

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA ADMINISTRAÇÃO E SOCIOECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA**

JAMES MARCELO VENTURA

**REAPROVEITAMENTO DE EFLUENTES DAS MINAS
DE CARVÃO, PARA USO NOS CAMINHÕES DE
COMBATE A INCÊNDIOS NO CBMSC**

FLORIANÓPOLIS, SC
2015

JAMES MARCELO VENTURA

**REAPROVEITAMENTO DE EFLUENTES DAS MINAS
DE CARVÃO, PARA USO NOS CAMINHÕES DE
COMBATE A INCÊNDIOS NO CBMSC**

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) apresentado ao Curso de Especialização em Gestão Pública da Escola Superior de Administração e Gerência, da Universidade do Estado de Santa Catarina e do Curso de Altos Estudos Estratégicos de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Pública.

Orientadora: Prof. Dra. Janice Mileni Bogo

FLORIANÓPOLIS, SC
2015

ATA DA DEFESA DE MONOGRAFIA DO ALUNO
James Marcelo Ventura

Aos quinze dias do mês de setembro de dois mil e quinze, às quinze horas e trinta minutos, no Centro de Ensino do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, compareceu **James Marcelo Ventura**, aluno do Curso de Pós-Graduação *lato sensu* – Especialização em Gestão Pública: Estudos Estratégicos da Atividade Bombeiril, do Centro de Ciências da Administração e Socioeconômicas – ESAG, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, para a defesa de sua monografia intitulada “*Reaproveitamento de efluentes das minas de carvão, para uso nos caminhões de combate a incêndios no CBMSC*”, perante a banca examinadora constituída pelos seguintes membros: **Prof.ª Dr.ª Janice Mileni Bogo** [ESAG/UDESC], Presidente; **Prof. Dr. Daniel Moraes Pinheiro** [ESAG/UDESC] e **Major BM Eduardo Antonio Gomes da Rocha** [CBMSC]. Aberta a sessão pelo presidente, o aluno apresentou sua monografia sendo, posteriormente, arguido pelos professores da banca. Após as considerações e sugestões da banca examinadora, o presidente anunciou o parecer, considerando a monografia:

- aprovada, com nota 9,5 ;
 aprovada, mediante reformulações acompanhadas pelo orientador, com nota _____ ;
 reprovada.

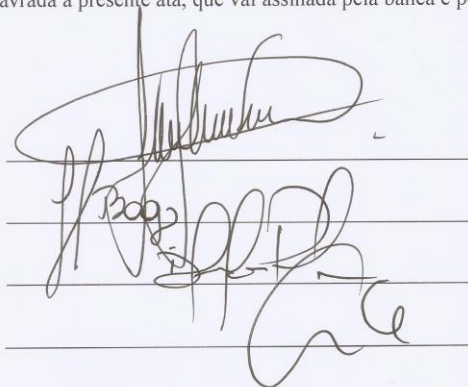
Em caso de aprovação ou aprovação condicionada às reformulações, o aluno tem até 30 (trinta) dias para entregar a versão final, devidamente assinada e em conformidade com Resolução 010/2012 Consepe/Udesc. Às 18:25 horas, foi encerrada a sessão e foi lavrada a presente ata, que vai assinada pela banca e pelo aluno.

James Marcelo Ventura:

Prof.ª Dr.ª Janice Mileni Bogo:

Prof. Dr. Daniel Moraes Pinheiro:

Major BM Eduardo Antonio Gomes da Rocha:



Dedico o resultado desse estudo primeiramente a Deus, o ser maior de todo o universo, a minha esposa, companheira e amiga Erica Eugênio Ronchi, aos meus familiares e aos demais amigos, em especial Bruno Possamai Souza e Sabrina Tavares. Vocês são o sentido em viver e compartilhar todos os momentos de minha singela passagem por aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Pai todo poderoso criador do céu, da terra e de todos os seres que nos rodeiam, irradiando saúde e alegria a todos que se propõe em buscar a felicidade.

Agradeço a minha esposa Erica Eugênio Ronchi, pela compreensão da ausência momentânea durante o tempo que fiquei fora do nosso lar, me dedicando à este curso, entendendo a busca pelo engrandecimento de minha carreira.

Agradeço a meu falecido pai, que se encontra descansando a direita de Deus pai todo poderoso, criador de todo o universo.

Agradeço a minha mãe que se encontra distante territorialmente, mas estará sempre perto de meu coração.

Agradeço a Doutora Janice Mileni Bogo, professora e orientadora, por ter aceitado o desafio de orientar-me, apesar de todos os compromissos que já estavam programados.

Agradeço a Banca de avaliadores, Dr. Daniel Pinheiro e o Major BM Eduardo Antônio Gomes da Rocha, por ter prontamente respondido e aceitado o convite à fazer parte da banca.

Agradeço aos demais familiares que fazem parte de minha vida.

Agradeço aos meus amigos, em especial ao Bruno Possamai Souza e a Sabrina Tavares, com quem compartilho momentos alegres da minha vida.

Agradeço a todos os demais, instrutores, colegas superiores e pares hierárquicos do curso que indiretamente colaboraram para o presente estudo e proporcionaram momentos agradáveis e descontraídos.

"Se quiser por à prova o caráter de um homem, dê-lhe poder."

Abraham Lincoln

RESUMO

VENTURA, James Marcelo. **Reaproveitamento de efluentes das minas de carvão, para uso nos caminhões de combate a incêndios no CBMSC.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Pública) - Curso de Especialização em Gestão Pública da Escola Superior de Administração e Gerência, da Universidade do Estado de Santa Catarina e do Curso de Altos Estudos Estratégicos de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

A geração de efluentes é um dos maiores problemas ambientais da região do Sul de Santa Catarina, devido à Drenagem Ácida de Minas (DAM) que é realizada na mineração e extração de sulfetos metálicos e carvão mineral. Essas águas, oriundas da oxidação de minerais sulfetados presentes na matéria inorgânica (principalmente pirita), contêm altos teores de íons sulfato, metais pesados e acidez, que necessitam de tratamento adequado para serem descartados nos corpos receptores, ou seja, nos recursos hídricos. O presente estudo foi desenvolvido com objetivo de buscar alternativas para abastecimento de caminhões de combate a incêndios que atualmente possuem como matéria-prima a água potável, ou seja, água da CASAN. O projeto visa reaproveitar o efluente gerado na Região Carbonífera do Sul de Santa Catarina.

Palavras-chave: Reuso de água, Recursos hídricos, Caminhão de combate a incêndios.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Água limpa no mundo | 17 |
| Figura 2 – Escassez da água | 17 |
| Figura 3 – Estimativa de distribuição mundial para as principais atividades consumidoras de água..... | 18 |
| Figura 4 – Eventos na evolução do saneamento e reuso de água | 22 |
| Figura 5 – Ciclo Hidrológico e o Reuso da Água | 23 |
| Figura 6 – Reuso indireto não planejado da água..... | 24 |
| Figura 7 – Reuso direto planejado da água..... | 25 |
| Figura 8 – Projeto Tratamento do Efluente | 40 |
| Figura 9 – Projeto de Reutilização de Água tratada | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Distribuição da água doce no planeta | 16 |
| Tabela 2 – Distribuição da água doce no Brasil | 19 |
| Tabela 3 – Desenvolvimento histórico do reuso de água em diferentes locais do mundo | 21 |
| Tabela 4 – Constituintes encontrados na água de reuso | 26 |
| Tabela 5 – Tipos de reuso e aplicações | 27 |
| Tabela 6 – Classes de água de reuso pela NBR 13.969 e respectivos padrões de qualidade ... | 30 |
| Tabela 7 – Limite de parâmetros para emissão de efluentes em corpos d'água de acordo com a Resolução N°430 do CONAMA..... | 31 |
| Tabela 8 – Limite de parâmetros para emissão de efluentes em corpos d'água de acordo com a Lei Estadual N°14.675 | 32 |
| Tabela 9 – Opções de reuso apresentadas pela Resolução N° 54 do CNRH e suas possíveis aplicações..... | 32 |
| Tabela 10 – Parâmetros características para água de reuso..... | 34 |
| Tabela 11 – Padrões de qualidade propostos pela SABESP para a água de reuso..... | 35 |
| Tabela 12 – Qualidade do Efluente Bruto e Tratado Período de 01/01/2014 a 25/08/2015..... | 42 |
| Tabela 13 – Qualidade do efluente tratado perante as legislações brasileiras..... | 42 |
| Tabela 14 – Quantidade de efluente tratado e lançado no corpo receptor..... | 43 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA – Agência Nacional de Águas
CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CBMSC – Corpo de Bombeiros Militar Santa Catarina
CNRH – Conselho Nacional dos Recursos Hídricos
CNUMAD – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAM – Drenagem Ácida de Minas
EPA – Environmental Protection Agency of United States
ETA - Estação de Tratamento de Água
ETE - Estação de Tratamento de Efluentes
EUA – Estados Unidos da América
FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
MPF –Ministério Público Federal
NBR – Norma Brasileira
NMP – Número Mais Provável
ONU – Organizações das Ações Unidas
PNCDA – Política Nacional de Controle ao Desperdício de Água
ROM – Run Of Mine (minério bruto)
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SC - Santa Catarina
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST – Sólidos Suspensos Totais
TAC – Termo de Ajuste de Conduta
UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina
UNESCO – Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura
WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 PROBLEMA | 13 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO | 13 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 14 |
| 1.3.1 Objetivo geral | 14 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 14 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 15 |
| 2.1 HISTÓRICO DA ÁGUA..... | 15 |
| 2.1.1 Quantidade e Qualidade de Água Mundial..... | 15 |
| 2.1.2 Quantidade e Qualidade de Água no Brasil..... | 18 |
| 2.2 A QUESTÃO DA ÁGUA NO PLANETA E NO BRASIL..... | 19 |
| 2.3 REUSO DE ÁGUA | 20 |
| 2.3.3 Conceitos de reuso de água | 23 |
| 2.3.4 Constituintes da água de reuso..... | 26 |
| 2.3.5 Reuso para Fins não Potáveis | 26 |
| 2.4 CRITÉRIOS PARA O REUSO DE ÁGUA | 29 |
| 2.5 DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS (DAM)..... | 35 |
| 2.5.1 Controle da drenagem ácida de minas | 37 |
| 3. PROPOSIÇÃO DE REUSO DA ÁGUA PELA CORPORAÇÃO..... | 39 |
| 3.3 QUALIDADE DO EFLUENTE BRUTO E TRATADO GERADA DA REGIÃO CARBONÍFERA | 42 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 44 |
| 5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 45 |
| REFERÊNCIAS | 46 |
| APÊNDICES | ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. |
| ANEXOS | ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. |

1 INTRODUÇÃO

A abundância de recursos hídricos existentes no país contribuiu para o desenvolvimento de uma cultura generalizada do desperdício. Apesar de o Brasil possuir 8% de toda a água doce existente no planeta, a crise de abastecimento de água já é uma realidade brasileira e os seus efeitos já podem ser observados em diversas localidades. A crise de água não é consequência apenas de fatores climáticos e geográficos, mas principalmente do uso irracional dos recursos hídricos. Entre as causas deste problema estão: o fato de que a água não é tratada como um bem estratégico no país, a falta de integração entre a política nacional de recursos hídricos e as demais políticas públicas, os graves problemas na área de saneamento básico e a forma como a água doce é compreendida, visto que muitos a julgam como um recurso infinito.

Hoje o estado de São Paulo vive a maior crise hídrica da história, situação que poucos imaginaram que iria ocorrer, no país com o maior manancial hídrico do planeta. Esta situação pode acontecer em um estado como o de Santa Catarina, assim, investir na estruturação de um plano estratégico com vistas a evitar os problemas potenciais da escassez de água é recomendável.

Atualmente utiliza-se água potável para apagar incêndios, mas na eventualidade de Santa Catarina, precisar enfrentar, igualmente, uma crise no fornecimento de água, devem-se buscar alternativas para o abastecimento dos caminhões de combate a incêndios, visando um possível racionamento.

Existem várias formas de racionamento de água, umas delas é a reutilização da água empregada em processos industriais, podendo ser tratada em uma ETE e reutilizada no mesmo ciclo de produção, como também pode ser reaproveitada para outros fins.

As empresas mineradoras de carvão extraem este minério do subsolo, que conseqüentemente gera a água chamada de Drenagem Ácida de Mina (DAM), devido ser um mineral sulfetado, nele estão presentes resíduos (rejeito), que são oxidados quando entram em contato com água e oxigênio, gerando uma água rica em metais, ocasionando impacto ambiental. A DAM é transportada do subsolo até a superfície, por meio de drenos, para ETE, onde ocorre um tratamento específico, buscando conformidade com a Legislação CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 430, de 13 de maio de 2011 e Lei Estadual.

As pressões ambientais têm sido cada vez mais severas, principalmente em função de vários acidentes ambientais graves ocorridos simultaneamente com o crescimento econômico mundial. Isto trouxe a necessidade de respostas rápidas e eficientes por parte das empresas

que possuem suas atividades com grande potencial poluidor. O estreitamento de relações entre o desenvolvimento e o meio ambiente, auxiliou no surgimento do termo desenvolvimento sustentável, cujo principal objetivo é a busca conjunta do desenvolvimento econômico e da preservação do meio ambiente.

O aproveitamento deste efluente é possível e importante para região, tanto do ponto de vista econômico como social, além de ser ecologicamente correto. Portanto, permanece o desafio tecnológico visando à possibilidade de reaproveitamento, reutilizando o efluente tratado gerado na extração de carvão.

1.1 PROBLEMA

O problema ao qual este estudo pretende endereçar seus esforços e, conseqüentemente, contribuir para a solução é o da provável escassez, ou redução do gasto de água potável. Com foco na cidade de Criciúma, objetiva-se propor alternativa que possibilite a diminuição do desperdício de água por meio de reaproveitamento do efluente de minas de carvão em caminhões de combate à incêndios do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

1.2 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

A água potável é um problema mundial, e geralmente os caminhões de combate a incêndios do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, possuem como matéria-prima para o combate às chamas, a água potável, ou seja, água da CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento), ou do SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto), variando conforme o município atendido. Visando o reaproveitamento de água na região carbonífera do Sul do Estado de Santa Catarina, será estudado o reaproveitamento do efluente gerado nas minas de carvão.

Este trabalho propõe uma alternativa tecnológica de reuso do efluente tratado na extração do carvão, tentando assim viabilizar este mecanismo e contribuir para diminuir o passivo ambiental da região carbonífera de Criciúma.

O efluente tratado será caracterizado quanto seus parâmetros químicos e posteriormente será avaliada a legislação aplicável para reutilizar o mesmo em caminhões de combate a incêndio.

Este efluente será armazenado em um reservatório, ou seja, uma caixa plástica de polietileno, que será abastecida por gravidade e então via canalização será abastecido o caminhão de combate a incêndio.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Apresentar solução tecnológica para o redirecionamento do efluente de mineração de carvão, da região Carbonífera do Sul de Santa Catarina, por meio de seu reuso em caminhões de combate a incêndios do Corpo de Bombeiros Militar do estado de Santa Catarina.

1.3.2 Objetivos específicos

Pesquisar e compreender as condições químicas do efluente gerado, volume e forma de descarte, tendo em vista a viabilidade de seu reuso para o combate a incêndios.

Estudar e compreender a legislação aplicável ao reuso do efluente.

Propor alternativa para uso do efluente para o combate a incêndio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DA ÁGUA

Existem várias teorias, da origem da água, mas a teoria científica mais aceita é a de que a origem da água se deu pela liberação de gases (hidrogênio e oxigênio): na Terra havia água apenas no estado de vapor. Posteriormente, esse vapor foi modificado em nuvem e começou a cair na forma de chuva, havendo assim um enorme acúmulo de água no planeta, fazendo com que surgissem os mares e água entre as rochas (Freitas, 2015).

Conforme (Freitas, 2015), as teorias mais recentes defendem que a água tem sua origem ligada à formação do nosso sistema solar. A Terra teria passado por diversas etapas de aquecimento e resfriamento. Nesse momento de resfriamento do planeta, aconteceram processos de condensação dos vapores que se materializaram em formato de chuva. Com isso, as águas foram sendo depositadas em regiões mais baixas e daí surgiu os primeiros oceanos, também chamados de oceanos primitivos.

2.1.1 Quantidade e Qualidade de Água Mundial

Com o crescimento populacional as atividades econômicas se diversificam e ocorre um aumento do consumo de quantidade de água necessária para sustentar a sociedade, a produção agrícola e industrial. Segundo Tundisi (2003), de 1990 a 2000, o uso total da água no planeta aumentou dez vezes (de 500 Km³/ano para quase 5.000 Km³/ano).

A necessidade de água ocorre principalmente em regiões com maior desenvolvimento urbano, industrial e agrícola e devem-se destacar as regiões onde a carência e a distribuição de água tornam-se fatores limitantes.

Em várias regiões do mundo, a população ultrapassou a quantidade de água que podia ser abastecida pelos recursos hídricos disponíveis. Atualmente existem 26 países que abrigam 262 milhões de pessoas e que se localizam em regiões com carência de água. Principalmente no Oriente Médio, a retirada excessiva do aquífero subterrâneo causa a intrusão da salinidade do oceano, contaminando a água do subsolo. Na Florida (EUA), o Parque Nacional de Everglades pode sofrer falência ecológica dentro de vinte anos em razão da poluição e das captações de água que tem sido feitas com fins agrícolas e urbanos (MANCUSO e SANTOS, 2003).

Ainda que três quartos da superfície da Terra estejam compostos de água, a maior

parte não está disponível para consumo humano, pois 97% é água salgada, presente nos oceanos e mares, e apenas 3% é água doce, sendo estes distribuídos conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição da água doce no planeta

| Localização | Quantidade |
|--------------------|-------------------|
| Calotas polares | 75% |
| Rios e lagos | 15% |
| Aquíferos | 10% |

Fonte: Tundisi, 2003.

Além da quantidade, a qualidade das águas também sofre alterações em decorrência das causas naturais e antrópicas, ou seja, causadas pelo modo de viver do homem e do modelo de desenvolvimento econômico intensivo em recursos naturais.

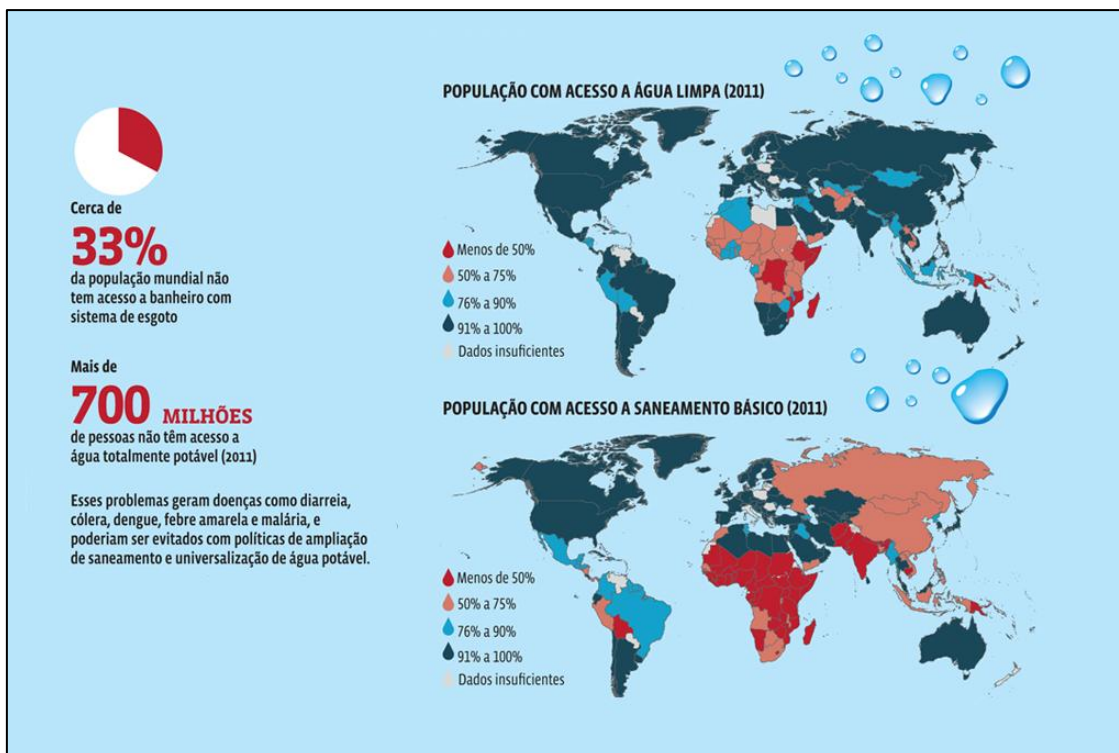
Diversos países passam por problemas e isso intensifica a extração dos recursos hídricos. Esta questão devasta diferentes países, tais como: África, Oriente Médio, México, Hungria, Índia, China, Tailândia e Estados Unidos.

Conforme figura 1, observa-se os que o consumo dos recursos hídricos, é muito relativo com o crescimento populacional.

Baseado na ONU (2013), em 1950, éramos 2,5 bilhões de pessoas, e, em 2011, 7 bilhões. Segundo as estimativas da ONU, passaremos a 8,3 bilhões em 2030 e a 9,3 bilhões em 2050. Os efeitos desse aumento populacional é sentido em várias regiões.

Baseado nesse crescimento, estima-se que teremos vários problemas com a escassez da água no mundo.

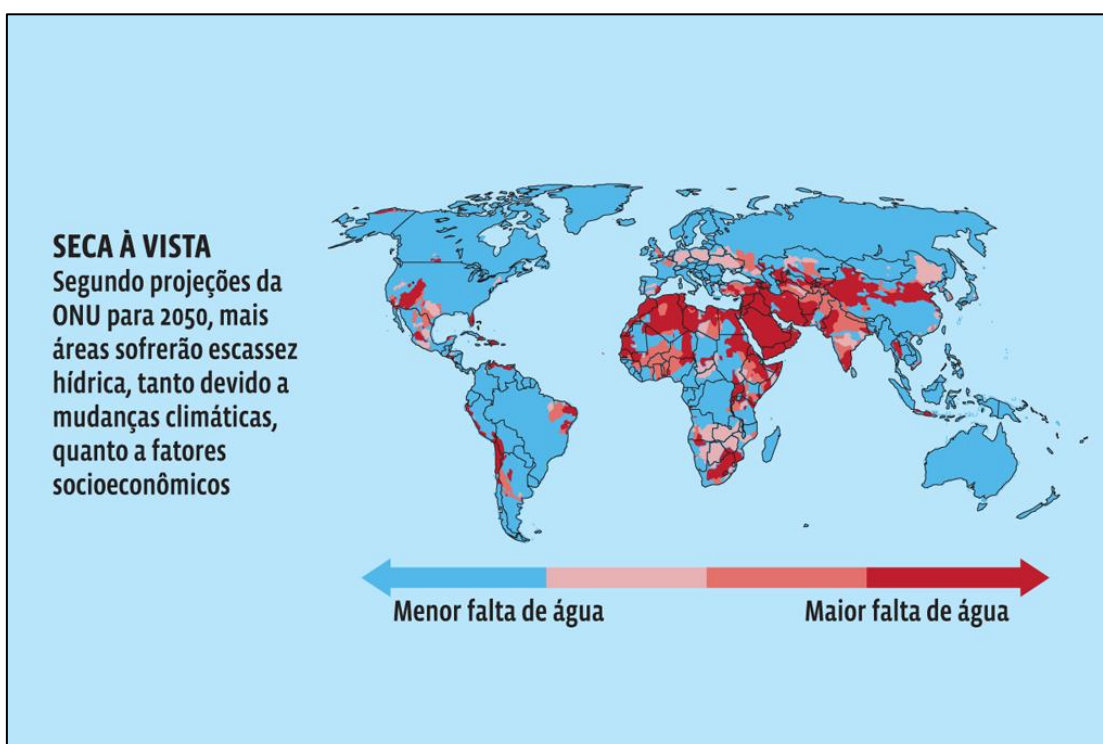
Figura 1 – Água limpa no mundo



Fonte: ONU, 2013

A Figura 2 traz quais países sofrerão com a escassez da água.

Figura 2 – Escassez da água



Fonte: ONU, 2013

Ainda de acordo com ONU (2013), conforme figura 2, em 2050 o cenário de carência de água atingirá bilhões de pessoas, neste ano a projeção relata que metade da população mundial viverá em países com elevado grau de carência de água.

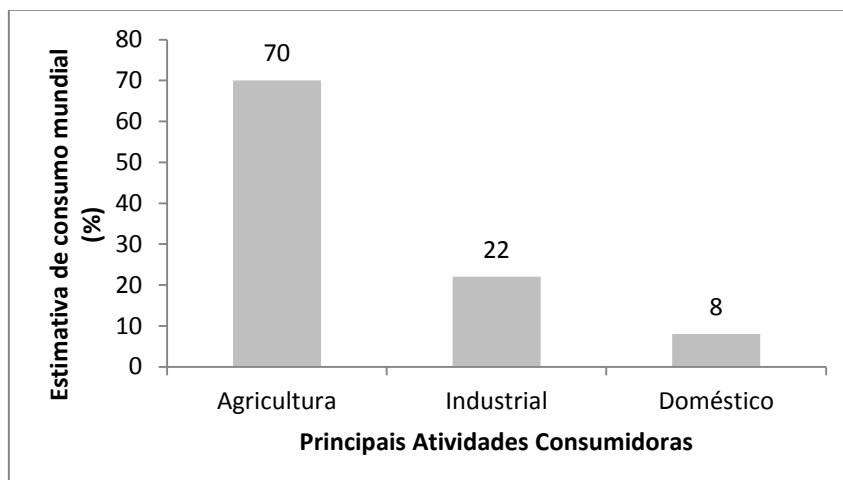
2.1.2 Quantidade e Qualidade de Água no Brasil

Tundisi (2003) observa que 78% das águas brasileiras está localizado na Região Amazônica, o que corresponde a 54,5% do território nacional que abriga 5% da população, resultando em uma densidade demográfica de 1 hab/km². O restante 22% está nas demais regiões do país (45,5% do território nacional), que concentram 95% da população e encontram-se densidades demográficas superiores a 400 hab/km².

No Estado de São Paulo, onde todas as fontes de água já são exploradas, 47% do que os moradores consomem vêm de fora. A água percorre até 90 quilômetros para chegar a uma estação de tratamento na capital. Segundo os técnicos se o consumo continuar aumentando, será necessário busca-la cada vez mais longe, sendo necessários mais equipamentos, energia e funcionários, acarretando automaticamente no aumento dos custos e do preço para o consumidor. Em Minas Gerais o sistema já é complexo: a água captada e atravessa cinco represas e sete túneis para ser distribuída em São Paulo, a maior cidade do Brasil.

Avalia-se que 90% das atividades modernas poderiam ser realizadas com água de reuso, principalmente na agricultura e indústrias. A figura 3 apresenta as principais atividades consumidoras de água.

Figura 3 – Estimativa de distribuição mundial para as principais atividades consumidoras de água.



Fonte: UNESCO, 2003

Devido ao aumento do número de indústrias vem ocorrendo o investimento em tecnologias necessárias para alcançar a qualidade restrita na descarga de efluentes o que tem levado pesquisadores a buscar alternativas e outras aplicações para os efluentes tratados, como uma maneira de recuperar ao menos uma parte de seus investimentos. Além disso, como a água disponível tem ficado limitada, tem crescido o uso e aceitação de efluentes recuperados como fonte de água para uma ampla variedade de aplicações (EPA, 2004).

O equilíbrio entre atender às necessidades de todos os habitantes e a quantidade de água disponível é o grande desafio para gestão dos recursos hídricos. De um lado existe a necessidade do controle da questão, visando reduzir a pressão sobre os recursos hídricos, e do outro a urgência pelo controle da poluição. Sendo que o reuso de água pode atuar nos dois aspectos.

Tabela 2 – Distribuição da água doce no Brasil

| Região | Recursos Hídricos (%) | Superfície (%) | População (%) |
|---------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Norte | 68,5 | 45,3 | 6,98 |
| Centro-Oeste | 15,7 | 18,8 | 6,41 |
| Sul | 6,5 | 6,8 | 15,05 |
| Sudeste | 6 | 10,8 | 42,65 |
| Nordeste | 3,3 | 18,3 | 28,91 |

Fonte: SNIS, 2002

A disponibilidade hídrica desigual nas regiões e as concentrações urbanas, além de afetarem o consumo, fazem com que a qualidade da água para o consumo humano (água potável) se deteriore com o tempo. A principal razão é o impacto provocado pelo homem, transformando-se numa das maiores questões ambientais do momento.

Observa-se que a Região Norte, apresenta a maior disponibilidade de água e praticamente o menor índice de população, sendo que na região Sudoeste, onde há grande concentração da população, apresenta menor disponibilidade de água.

2.2 A QUESTÃO DA ÁGUA NO PLANETA E NO BRASIL

A conservação da água, segundo Santos (2005), é um conjunto de ações que propicia a economia e preservação de mananciais hídricos, o qual engloba ações relacionadas ao uso racional da água, ao uso de fontes alternativas e a projeção dos recursos hídricos naturais.

Em 1992 aconteceu no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre Meio

Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), também conhecida por ECO-92, onde o capítulo 18 trata da Agenda 21, tendo como título “Proteção da Qualidade e do Abastecimento dos Recursos Hídricos: Aplicação de Critérios Integrados no Desenvolvimento, Manejo e Uso dos Recursos Hídricos”, e trata-se de um documento consensual e aborda a importância do reuso, recomendado a implementação de políticas de gestão e o desenvolvimento de novas alternativas de abastecimento de água para fins não potáveis, entre elas o aproveitamento de águas residuais e a reciclagem da água. É um programa de ação que constitui, de forma abrangente, uma tentativa de promover, em escala mundial, um novo padrão de desenvolvimento, conciliando métodos de eficiência econômica, proteção ambiental e social.

O Brasil também já se preocupa com a conservação da água e surgem frequentemente campanhas de conscientização visando o uso racional e o combate ao desperdício. Como medidas para a conservação da água existem programas em âmbito nacional, foram propostas de taxação de água para grandes consumidores, uso da água de chuva, da água cinza (águas que foram utilizadas em tanques, pias, máquinas de lavar, bidês, chuveiros, banheiras e outros equipamentos, exceto vaso sanitário e pia da cozinha) e o incentivo a práticas de reuso de água não potável.

A Lei 9.433 de 1997 estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos e implementou a outorga e a cobrança pelo uso de recursos hídricos. Esta lei prevê a elaboração de um Plano Nacional de Recursos Hídricos, procurando assegurar para as futuras gerações água de qualidade e disponibilidade de água.

Já o Programa Nacional de Controle ao Desperdício de Água (PNCDA) é um programa federal que sugere várias medidas para o uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras. Este programa tem por objetivo específico definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, concorrentes para uma eficaz demanda de água para consumo na áreas urbanas.

O reuso de água é um assunto que tem cada vez ganhado mais força, pois é uma medida de conservação e um quesito de importância mundial.

2.3 REUSO DE ÁGUA

O reuso de água possui uma longa história, comprovada por sistemas de esgotamentos sanitários associados à antigos palácios e à cidades da civilização de Minoan, da ilha de Creta, na Antiga Grécia. Há indicações da utilização de água residual na irrigação agrícola deste

aproximadamente 5.000 anos atrás (ANGELAKIS e SPYRIDAKIS, 1999 apud ASANO e LEVINE, 1996).

O reuso planejado de águas residuárias teve começo nos EUA no início do século 20. O estado da Califórnia foi o pioneiro em promover a recuperação e o reuso de água, e a primeira regulamentação do reuso foi no ano de 1918.

Na região do Mediterrâneo, segundo ANGELAKIS et al (1999), Israel foi o país pioneiro no desenvolvimento de práticas de reuso de água, segundo por Chipre, Jordânia e Tunísia. Porém, o real reconhecimento desta prática ocorre em relativamente poucos países, tais como Israel, Tunísia, África do Sul e algumas localidades dos Estados Unidos como Califórnia, Arizona e Flórida.

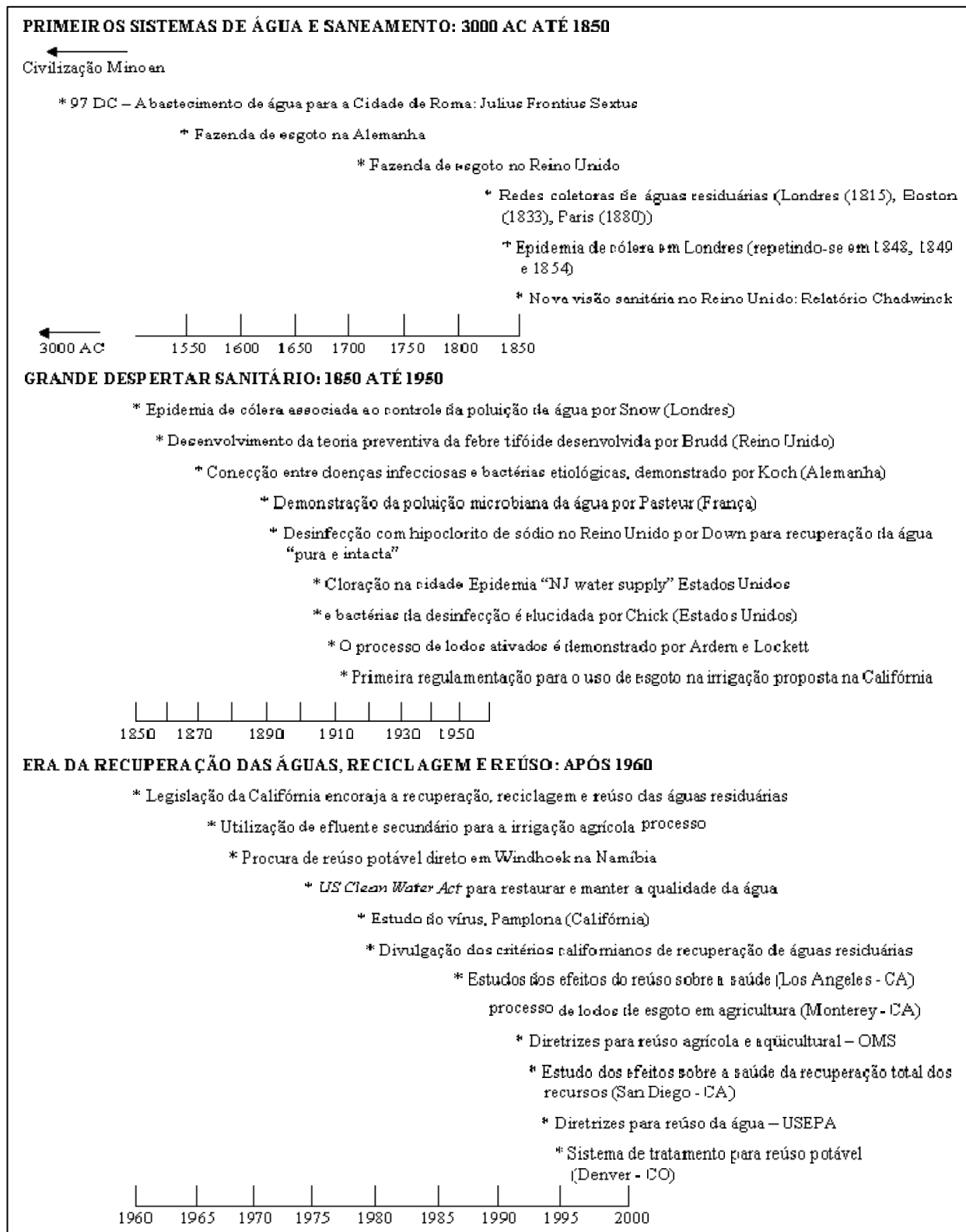
A necessidade crescente de água de qualidade resultou na ampliação e desenvolvimento de vários sistemas para a sua recuperação e formas de reuso neste último século. A Tabela 3 apresenta o desenvolvimento histórico da prática de reuso de água.

Tabela 3 – Desenvolvimento histórico do reuso de água em diferentes locais do mundo

| Ano | Localização | Exemplos de Reuso |
|------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1912-1985 | Golden Gate Park, San Francisco Califórnia, EUA | Irrigação de gramados e criação de lagos ornamentais |
| 1926 | Grand Canyon National Park, Arizona, EUA | Descarga em vaso sanitário, irrigação de gramado, água de resfriamento e alimentação de caldeira. |
| 1929 | Cidade de Pomona, Califórnia, EUA | Irrigação de campos e jardins. |
| 1942 | Cidade Baltimore, Maryland, EUA | Resfriamento de metais no processamento do aço na Bethlehem Steel Company |
| 1960 | Cidade de Colorado Springs, Colorado, EUA | Irrigação de campos de golfe e parques |
| 1961 | Irvine Ranch Water District, Califórnia, EUA | Irrigação, usos domésticos e industrial |
| 1962 | La Soukra, Tunísia | Irrigação em plantas cítricas e redução da intrusão de água salina em aquíferos |
| 1968 | Cidade de Windhoek, Namíbia | Sistema direto de recuperação de água residuária para aumentar a quantidade de água potável |
| 1969 | Cidade de Wagga Wagga, Austrália | Irrigação de paisagens, campos esportivos, gramados e cemitérios |
| 1970 | Sappi Pulp and Paper Group, Enstra, África do Sul | Industrial e limpeza de áreas públicas |
| 1976 | Orange Country Water District, Califórnia, EUA | Recarga de aquífero por injeção direta |
| 1977 | Dan Region Project, Tel-Aviv, Israel | Recarga de aquífero por bacias, via bombeamento |
| 1977 | City of St. Petersburg, Flórida, EUA | Irrigação de parques, campos de golfe e jardins escolares |
| 1984 | Tokyo Metropolitan Government, Japão | Projeto de reciclo de água no distrito de Shinjuku |
| 1985 | City of El Paso, Texas, EUA | Recarga do aquífero Hueco de Bolson (através de injeção direta) e resfriamento de caldeira |
| 1987 | Monterey Regional Water Pollution Control Agency, Califórnia, EUA | Irrigação na agricultura de alimentos consumidos crus, como alcachofra, aipo, brócolis, alface e couve-flor |
| 1989 | Shoalhaven Heads, Austrália | Irrigação de jardins e descarga sanitária em residências |
| 1989 | Consorti de La Costa Brava, Girona, Espanha | Irrigação de campos de golfe |

Fonte: Adaptado de METCALF e EDDY (2006)

Figura 4 – Eventos na evolução do saneamento e reuso de água

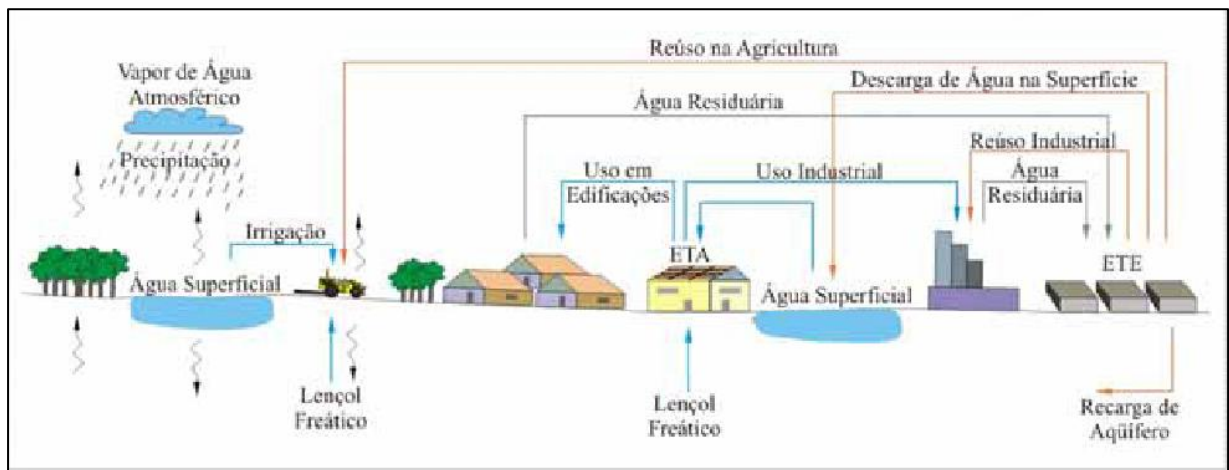


Fonte: ASANO e LEVINE, 1996 apud Malinowski Adriana, 2006, p. 14

O ciclo hidrológico é empregado para representar o contínuo transporte da água no meio ambiente, no entanto com o surgimento do reuso de água, este ciclo recebeu outros componentes, tais como reuso na agricultura, na indústria e recarga de aquíferos.

Frente a este contexto a figura 5 demonstra o ciclo hidrológico e as possibilidades de reuso de água.

Figura 5 – Ciclo Hidrológico e o Reuso da Água



Fonte: Metcalf E Eddy, 2003 apud Malinowski Adriana, 2006, p. 15

Segundo Malinowski Adriana (2006) a quantidade de água transferida por cada etapa depende das características da água, dos fatores climáticos e suas características geohidrológicas, da qualidade da água e utilização da água para diferentes aplicações de reuso da água.

2.3.3 Conceitos de reuso de água

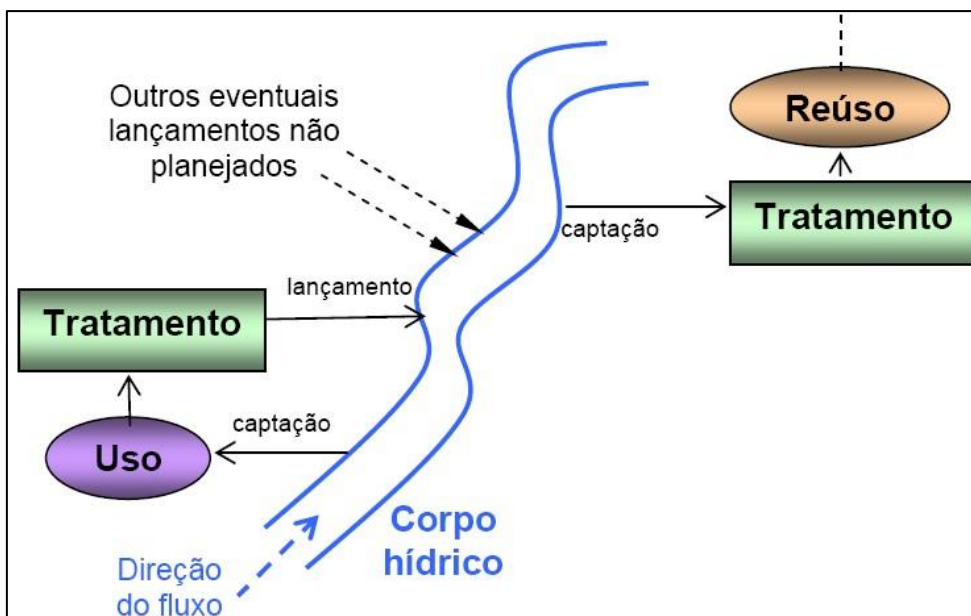
A literatura apresenta várias formas para classificar o reuso de água, conforme descrito por vários autores tais como Malinowski (2006) e Rodrigues (2005) será apresentado neste trabalho:

- Reuso de água pode ser definido como aproveitamento das águas que foram utilizadas, uma ou mais vezes, tendo como finalidade atender as necessidades de outras atividades ou em seu próprio uso original;
- Reuso Indireto ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída;

- Reuso Direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquíferos e água potável;
- Reciclagem Interna: é o reuso da água internamente a instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.
- Reuso intencional ou planejado: ocorre quando há o conhecimento de que o reuso está sendo realizado e, com isso, todos os cuidados necessários para a sua prática são previstos;
- Reuso não intencional, não-planejado ou inconsciente: normalmente ocorre quando há o reuso indireto e aqueles que fazem uso da água a jusante dos lançamentos de efluentes não tem consciência desta ocorrência.

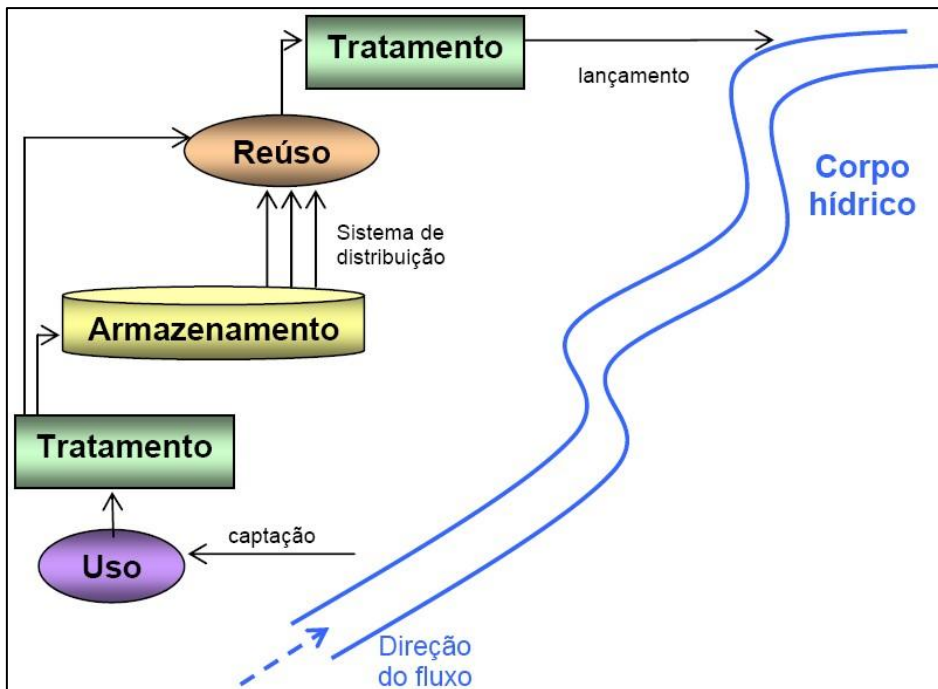
As figuras 6 e 7 apresentam o reuso indireto não planejado e o reuso direto planejado.

Figura 6 – Reuso indireto não planejado da água



Fonte: Rodrigues, 2005, p.24

Figura 7 – Reuso direto planejado da água



Fonte: Rodrigues, 2005, p.24

A Resolução N° 54 de 28 de novembro de 2005, elaborada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), apresenta as diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água, conforme apresentado a seguir:

- Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratadas ou não;
- Reuso de água: utilização de água residuária;
- Água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- Produtor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reuso;
- Distribuidor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reuso;
- Usuário de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reuso.

2.3.4 Constituintes da água de reuso

Baseado na EPA (2004), apresentado na Tabela 4, cita a presença de alguns componentes orgânicos e inorgânicos, encontrados na água de reuso tais como sólidos dissolvidos, nitrogênio, fósforo e metais pesados, entre outros elementos, podem afetar a aceitabilidade da mesma, além de razões para preocupação com os mesmos.

Tabela 4 – Constituintes encontrados na água de reuso

| Constituintes | Parâmetros analisados | Razões para preocupação |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sólidos Suspensos | Sólidos suspensos, incluindo sólidos fixos e voláteis | - Contaminantes orgânicos, metais pesados, entre outros, podem ser adsorvidos sobre particulados. - Matérias suspensas podem proteger microrganismos de desinfetantes. - Quantidades excessivas de sólidos suspensos causam obstrução nos sistemas de irrigação |
| Organismos Biodegradáveis | Demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e carbono orgânico total | - Problemas estéticos e de odor. - O fornecimento de alimentos para os microrganismos afetam desfavoravelmente os processos de desinfecção, tornam a água imprópria para alguns usos, consomem oxigênio e podem resultar em efeitos agudos ou crônicos se a água recuperada for usada. |
| Nutrientes | Nitrogênio, fósforo e potássio | - São nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. - No meio aquático, o nitrogênio e o fósforo podem conduzir ao crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas. |
| Orgânicos Estáveis | Componentes específicos (pesticidas, cloretos, hidrocarbonetos, etc) | - Alguns destes compostos orgânicos tendem a resistir aos métodos convencionais de tratamento de águas residuárias. - Alguns compostos orgânicos são tóxicos ao ambiente e sua presença pode limitar a utilização da água recuperada na irrigação ou outros usos. |
| Concentração do Íon Hidrogênio | pH | - O pH da água residuária afeta o processo de desinfecção, coagulação, solubilidade dos metais, assim como a alcalinidade do solo. |
| Metais Pesados | Especificamente os seguintes elementos: Cd, Zn, Ni e Hg | - Alguns metais pesados acumulam no meio ambiente e são tóxicos a plantas e animais. Esta presença pode limitar o uso da água reaproveitada para diversos usos. |
| Compostos Inorgânicos Dissolvidos | Sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, elementos específicos como Na, Ca, Mg, Cl e B | - O excesso na salinidade pode danificar algumas culturas. - Os íons de compostos inorgânicos, tais como cloretos, Na e B são tóxicos, podendo causar problemas de permeabilidade no solo. |
| Cloro Residual | Cloro livre ou combinado | - As quantidades excessivas de cloro livre disponível podem causar queda de folhas, queimaduras e danificam algumas culturas mais sensíveis. - A maior parte do cloro nas águas tratadas está na forma combinada, a qual não causa danos às culturas. |

Fonte: EPA, 2004

2.3.5 Reuso para Fins não Potáveis

A Tabela 5 dá alguns exemplos de aplicações para água de reuso para fins não potáveis.

Tabela 5 – Tipos de reuso e aplicações

| Tipo de Reuso | Aplicações |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Irrigação paisagística | Parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestradas, campi universitários, cinturões verdes, gramados residenciais. |
| Agricultura | Plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas. |
| Usos industriais | Refrigeração, alimentação de caldeiras, lavagem de gases, água de processamento. |
| Recarga de aquíferos | Recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo. |
| Usos urbanos não-potáveis | Irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus, abastecimento de fontes luminosas, espelhos d' água e chafarizes, etc. |
| Finalidades ambientais | Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca. |
| Usos diversos | Aquicultura, fabricação de neve, construções, preparação de concreto, compactação do solo, controle de poeira, dessedentação de animais. |

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY, 2006

De toda a água consumida pelos diversos setores, a água de agricultura é responsável por cerca de 70% e este valor tende a aumentar. No entanto, estes consumos específicos variam, pois dependem do método de irrigação empregado, de fatores como a natureza do solo, a necessidade de diferentes culturas, o clima, índices de evaporação das regiões e também da qualidade da água de reuso.

De forma geral o setor agrícola requer grande quantidade de fertilizantes químicos para compensar as deficiências dos constituintes químicos que promovem o crescimento e controle de pragas, entretanto estes constituintes químicos devem ser controlados cuidadosamente, pois se mal administrados podem ocasionar problemas ao solo e às culturas.

De acordo com a EPA (2004), os constituintes químicos de maior preocupação presentes na água de reuso são a salinidade, sódio, metais pesados, cloro residual e nutrientes. A sensibilidade é geralmente função do tipo de planta e da sua tolerância aos constituintes encontrados na zona das raízes ou depositados sobre as folhas.

- Salinidade: Este é o parâmetro mais importante na determinação da adequada qualidade da água para irrigação. A salinidade reduz a disponibilidade de água para as plantas pela redução do potencial osmótico do solo. Este problema é mais acentuado em climas quentes e secos, devido ao aumento da demanda de água pelas plantas, principalmente quando a irrigação é inadequada. A acumulação de sais no solo dependerá da sua concentração na água e também do tipo de solo, variando de acordo com a taxa na qual os sais são removidos do solo por lixiviação.

- Sódio: A excessiva concentração de sódio na água (quando a razão entre a concentração de sódio e cálcio é maior do que 3:1) contribui para a dispersão e desestruturação do solo. Finas partículas de solo preenchem os espaços porosos, selando a superfície e reduzindo a permeabilidade e a capacidade de infiltração de água. Neste caso, o sistema radicular das plantas não possui água disponível,

ao contrário da salinidade, onde há água, mas a planta não consegue extraí-la.

- Metais pesados: Os elementos de grande preocupação quando em níveis elevados são cádmio, cobre, molibdênio, níquel e zinco. Níquel e zinco têm visíveis efeitos adversos às plantas em concentrações inferiores às prejudiciais aos homens e animais. Sua toxicidade é reduzida em pH's elevados. Cádmio, cobre e molibdênio, contudo, podem ser prejudiciais aos animais em concentrações tão baixas quanto às plantas.

- Cloro residual: o excesso de cloro pode causar um efeito de queima nas folhas das plantas quando a água é aspergida sobre as folhagens. Numa concentração maior do que 5 mgL^{-1} causa danos à maioria das plantas.

- Nutrientes: o nutriente de maior benefício para as plantas é o nitrogênio. Porém, quantidades elevadas deste elemento podem estimular um crescimento vegetativo na maioria das plantas, causando um retardo na maturação dos frutos e redução na sua quantidade e qualidade.

Baseado neste contexto, a água de reuso pode ser aplicada, desde que de forma planejada e mediante escolha adequada de culturas, levando em conta a qualidade da água.

Algumas atividades urbanas dispensam o uso de água potável, e podendo se aproveitar águas de qualidade inferior. De acordo com EPA (2004), as atividades mais adequadas para a água de reuso são as seguintes:

- Irrigação de parques, jardins públicos, de edifícios, de escolas, de universidades, centros esportivos, campos de golfe, e canteiros ao longo de ruas e avenidas;
- Utilizações comerciais, tais como lavagem de veículos, lavanderias, lavagem de janelas, água de mistura e diluição de pesticidas, herbicidas e adubos líquidos;
- Sistemas decorativos, tais como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d' água;
- Controle de poeiras e produção de concreto;
- Reserva de proteção contra incêndios;
- Descarga sanitária em banheiros públicos, edifícios comerciais e industriais.

Perante a este contexto, Hespanhol (2002), salienta que os usos urbanos não potáveis envolvem riscos menores quando comparado com os potáveis. Entretanto, alguns cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto do público com gramados de parques, jardins, hotéis, áreas turísticas e campos de esporte. Destaca que os principais problemas associados ao reuso urbano não potável são os custos elevados dos sistemas duplos de distribuição, dificuldades operacionais e riscos potenciais de ocorrência de conexões cruzadas.

O reuso industrial pode ser aplicado no aproveitamento dos efluentes produzidos pela própria indústria, com ou sem tratamento prévio.

Muitas indústrias passaram a avaliar as possibilidades de reutilizar a água devido ao aumento das exigências de qualidade dos efluentes a serem lançados nos corpos receptores (Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011 do CONAMA) e aos processos de outorga e cobrança dos direitos de captação e lançamento, os quais estão previstos na Lei Federal Nº 9.433/1997 e também a Lei Estadual.

De acordo com Hespanhol (2002), os usos industriais para a água de reuso que apresentam possibilidade de serem viabilizados em grande concentração industrial, são os seguintes:

- Torres de resfriamento;
- Caldeiras;
- Construção civil, incluindo compactação e cura de concreto, e para compactação do solo;
- Irrigação de áreas verdes de instalações industriais, lavagens de pisos e alguns tipos de peças, principalmente na indústria mecânica;
- Processos industriais;

2.4 CRITÉRIOS PARA O REUSO DE ÁGUA

Sobre os critérios nacionais, no ano de 1934 teve início a intervenção do governo com Código das Águas e aos poucos as empresas foram nacionalizadas, pois até a década de 30 quem era responsável pelo saneamento era às empresas estrangeiras, assim como por uma série de outros serviços públicos. Após a criação da Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o reuso no Brasil vem sendo difundido de forma crescente. Esta Lei instituiu a outorga e a cobrança pelo uso da água. Entretanto, este crescimento ocorre em uma condição de completa ausência de regulamentação específica sobre o assunto, o que pode ocasionar uma série de implicações indesejáveis, tais como:

- Estabelecimento de práticas inadequadas;
- Altos riscos à saúde pública;
- Contaminação do meio ambiente;
- Conflitos com empresas responsáveis pelo abastecimento de água;
- Dificuldade de autorização por parte dos órgãos ambientais.

Nestas situações citadas acima, é necessário avaliar bem o caso, pois pode haver a condenação precipitada do reuso, especialmente por parte da população, cujo envolvimento é fundamental. Avaliando este cenário que surge a necessidade de uma regulamentação adequada à prática do reuso de forma a promovê-lo, expandindo os benefícios aos usuários, e diminuindo os riscos associados e probabilidades dos conflitos potencialmente existentes.

Um das primeiras normas que tratou de reuso de água no país foi a norma NBR-13.969, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de setembro de 1997, que trata das unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, nesta norma o reuso é abordado como uma opção à destinação de esgotos de origem essencialmente doméstica ou com características similares.

Quatro classes de água de reuso e seus respectivos padrões de qualidade foram definidos na norma e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Classes de água de reuso pela NBR 13.969 e respectivos padrões de qualidade

| Classe | Uso previsto | Turbidez (NTU) | Coliformes Fecais (NMP/100mL) | SDT (mg/L) | pH | Cloro residual (mg/L) | Oxigênio (mg/L) |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------|------------|-----|-----------------------|-----------------|
| Classe 1 | Lavagem de carros e outros usos que requerem contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes | <5 | <200 | <200 | 6-8 | 0,5-1,5 | - |
| Classe 2 | Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes | <5 | <500 | - | - | >0,5 | - |
| Classe 3 | Reuso em descargas dos vasos sanitários | <10 | <500 | - | - | - | - |
| Classe 4 | Reuso em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual | - | <5.000 | - | - | - | >2,00 |

Fonte: NBR 13.969

Em março de 2011, foi publicada a Resolução Nº 430 do CONAMA, que 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 que serão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Limite de parâmetros para emissão de efluentes em corpos d'água de acordo com a Resolução N°430 do CONAMA

| Parâmetros | Limite |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| pH | 5 – 9 |
| Temperatura | <40°C |
| Materiais Sedimentáveis | ≤1mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff |
| Materiais Flutuantes | Ausentes |
| Óleos Minerais | <20mg/L |
| Óleos vegetais e gorduras animais | ≤50mg/L |
| Arsênio total | 0,5mg/L As |
| Bário total | 5,0mg/L Ba |
| Boro total | 5,0mg/L B |
| Cádmio total | 0,2mg/L Cd |
| Chumbo total | 0,5mg/L Pb |
| Cianeto total | 1,0mg/L CN |
| Cianeto livre (destilável por ácidos fracos) | 0,2mg/L CN |
| Cobre dissolvido | 1,0 mg/L Cu |
| Cromo hexavalente | 0,1 mg/L Cr ⁺⁶ |
| Cromo trivalente | 1,0mg/L Cr ⁺³ |
| Estanho total | 4,0mg/L Sn |
| Ferro dissolvido | 15,0mg/L Fe |
| Fluoreto total | 10,0mg/L F |
| Manganês dissolvido | 1,0mg/L Mn |
| Mercúrio total | 0,01mg/L Hg |
| Níquel total | 2,0mg/L Ni |
| Nitrogênio amoniacal total | 20,0mg/L N |
| Prata total | 0,1mg/L Ag |
| Selênio total | 0,30mg/L Se |
| Sulfeto | 1,0mg/L S |
| Zinco total | 5,0mg/L Zn |
| Benzeno | 1,2 mg/L |
| Clorofórmio | 1,0mg/L |
| Dicloroetano (somatório de 1,1+1,2cis+1,2trans) | 1,0mg/L |
| Estireno | 0,07mg/L |
| Etilbenzeno | 0,84mg/L |
| Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina) | 0,5mg/L C ₆ H ₅ OH |
| Tetracloroeto de Carbono | 1,0mg/L |
| Tricloroetano | 1,0mg/L |
| Tolueno | 1,2mg/L |
| Xileno | 1,6mg/L |

Fonte: Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011

Devido o reuso vem sendo difundido de forma crescente no Brasil está tendo mais interesse pelo tema, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), publicou a Resolução N° 54, em novembro de 2005, que estabelece os critérios gerais para a prática de

reuso direto não potável de água, sendo esta uma ferramenta para restaurar o equilíbrio entre oferta e demanda de água em várias regiões brasileiras. Nessa resolução, são definidas as cinco modalidades de reuso de água. A Tabela 9 apresenta as diversas opções de reuso e algumas possíveis aplicações.

Em abril de 2009, foi publicada a Lei Estadual N° 14.675 do meio ambiente onde estabelece padrões de lançamento para descarte de efluentes e serão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Limite de parâmetros para emissão de efluentes em corpos d'água de acordo com a Lei Estadual N° 14.675

| Parâmetros | Limite |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| pH | 6 – 9 |
| Materiais Flutuantes | Ausentes |
| Óleos vegetais e gorduras animais | 30mg/L |
| Cromo hexavalente | 0,1 mg/L Cr ⁺⁶ |
| Cobre Total | 0,5 mg/L |
| Cádmio total | 0,1mg/L Cd |
| Mercúrio total | 0,005mg/L Hg |
| Níquel total | 1,0mg/L Ni |
| Zinco total | 1,0mg/L Zn |
| Arsênio total | 0,1mg/L As |
| Prata total | 0,02mg/L Ag |
| Selênio total | 0,02mg/L Se |
| Manganês +2 solúvel | 1,0 mg/L |
| Fenóis | 0,2mg/L C ₆ H ₅ OH |
| Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno | 2,0 |
| Compostos organofosforados e carbamatos | 0,1mg/L |
| Sulfeto de carbono, etileno | 1,0mg/L |
| Outros compostos organoclorados | 0,05mg/L |

Fonte: Lei Estadual N° 14.675, de 13 de abril de 2009

Tabela 9 – Opções de reuso apresentadas pela Resolução N° 54 do CNRH e suas possíveis aplicações

| Opções de reuso | Possíveis aplicações |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fins urbanos | Irrigação paisagística, lavagem de logradouro públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndios (dentro da área urbana) |
| Fins agrícolas e florestais | Aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas. |
| Fins ambientais | Implantação de projetos de recuperação do meio ambiente. |
| Fins industriais | Processos, atividades e operações industriais. |
| Aquicultura | Criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos. |

Fonte: Resolução N° 54 do CNRH

Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas) juntamente com a FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) e o SinduCon-SP (Sindicato da Indústria da Construção Civil), foi elaborado uma publicação (ANA, 2005), onde apresenta orientações para a implementação de programas de conscientização e conservação da água em edificações comerciais, residenciais e industriais, com objetivo de apresentar soluções eficientes na concepção das novas edificações ou na atualização das já existentes, na Tabela 10 – apresenta os padrões baseados nesta legislação para a água de reuso.

Tabela 10 – Parâmetros características para água de reuso

| Classe | Uso previsto | Turbidez (UT) | Cor (UH) | Coliformes Fecais (NMP/100mL) | SDT (mg/L) | SST (mg/L) | pH | Óleos e graxas (mg/L) | DBO (mg/L) |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|-------------------------------|------------|------------|-------|-----------------------|------------|
| CLASSE 1 | Descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos d' água, etc.), lavagem de roupas e de veículos | ≤2 | ≤10 | ND ⁽¹⁾ | ≤500 | ≤5 | 6-9 | ≤1 | ≤10 |
| CLASSE 2 | Lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira. | - | - | ≤1000 | - | 30 | 6-9 | ≤1 | ≤30 |
| CLASSE 3 ⁽²⁾ | Irrigação de áreas verdes e rega de jardins | <5 | <30 | ≤200 | 450-1500 | <20 | 6-9 | - | <20 |
| CLASSE 4 ⁽³⁾ | Resfriamento de sistemas de ar condicionado (torres de resfriamento) | - | - | - | 1000 | 5000 | 5-8,3 | - | - |

⁽¹⁾ ND – Não detectáveis

⁽²⁾ Limite para Boro:

Irrigação de culturas alimentícias: 0,7mg/L

Regas de jardim e similares: 3,0mg/L

⁽³⁾ Sem recirculação

Fonte: Adaptado de ANA, 2005

Atualmente a SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo já reutiliza e pretende ampliar o reuso planejado de água em suas instalações de tratamento de água (recirculação de água de lavagem de filtros, por exemplo) e de esgotos. A SABESP desenvolve ações com tecnologia visando ampliar o reuso de efluentes gerados a partir do tratamento de esgotos para fins industriais, refrigeração de equipamentos e outras aplicações não potáveis.

A reutilização da água apresenta vários pontos positivos como custo menor e suprimento garantido. No quesito qualidade os riscos podem ser gerenciados com acompanhamento de planejamento, monitoramento, controle e sinalização adequados. Na Tabela 11 apresenta os critérios propostos pela SABESP para a água de reuso.

Tabela 11 – Padrões de qualidade propostos pela SABESP para a água de reuso.

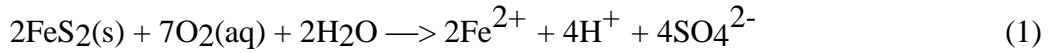
| Parâmetros | Proposta SABESP |
|--------------------------------|------------------------|
| Cloro Residual livre (mg/L) | 2 – 6 |
| DBO (mg/L) | <25 |
| SST (mg/L) | <35 |
| Cloliformes Fecais (NMP/100mL) | <200 |
| Turbidez (NTU) | <20 |
| pH | 6 – 9 |
| Helmintos (ovo/L) | - |
| Óleos e graxas (mg/L) | Virtualmente ausentes |

Fonte: Semura *et al*, 2005.

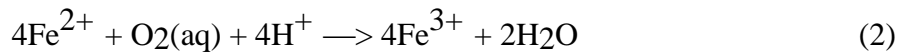
2.5 DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS (DAM)

O mais sério problema decorrente tanto no armazenamento de carvão, quanto dos depósitos de rejeitos, é a drenagem ácida resultante de reações que ocorrem entre sulfetos minerais, ar, água e bactérias. Este tipo de reação é comum em áreas de mineração de carvão, uma vez que os materiais que produzem enxofre, normalmente pirita e marcassita, são encontrados nos veios do carvão e, concentrados ainda mais em seus rejeitos. Os poluentes da drenagem ácida afetam a qualidade dos recursos hídricos da região, baixando o pH, reduzindo a alcalinidade natural, aumentando a dureza total e acrescentando quantidades de substâncias indesejáveis tais, como: ferro, manganês, alumínio, sulfatos e eventualmente metais pesados. Os recursos hídricos poluídos pela drenagem da mineração, não podem ser utilizados na irrigação e recreação.

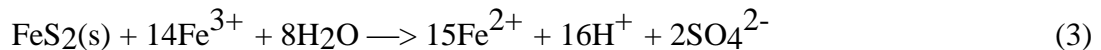
Essas reações químicas são autocatalíticas e sua velocidade pode ser acelerada pela atividade bacteriana, principalmente pelas espécies *Thiobacillus ferrooxidans* e *Leptospirillum ferrooxidans* (RUBIO, 1998a, 1998b). As reações a seguir apresentam o mecanismo de oxidação da pirita (FeS₂), principal mineral responsável pela DAM:



A reação (1) representa a formação da DAM pela via direta. Essa reação produz acidez, e se o potencial de oxidação é mantido, a oxidação do Fe⁺² para Fe⁺³ pelo oxigênio também vai ocorrer, consumindo parte da acidez produzida.



O Fe³⁺ gerado na reação (2) oxida a pirita (via indireta).



O Fe⁺² resultante da reação (3) poderá ser oxidado a Fe⁺³ pela reação (2) e estará novamente disponível para oxidar mais pirita (autocatálise).

As minas que geram a DAM são as subterrâneas ou a céu aberto, bacias de decantação, pilhas de estéril e rejeitos de processamento mineral, e não possuem mais valor comercial. Essas fontes podem ficar ativas por décadas ou séculos após o fechamento da mina.

Segundo Galatto *et al* (2007), na bacia Carbonífera Catarinense, localizada no sul do estado, existem aproximadamente 5.000 hectares de áreas degradadas pela mineração de carvão e cerca de 2/3 dos cursos d'água da região estão comprometidos pela drenagem ácida.

Baseado no contexto acima, em 25 de setembro de 1980, por meio do Decreto N° 85.206, a região carbonífera de Santa Catarina foi considerada a 14ª Área Crítica Nacional para Efeito de Controle da Poluição e Qualidade Ambiental. Nesse momento, todas as bacias hidrográficas da região carbonífera do sul do estado já apresentavam a qualidade físico-química comprometida. A Portaria Interministerial n° 917, de 6 de julho de 1982 determinou que todas as empresas envolvidas na lavra e beneficiamento de carvão

necessitariam apresentar projetos para a construção de depósitos de rejeitos e a operação do beneficiamento devia ser em circuito fechado, com posterior tratamento dos efluentes, mas os projetos não foram inteiramente implantados pelas empresas, desta forma não melhorou a qualidade das drenagens, sendo que até hoje algumas empresas continuam trazendo sem consciência ambiental e trazem problemas à região.

O Ministério Público Federal (MPF) ponderou uma ação civil pública e, dentre outras solicitações, o objetivo era a reconstituição do meio ambiente afetado pela mineração e não continuidade do processo de degradação ambiental. No ano de 2000 foi publicada a sentença condenando as empresas carboníferas, a União e o Estado de Santa Catarina por omissão fiscalizatória nas áreas afetadas pela mineração. Em 2005, na cidade de Criciúma, o Ministério Público do Estado e Federal seguem o cumprimento do Termo de Ajuste de Conduta (TAC), juntamente com a Fundação do Meio Ambiente (FATMA) e 12 empresas que operam na região carbonífera do sul do estado. O TAC concedeu prazo para que as mineradoras atendam a legislação, executando o controle das áreas mineradas e obras recuperação do meio ambiente.

2.5.1 Controle da drenagem ácida de minas

A característica fundamental que transforma a drenagem ácida de minas em um problema ambiental é o fato de que os mecanismos químicos e bacterianos que são responsáveis por sua formação são auto catalíticos, e uma vez desenvolvida a DAM, este problema tende a piorar e é muito complexo controlá-lo, com isso se define as estratégias que devem ser consideradas para o seu controle.

O rejeito da pirita começa a liberar DAM em quantidades apreciáveis, como é o caso da Região Carbonífera de Santa Catarina, o que pode ser feito é separar o rejeito do meio ambiente, coletar a drenagem e tratar por neutralização de ácidos e conseqüentemente a remoção de metais. As quantidades de rejeitos envolvidos são elevadas, e o fato de que a DAM pode ser liberada por décadas e até mesmo séculos, as ações são de elevado custo, tanto em termos de custo capital como custos operacionais. Medidas preventivas são preferidas, quando o novo rejeito ainda está sendo gerado (KONTOPOULOS, 1998). De acordo com o mesmo autor os métodos para o controle de DAM podem ser classificados em 3 categorias:

- a) *Métodos primários ou preventivos*, que objetivam a prevenção das reações geradoras de ácidos, evitando o contato dos minerais sulfetados com a água e o

oxigênio, eliminando as bactérias responsáveis pela catálise das reações, e controlando outros fatores que influenciam as reações, como o pH, adicionando alcalinidade ao sistema;

b) Métodos secundários ou de contenção, que objetivam controlar a migração da DAM para o meio ambiente com a prevenção do fluxo de água, uso de paredes porosas reativas ou disposição em estruturas de contenção impermeabilizadas;

c) Métodos terciários ou de remediação, que visam coletar e tratar a DAM.

Os métodos de remediação são classificados em sistemas ativos, os quais exigem operação contínua em uma planta de tratamento químico, ou sistemas passivos (drenos anóxicos, *wetlands*, etc.), os quais funcionam sem necessidade de muito controle embora exijam grandes áreas para o tratamento. O foco deste estudo são os métodos ativos de tratamento, especialmente a precipitação seguida de flotação.

3. PROPOSIÇÃO DE REUSO DA ÁGUA PELA CORPORAÇÃO

O sistema de tratamento da água está baseado em processos físico-químicos de neutralização com hidróxido de cálcio, precipitação dos metais dissolvidos e separação sólido/líquido por sedimentação em bacia.

O sistema de tratamento será constituído das seguintes etapas:

- Acumulação dos efluentes líquidos;
- Preparo e dosagem da solução de hidróxido de cálcio 5%;
- Aeração/Neutralização;
- Recalque do efluente neutralizado;
- Sedimentação em bacia.

O efluente proveniente da mina, é captado e enviado para uma bacia de acumulação e enviado para duas caixas coletoras com capacidade de 20.000L cada, para neutralização. As técnicas de tratamento envolvem a neutralização empregando solução de hidróxido de cálcio na concentração de 5% e aeração, resultando na precipitação dos metais até seu limite de solubilidade.

Depois da neutralização o efluente é bombeado até a bacia de sedimentação, onde o lodo ficará sedimentado na parte inferior e o efluente tratado será bombeado pela parte superior da bacia, sendo descartado na rede hídrica local, desde que esteja dentro dos limites de lançamento exigidos pela legislação ambiental.

Caso a água tratada estiver fora dos padrões definidos para emissão no meio ambiente o processo funciona em circuito fechado.

Os equipamentos presentes na estação de tratamento de efluentes no estudo foram:

- Unidade de preparo de solução de cal – Tanque de poliestireno com 20 litros
- Unidade de ar comprimido – Compressor
- Bombas de alimentação - Para alimentação nos tanques de neutralização/precipitação
- Bacia de sedimentação – Sólido/Líquido
- Agitador

Figura 8 – Projeto Tratamento do Efluente

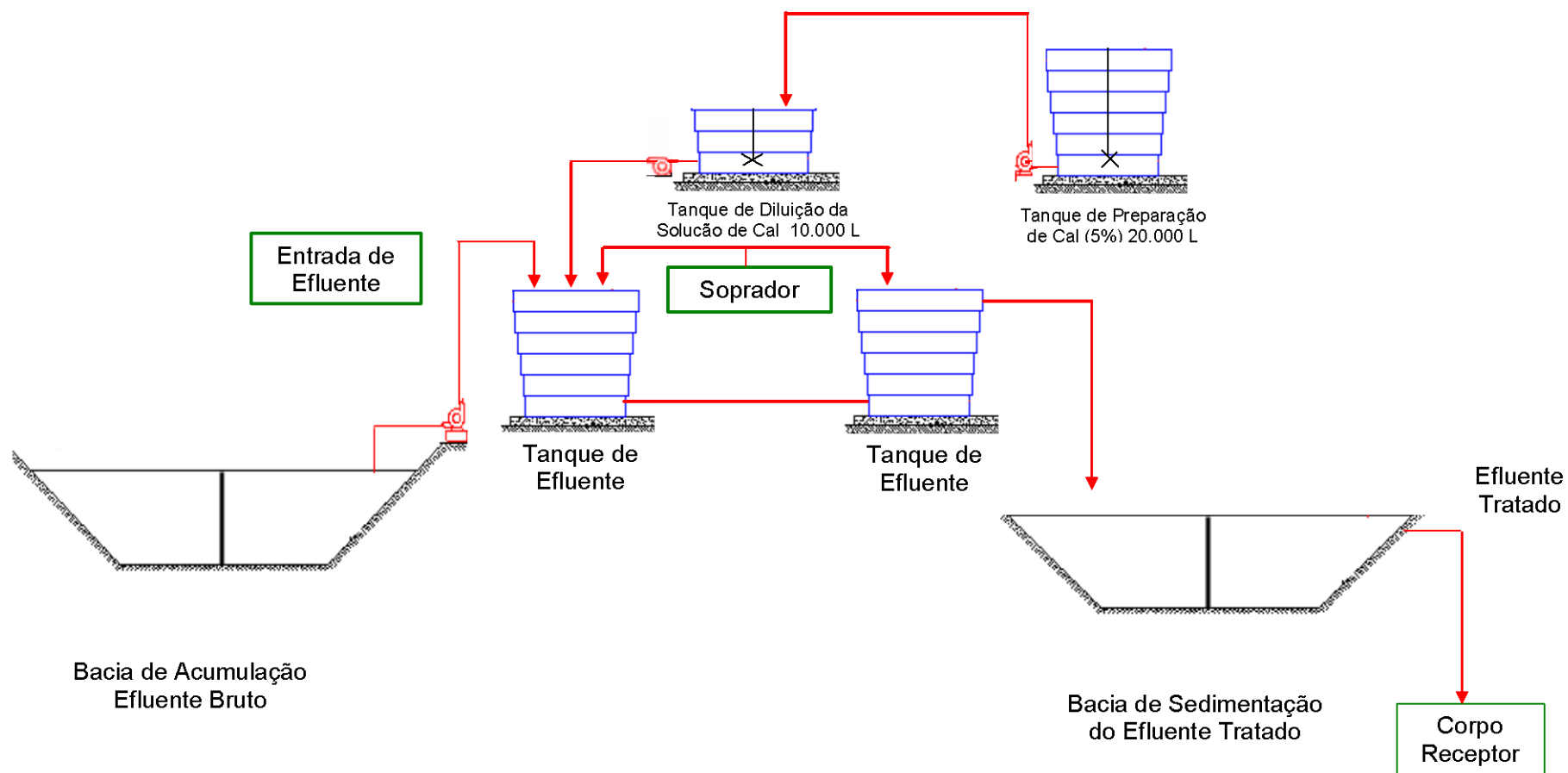
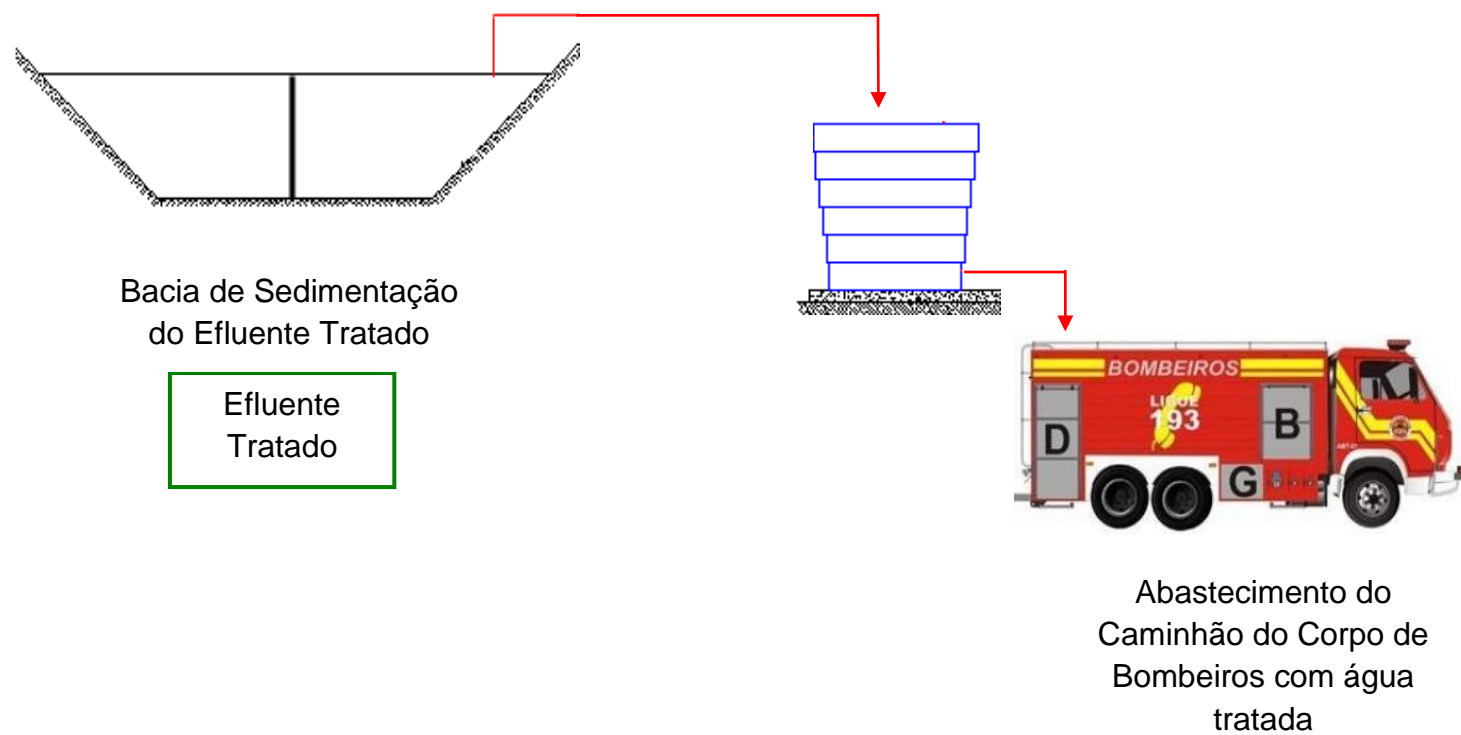


Figura 9 – Projeto de Reutilização de Água tratada



3.3 QUALIDADE DO EFLUENTE BRUTO E TRATADO GERADA DA REGIÃO CARBONÍFERA

As tabelas 12 apresentam resultados práticos de análises físico-químicos obtidos pela Mina em questão, do Efluente Bruto e Tratado.

Tabela 12 – Qualidade do Efluente Bruto e Tratado Período de 01/01/2014 a 25/08/2015

| Parâmetros | Efluente Bruto | Efluente Tratado |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| pH | 6,28 | 8,58 |
| Acidez (mg/L CaCO ₃) | 12,44 | 0,00 |
| Resíduos Sedimentáveis (mL/L) | <0,1 | <0,1 |
| Sulfatos (mg/L) | 735 | 751 |
| Condutividade (µS/cm) | 1571,57 a 22,45°C | 1605,07 a 22,41°C |
| Ferro Dissolvido (mg/L) | 0,41 | 0,04 |
| Ferro Total (mg/L) | - | 2,32 |
| Manganês Total (mg/L) | 7,65 | 3,25 |
| Zinco Total (mg/L) | 0,13 | 0,01 |
| Cobre Dissolvido (mg/L) | 0,01 | 0,00 |
| Alumínio Dissolvido (mg/L) | 0,00 | 0,00 |
| Manganês Dissolvido (mg/L) | 7,51 | 0,50 |
| Fator de Toxicidade | - | 1,00 |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L) | - | 8,32 |

Fonte: Autor, 2015

A tabela 13 traz os resultados práticos do efluente tratado, comparado com as legislações vigentes: Resolução Conama 430/11 e Código Ambiental 14675/09.

Tabela 13 – Qualidade do efluente tratado perante as legislações brasileiras

| Parâmetros | Efluente Tratado | Res. Conama 430/11 | Código Ambiental 14675/09 |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|
| pH | 8,58 | 5,00 – 9,00 | 6,00 – 9,00 |
| Acidez (mg/L CaCO ₃) | 0,00 | - | - |
| Resíduos Sedimentáveis (mL/L) | <0,1 | 1,00 mL/L | - |
| Sulfatos (mg/L) | 751 | - | - |
| Condutividade (µS/cm) | 1605,07 a 22,41°C | - | - |
| Ferro Dissolvido (mg/L) | 0,04 | 15,00 mg/L (máx.) | - |
| Ferro Total (mg/L) | 2,32 | - | - |
| Manganês Total (mg/L) | 3,25 | - | - |
| Zinco Total (mg/L) | 0,01 | 5,00 mg/L (máx.) | 1,00 mg/L (máx.) |
| Cobre Dissolvido (mg/L) | 0,00 | 1,00 mg/L (máx.) | - |
| Alumínio Dissolvido (mg/L) | 0,00 | - | - |
| Manganês Dissolvido (mg/L) | 0,50 | 1,00 mg/L (máx.) | 1,00 mg/L (máx.) |
| Fator de Toxicidade | 1,00 | - | - |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L) | 8,32 | - | - |

Fonte: Autor, 2015

A tabela 14 traz a capacidade de tratamento e o volume tratado em 2014 da Mina em questão.

Tabela 14 – Quantidade de efluente tratado e lançado no corpo receptor

| Unidade | Método de separação sólido/líquido | Capacidade de Tratamento (m³/h) | Volume tratado em 2014 (m³) |
|---------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Mina A – Localizada em Criciúma | Sedimentação em Bacia | 150 | 368663,33 |

Fonte: Autor, 2015

A cidade de Criciúma localizada em Santa Catarina, possui 2 caminhões de combate a incêndio. O caminhão A possui capacidade de 15 m³ e o caminhão B possui capacidade de 8 m³. Considerando o volume tratado lançado em 2014, pela mina A, estima-se que serão lançados 1.010,03 m³/dia. Considerando que o caminhão A que tem capacidade de 15 m³, é possível abastecer aproximadamente 67 caminhões/dia. Já o caminhão B cuja capacidade é de 8 m³ é possível abastecer 126 caminhões/dia.

No ano de 2014 o Corpo de Bombeiros de Criciúma gastou aproximadamente 800 m³/ano de água potável, o que resulta em aproximadamente 2,50 m³/dia, gastando aproximadamente o valor de R\$ 13.000,00. Considerando o volume descartado no corpo receptor em 2014, seria possível abastecer os caminhões do Corpo de Bombeiros da cidade de Criciúma, e sobraria aproximadamente 1007 m³/dia, sendo possível abastecer aproximadamente 402 municípios deste porte/dia.

O investimento necessário é um tanque de polietileno com capacidade de 20 m³, considerando o consumo de aproximadamente 2,50m³/dia, seria suprido a necessidade de aproximadamente 8 dias.

O valor no tanque de polietileno de 20 m³ é de aproximadamente R\$ 1.000,00.

Considerando este projeto implantado, a economia prevista é de aproximadamente de R\$ 13.000,00 em 1 (um) ano por Município, considerando que será gasto volume de aproximadamente 2,50m³/dia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores demonstrados comprovam que este projeto de reaproveitamento de efluente tratado é tecnologicamente viável e possui potencial, pois o investimento é teoricamente baixo, reduzida área ocupada apresentando assim possibilidade de reuso do efluente tratado.

As legislações estabelecem critérios extremamente rígidos para qualidade de água de reuso, o que dificulta esta prática.

Mais é muito importante focar nas possíveis formas de reuso, e demonstrar através de volumes, qualidade química. Na definição dos fatores econômicos, ambientais e sociais, devem ser considerados detalhadamente. É muito importante que ainda existam ligação entre os órgãos governamentais e poder legislativo, com as universidades e centros de pesquisa, para que facilitem esta ligação, e aproximem os órgãos a realidade Brasileira, sobre as possibilidades de reuso, incentivando assim o reuso.

O reuso da água industrial tratada é uma forma de preservar os recursos naturais e de gerenciar águas e efluentes, porém deve ocorrer em paralelo outras medidas de racionalização do uso da água, preservando assim o meio ambiente, e evitando a poluição. Além disso deve ser devidamente avaliada para não apresentar riscos as atividades que reutilizarem. O poder legislativo, deve incentivar esta prática, sendo que traz vários fatores positivos, pois evita a poluição de recursos hídricos e é uma tecnologia viável economicamente.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realização de trabalhos de reuso desta água em outras aplicações;
- Testes utilizando esta água em irrigação de jardins, preparação de concreto;
- Pesquisa direcionada a auxiliar o país, estados e municípios na definição de critérios para reuso, levando em consideração a qualidade necessária de forma que o reuso seja viável;

REFERÊNCIAS

- ANA, FIESP, SindusCon-SP; **Conservação e Reúso da Água em Edificações**, São Paulo, 2005.
- Angelakis A. N.; Marecos do Monte, M.H.F.; Bontoux, L.; Asano, T. The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. **Water Research: Grã Bretanha**, v.33, n 10, p. 2201-2217, 1999.
- ANGELAKIS, A. N. and SPYRIDAKIS, S. The status of water resources in Minoan times: a preliminary study. Angelakis, A.N., and Issar, Editors, Diachronic Climatic Impacts on Water Resources in Mediterranean Region. **Springer-Verlag, Heidelberg, German**
- APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 19ª Edição. American Public Health Association, Washington, D. C., 1074 p.,1995.
- Asano, T.; Levine, A.D. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. **Water Science and Technology**, v. 33, n° 10-11, p.1-14, 1996.
- CNRH. **Resolução n° 54**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 3 p., em vigor desde 9de março de 2006.
- EPA. **Guidelines for water reuse**. U. S. Environmental Protection Agency, Municipal Support Division, Washington, DC, EPA/625/R-04/108, 449 p., 2004.
- Galatto, S.L.; Lopes, R.P.; Back, A.J.; Bif, D.Z.; Santo, E.L.;Emprego de coberturas secas no controle da drenagem ácida de mina - Estudo em campo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**; v. 12; N° 2; p. 229-236; 2007.
- Hespanhol, I.; Potencial de reúso de água no Brasil – Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos; **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**; v. 7; n. 4; p. 75-95;2002.
- Lei Federal N° 9.433**; Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; Governo Federal; 8 p.; 1997.
- Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. **Reuso de Água**. Manole, São Paulo; 579 p.; 2003.
- Metcalf & Eddy. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**. McGraw-Hill, 1ª Ed., 1541 p., 2006.
- Metcalf & Eddy. **Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications**. McGraw-Hill, 3ª Ed., 1334 p., 1991.
- SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em <www.sabesp.com.br>. Data: 01/08/15.

SNIS – Sistema Nacional de Informação de Saneamento, 2002.

UNESCO - UNITED NATIONS / WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME - UN/WWAP. 2003. **UN World Water Development Report: Water for People, Water for Life.** Paris, New York e Oxford. Disponível em: <www.unesco.org/water/wwap/wwdr/table_contents.shtml> acesso em 01/08/2015.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G., 1999. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação.** Escrituras ed., São Paulo, 1999, 717p

FREITAS, Eduardo De. "Origem da água"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://www.brasilecola.com/geografia/origem-agua.htm>>. Acesso em 05 de agosto de 2015.