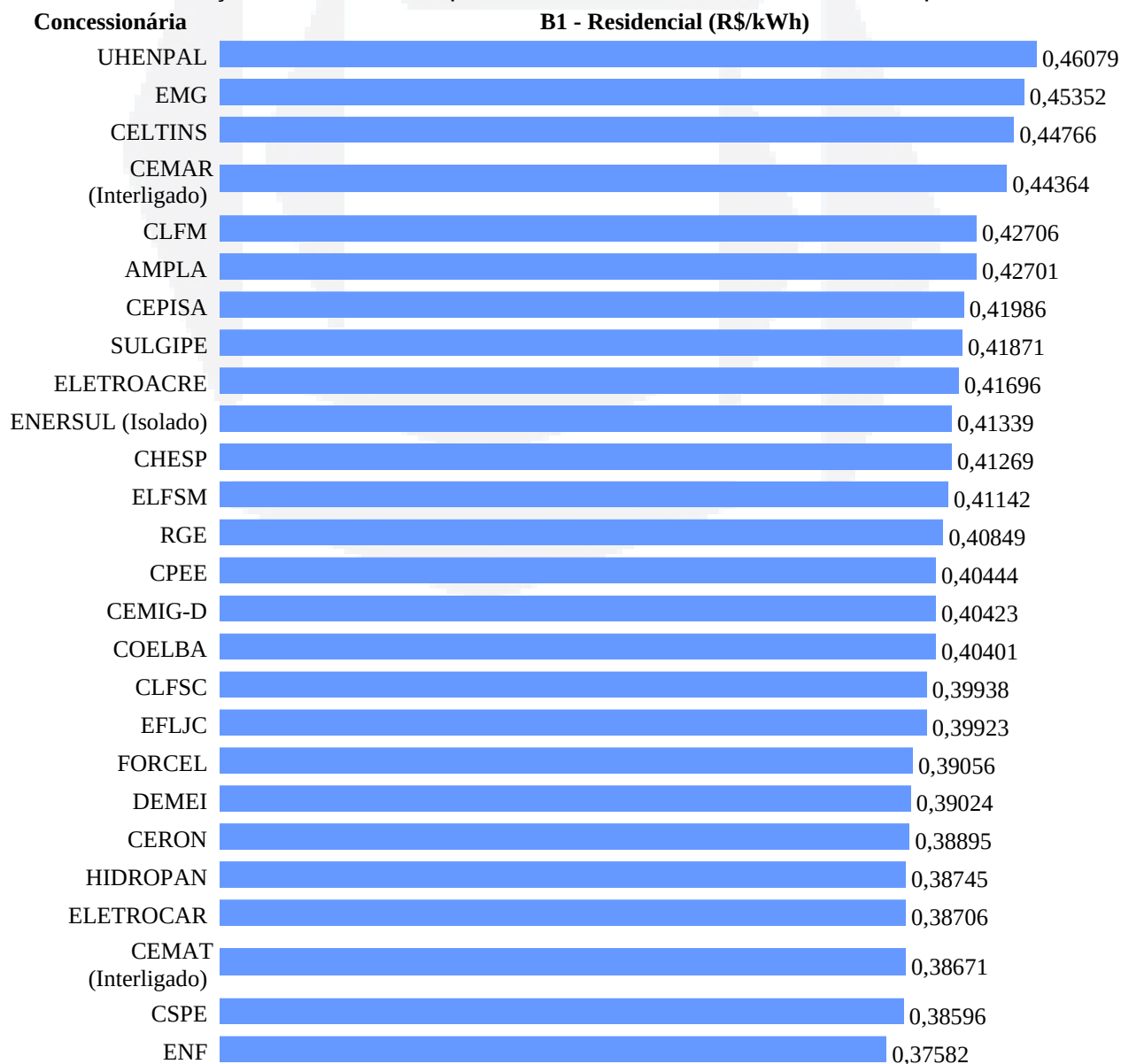
TOMAZ, Plínio. **Economia de água para empresas e residências: um estudo atualizado sobre o uso racional da água.** 1. ed. São Paulo: Navegar, 2001.

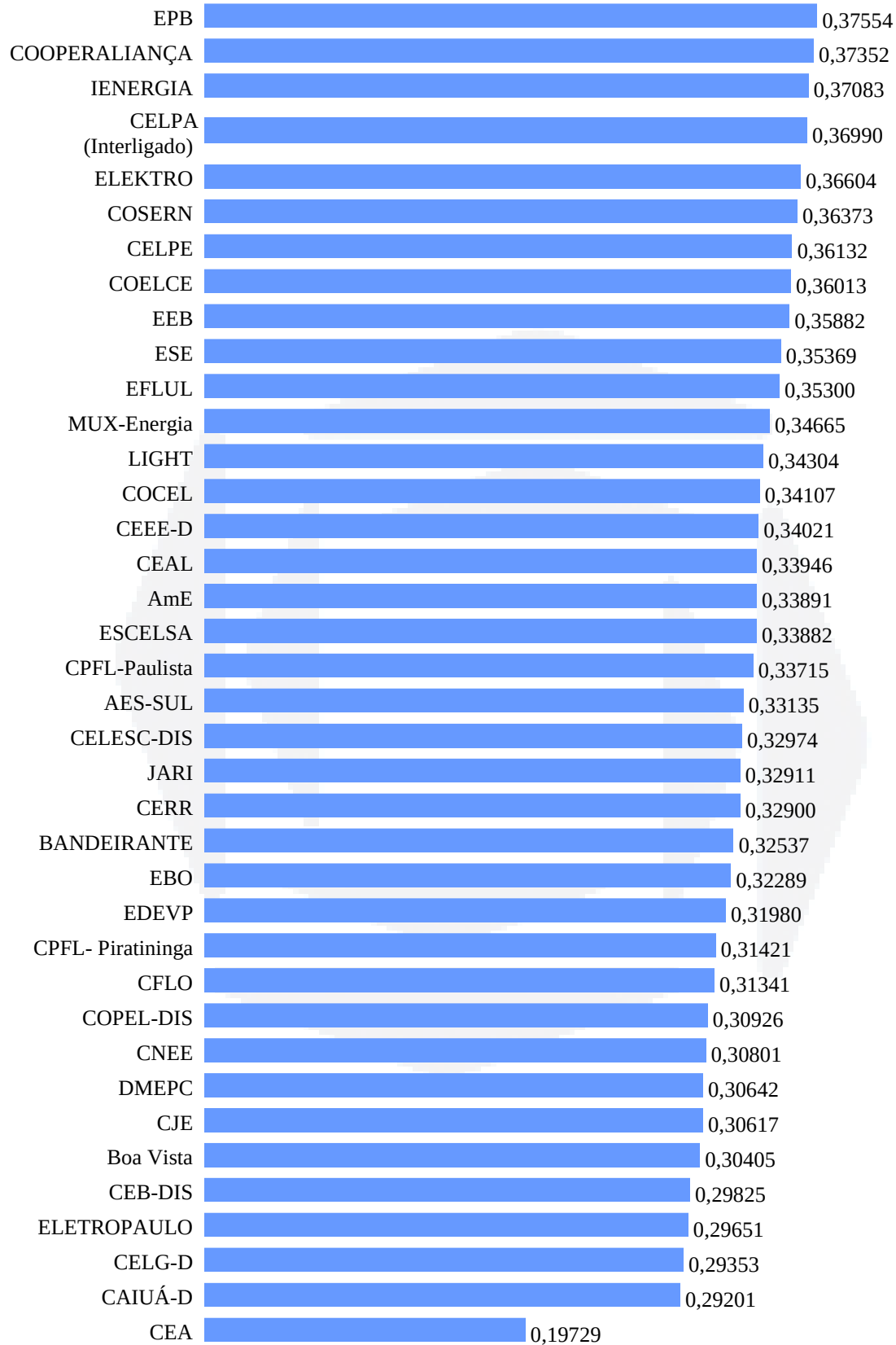
VERAS, Lilia L. **Matemática financeira.** 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MING-Ching Wu; CHUNG-Hsin Wu; Decolorization of C.I. reactive red 198 in UV/oxidant and UV/TiO₂/oxidant systems, *Reac Kinet Mech Cat* (2011) 104:281–290.

8 ANEXOS

Anexo 1 – Preço do kW cobrado pelas 60 maiores concessionárias do país





Fonte: <www.aneel.com.br> acessado em 18/05/2012