



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**

**CENTRO DE TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

**Jobson Luiz P. dos Santos**

**Controle Sanitário e Ambiental de um Projeto de Reúso em  
um Complexo de Prédios Corporativos**

**Natal 2011**

Jobson Luiz Prazeres dos Santos

**Controle Sanitário e Ambiental de um projeto de Reúso em  
um Complexo de Prédios Corporativos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-  
graduação, em Engenharia Sanitária, da  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Cícero O. de Andrade Neto

Co-Orientador: Prof. Dr. Luiz Pereira de Brito

Natal 2011

Seção de Informação e Referência

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Santos, Jobson Luiz Prazeres dos.

Controle sanitário e ambiental de um projeto de reuso em um complexo de prédios corporativos / Jobson Luiz Prazeres dos Santos. – Natal, RN, 2011.

125 f. : il.

Orientador: Cícero O. de Andrade Neto.

Co-orientador: Luiz Pereira de Brito.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

# **Controle Sanitário e Ambiental de Um Projeto de Reúso em um Complexo de Prédios Corporativos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto – Orientador

---

Dr. Luiz Pereira de Brito – Co-Orientador

---

Dr. André Luís Calado Araújo – Examinador IFRN

---

Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota – Examinador Externo UFC

Natal, 22 de fevereiro de 2011

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho. Em especial:

Aos meus pais, João e Cleide, pelo apoio e educação que me deram.

Ao meu irmão, Jefferson, pelo auxílio e colaboração.

Ao Prof. Dr. Cícero Onofre e ao Prof. Dr. Luiz Pereira de Brito, pela orientação com sugestões, idéias e conhecimento que tornaram possível a realização desta dissertação.

Ao Prof. Dinarte Aeda, sempre disposto a auxiliar.

A Sandro Araújo, responsável pelo laboratório , e Jislene Trindade , bolsista de iniciação científica, pela ajuda nas análises laboratoriais

A UO RNCE da PETROBRÁS por permitir a realização da pesquisa no interior de sua sede. Em especial aos funcionários: Marcos Alberto, Larissa Costa e Carlos Eduardo .

## RESUMO

A pesquisa da qual resultou esta dissertação desenvolveu-se na UO RNCE da PETROBRAS, em Natal, que implantou um projeto de uso racional e reúso de águas, com aproveitamento do efluente de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) já existente no local, diluído com água de poços, para irrigação da área verde do complexo de prédios corporativo da empresa. Estabelecer uma metodologia que possa servir de orientação para futuros projetos de reúso controlado de águas semelhantes a esse foi o objetivo desta pesquisa. Foram propostos, implementados e avaliados três instrumentos de controle sanitário e ambiental: 1) adequação da estação de tratamento de esgotos e controle da qualidade do efluente tratado; 2) análise da interação nutrientes-solo na área irrigada; 3) conhecimento da hidrogeologia local, principalmente no que diz respeito à direção do fluxo do aquífero, e localização dos poços de captação da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) situados no entorno. Estes instrumentos mostraram-se suficientes e adequados para assegurar os níveis de controle sanitário e ambiental propostos e estudados, que foram: a) controle da qualidade da água na saída da ETE e na saída do reservatório de irrigação; b) controle da qualidade da água no solo sub superficialmente e avaliação da evolução da composição do solo; c) avaliação da qualidade da água no aquífero. Para isso, foi necessário: 1) estabelecer o plano de monitoramento da ETE e da qualidade do seu efluente definindo pontos de amostragem e parâmetros de análise, melhorar o funcionamento da mesma identificando a adequação da vazão e do peneiramento como principais fatores do controle operacional, e aumentar a eficiência da estação a um custo relativamente baixo, com uso de filtros adicionais; 2) propor, implantar e adequar coletores simples para avaliar a qualidade da água percolada no solo da área irrigada; 3) determinar a direção do fluxo subterrâneo na área de estudo e selecionar os poços para monitoramento da água do aquífero.

**Palavras chave:** Reúso controlado de água; Controle sanitário e ambiental; Reúso em complexo de edifícios corporativos.

## ABSTRACT

The study that resulted in this dissertation was developed at OU RNCE PETROBRAS, in Natal, which implemented a project of rational use and reuse of water, including use of wastewater from a Sewage Treatment Plant (STP) already in place, diluted with water from own wells for irrigation of green area of the building complex corporate enterprise. Establish a methodology that can serve as guidelines for future projects controlled reuse of water like this was the objective of this research. Been proposed, implemented and evaluated three instruments of sanitary and environmental control: 1) adaptation of sewage treatment plant and quality control of the treated effluent 2) analysis of soil-nutrient interaction in the irrigated area, 3) knowledge of the local hydrogeology, especially with regard to the direction of flow of the aquifer and location of collection wells of Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) situated in the surroundings. These instruments have proven sufficient and appropriate to ensure the levels of sanitary and environmental control proposed and studied, which were: a) control of water quality off the STP and the output of the irrigation reservoir, b) control of water quality sub surface soil and assessment of progress on soil composition, c) assessment of water quality in the aquifer. For this, we must: 1) establishing the monitoring plan of the STP and its effluent quality sampling points and defining the parameters of analysis, improve the functioning of that identifying the adequacy of flow and screening as the main factors of operational control, and increase the efficiency of the station to a relatively low cost, using additional filters, 2) propose, implement and adapt simple collectors to assess the quality of water percolating into the soil of the irrigated area, 3) determine the direction of groundwater flow in the area study and select the wells for monitoring of the aquifer.

**Key words:** Controlled water reuse; Sanitary and environmental control; Reuse in a building complex corporate enterprise

## Lista de Ilustrações

Figura 1: Bacia sanitária com vazão diferenciada, detalhe .....	10
Figura 2: Dispositivo regulador de vazão .....	10
Figura 3 :Caixa de descarga acoplada ao sanitário .....	11
Figura 4: Torneira de fechamento automático.....	11
Figura 5: Dispositivo arejador.....	12
Figura 6: Torneira hidromecânica.....	12
Figura 7: Cisterna em Tóquio.....	15
Figura 8: Sistema de desvio das primeiras águas proposto por Andrade Neto (2004) . .....	18
Figura 9: Sistemas de desvios propostos por Andrade Neto (2010) .....	18
Figura 10: Sistema piloto desenvolvido por Cardoso et al.para coleta de água de chuva emBelo Horizonte .....	23
Figura 11: Aparelho sanitário separador. ....	27
Figura 12: Sistema de separação das águas amarelas e marrons incorporando o possível tratamento e disposição. ....	28
Figura 13: Mapa da cidade de Natal com o bairro de Cidade da Esperança em destaque .....	68
Figura: 14: Vista Aérea da área de estudo.....	69
Figura 15: Vista aérea da sede da PETROBRAS em destaque.....	69
Figura 16: Planta da sede da PETROBRAS .....	70
Figura 17: Estação de tratamento de esgoto.....	73
Figura 18: Desenhos esquemáticos da estação de tratamento de esgoto.....	73
Figura 19: Entrada do efluente bruto (P1) .....	74

Figura 20: Saída do UASB (P2) .....	74
Figura 21: Saída do reator aeróbio (P3) e do Filtro (P4) .....	74
Figura 22: Ponto de coleta de efluente após a desinfecção (P5) .....	75
Figura 23: Multifunção portátil utilizada para medir os parâmetros em campo.....	76
Figura 24: Tubo Seccionado .....	78
Figura 25: Escavação nas profundidades de 30,60 e 90 cm.....	79
Figura 26: Preenchimento do tubo seccionado com brita .....	79
Figura 27: Colocação da tela em um dos coletores de 30 cm.....	79
Figura 28: Instalação de um dos coletores de 60 cm .....	80
Figura 29: Instalação de um dos coletores de 30 cm .....	80
Figura 30: Conclusão da instalação de um dos conjuntos de coletores .....	80
Figura 31: Bandeja utilizada para aumentar a área de captação dos coletores .....	81
Figura 32 Acoplamento do tubo à bandeja .....	81
Figura 33: Preenchimento da bandeja com brita.....	82
Figura 34: Instalação das bandejas em um dos conjuntos de coletores .....	82
Figura 35: Bloco L. Local Onde foram Instalados os coletores .....	82
Figura 36: Hidrômetro Instalado na estação.....	85
Figura 37: Poço 2 da empresa .....	85
Figura 38: Poço 3 da empresa .....	85
Figura 39: Grande espaço entre as barras do gradeamento.....	86
Figura 40: Tela com malha de 5 mm utilizada no tratamento preliminar .....	87
Figura 41: Instalação da tela no poço .....	87
Figura 42: Poço próximo a estação .....	88

Figura 43: Transbordamento da estação .....	89
Figura 44: Bomba Adotada .....	90
Figura 45: Gráfico mostrando a evolução dos SST no esgoto Bruto.....	90
Figura 46: Evolução dos SST no UASB, Reator Aeróbio, Filtros e no efluente final .	91
Figura 47: Filtro “azud” .....	93
Figura 48: Elementos Filtrantes .....	93
Figura 49: Estação sem os filtros .....	93
Figura 50: Estação com os filtros .....	93
Figura 51: Valores dos SST ao longo do tratamento depois das adaptações.....	95
Figura 52: Valores de DQO ao longo do tratamento depois das adaptações .....	96
Figura 53: Comparação entre os filtros antes e depois da limpeza.....	99
Figura 54: Evolução da DQO no Esgoto Bruto.....	102
Figura 55: Evolução da DQO no UASB,Reator aeróbio e no efluente final.....	102
Figura 56: Evolução do NTK ao longo do tratamento.....	103
Figura 57: Evolução da amônia ao longo do tratamento .....	104
Figura 58: Evolução do nitrato ao longo do tratamento.....	105
Figura 59: Série Nitrogenada no efluente bruto.....	106
Figura 60: Série Nitrogenada UASB.....	107
Figura 61: Série Nitrogenada R.A .....	108
Figura 62: Localização da área de estudo dentro do mapa potenciométrico .....	114
Figura 63: Poços da CAERN no entorno da área de estudo.....	114
Figura 64: Poços ao redor da PETROBRAS no mapa Potenciométrico .....	115

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Tratamento necessário para água de cisterna de acordo com o tipo de uso. ....	19
Tabela 2: Resultados da qualidade de água de chuva em João Pessoa obtidos por Santos (2004).....	20
Tabela 3: Síntese da classificação usada para águas residuárias em edificações. ...	29
Tabela 4 :Concentrações usuais de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos sanitários. ....	32
Tabela 5: Critérios de reúso Califórnia (EUA) . ....	36
Tabela 6: Critérios de qualidade microbacteriológicas recomendadas pela OMS.....	37
Tabela 7: Critérios de reúso no Japão. ....	38
Tabela 8: Critérios de reúso na África do Sul.....	42
Tabela 9: Resultados de filtração para adequação de efluentes ao reúso estudadas no PROSAB. ....	47
Tabela 10: Algumas leis de incentivo ao uso racional de água no Brasil .....	49
Tabela 11: Resultado com troca de torneira e válvula para mictório.....	51
Tabela 12: Resultado com troca de Bacias e Válvulas de descarga.....	51
Tabela 13: Capacidade de produção da Sabesp. ....	54
Tabela 14: Plano Inicial de monitoramento .....	75
Tabela 15: Datas e horários das coletas realizadas.....	77
Tabela 16: Valores lidos no hidrômetro.....	92
Tabela 17: Valores obtidos para Sólidos Suspensos .....	94
Tabela 18: Valores Obtidos para DQO.....	97

Tabela 19: Valores Obtidos para coliformes .....	98
Tabela 20: Resultados Obtidos para Turbidez .....	99
Tabela 21: Resultados do dia 28/12/2010 para Sólidos Suspensos .....	100
Tabela 22: Resultados do dia 28/12/2010 para DQO.....	100
Tabela 23: Resultados obtidos para ovos de helmintos .....	101
Tabela 24: Valores Obtidos para NTK.....	104
Tabela 25: Resultados obtidos para a Amônia.....	105
Tabela 26: Valores Obtidos para o nitrato .....	106
Tabela 27: Série nitrogenada Efluente Bruto .....	107
Tabela 28: Série Nitrogenada UASB.....	108
Tabela 29: Série Nitrogenada R.A.....	109
Tabela 30: Resultados das amostras de solo coletadas na UO RNCE da PETROBRAS em outubro de 2008. ....	110
Tabela 31: Resultado da análise da água coleta a partir dos coletores propostos para o projeto. ....	111
Tabela 32: Resultados da análise da cisterna.....	111
Tabela 33: Resultados das análises do poço 2 .....	111
Tabela 34: Resultados das análises do poço 3 .....	112
Tabela 35: Dados obtidos no georeferenciamento na área de interesse. ....	113
Tabela 36: Dados fornecidos pela CAERN antes de iniciado o reúso em janeiro de 2010.....	116
Tabela 37: Localização dos poços selecionados para monitoramento. ....	116

## Lista de Abreviaturas e Símbolos

A.C	Antes de Cristo
ABCMAC	Associação Brasileira de Captação e Manejo de Chuva
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Água
APHA	American Public Health Association
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CE	Ceará
CF	Coliformes Fecais
CLP	Controlador Lógico Programável
cm <sup>3</sup>	Centímetro Cúbico
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GO	Goiás
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IRPAA	Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada
Km	Quilometro

l .....	Litro
m <sup>3</sup> .....	Metro Cúbico
MCA .....	Metro de coluna de água
MG .....	Minas Gerais
MI .....	Ministério da Integração Nacional
Min .....	Minuto
mm .....	Milímetros
NBR .....	Norma Brasileira
NMP .....	Número mais Provável
NTK .....	Nitrogênio Total Kjeldahl
OMS .....	Organização Mundial da Saúde
PB .....	Paraíba
PE .....	Pernambuco
PE .....	Pernambuco
PETROBRAS .....	Petróleo Brasileiro S.A
pH .....	Potencial Hidrogeniônico
PNCDA ..	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água e Energia Elétrica
PPCP .....	Pharmaceuticals & Personal Care Product Ingredients
PR .....	Paraná
PROSAB .....	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PURA .....	Programa de Uso Racional de Água
RA .....	Reator Aeróbio
RAFA .....	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
RJ .....	Rio de Janeiro
RN .....	Rio Grande do Norte
RS .....	Rio Grande do Sul
S .....	Segundo
Sabesp .....	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SC ..... Santa Catarina  
SE ..... Sergipe  
SEMURB..... Secretária de Meio Ambiente e Urbanismo  
SEPURB..... Secretária de Política Urbana  
Sinduscon..... Sindicato da Construção  
SP ..... São Paulo  
SST ..... Sólidos Suspensos Totais  
STD ..... Sólidos Totais Dissolvidos  
TO ..... Tocantins  
UASB ..... Reator Anaeróbio de Manta de Lodo  
UFES..... Universidade Federal do Espírito Santo  
UFGO ..... Universidade Federal de Goiás  
UO-RNCE..... Unidade Operacional Rio Grande do Norte e Ceará  
USP ..... Universidade de São Paulo  
uT ..... Unidade de Turbidez  
VDR..... Bacias Sanitárias com Volume Reduzido

## 1 – INTRODUÇÃO

A diminuição da oferta de água no mundo é hoje uma realidade incontestável. Diversos fatores contribuíram para esta redução como, por exemplo, o aumento populacional observado nos últimos anos, e por conseqüência, o aumento na demanda por água; a falta de investimento por parte do poder público em obras de saneamento e a conseqüente degradação de mananciais.

Uma das evidências que esta escassez é uma fato real é o número de países onde já foi superado o nível de vida capaz de ser suportado pela água disponível. Países como China, Índia, México, Tailândia, parte do oeste dos EUA, norte da África e áreas do Oriente Médio estão retirando do lençol freático mais água que o ciclo hidrológico consegue repor (FIORI *et al.*, 2006).

Ao contrário do que muitos pensam, o problema da pouca oferta de água não é restrito às regiões de clima árido e semi-árido, mas sim uma questão mais ampla, pois os conflitos referentes à oferta de água existem em várias partes do mundo. A bacia do alto Tietê, por exemplo, que abriga uma população superior a 15 milhões de habitantes e um dos maiores complexos industriais do mundo, dispõe, pela sua condição característica, de manancial de cabeceira, de vazões insuficientes para o atendimento da demanda da Região Metropolitana de São Paulo e municípios circunvizinhos. Esta condição tem levado à busca incessante de recursos hídricos complementares de bacias vizinhas, que trazem como conseqüência direta aumentos consideráveis de custo, além dos evidentes problemas legais e político-institucionais associados (LEITE, 2003).

O Brasil tem uma das maiores reservas de água do mundo. Acontece que a distribuição dessa água ocorre de maneira muito desigual entre as diversas regiões e se concentra em sua maior parte na região norte do país, que detém apenas 7% da população, enquanto o nordeste, que possui 29% da população do país, conta com apenas 3% da reserva de água. Apesar da grande disponibilidade bruta de recursos hídricos no país, diversas regiões se encontram atualmente sob estresse hídrico. Tanto quanto em outras regiões do mundo, a escassez pode ser de origem quantitativa, decorrente de períodos de maior escassez hídrica, ou de origem qualitativa, resultante, por exemplo, de modificações da qualidade da água pela poluição (GONÇALVES *et al.*, 2009).

Diante deste problema, uma alternativa que ganhou grande impulso nos últimos anos foi o reúso de águas. Com a política do reúso, importantes volumes de água potável são poupados, usando-se efluentes tratados para atendimento das finalidades que podem prescindir da potabilidade.

Para amenizar os problemas de escassez de água, alternativas tecnológicas, econômicas e comportamentais devem ser implementadas nos três níveis de gestão dos recursos hídricos: nível macro (bacias hidrográficas), meso (concessionárias - sistemas públicos) e nível micro (sistemas prediais) (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Para a otimização do uso da água em domicílios existem diversas alternativas (OLIVEIRA *et al.*, 2010):

- Conceito de desperdício de água e de suas causas e também de métodos de detecção de vazamentos;
- Sistemas e componentes economizadores de água aplicáveis a edificações e, em particular, a habitações de interesse social, tais como: sistema de aproveitamento de água de chuva, sistema de descarga de 6 litros e com sistema dual de descarga (3 e 6 litros) e outros;
- Procedimentos que otimizam o uso da água em edificações
- Alternativas tecnológicas mais adequadas às características operacionais e construtivas dos sistemas hidráulicos dessa tipologia de edifício, ou sejam: baixa pressão hidráulica, custo reduzido, facilidade de operação e manutenção.

Várias ações de conservação de água apresentam grande potencial para a redução de consumo em domicílios. Algumas delas são aplicáveis a quaisquer sistemas, enquanto outras são recomendadas somente para sistemas específicos. Daí a importância do planejamento de ações, com o objetivo de reduzir volumes utilizados e desperdícios de água, que para maior impacto de redução, deve considerar as características socioculturais, econômicas e ambientais dos usuários, além das características físicas e funcionais do edifício (OLIVEIRA, 2010)

Inúmeros encontros internacionais têm tratado da questão do direito ao acesso da água potável e da sustentabilidade dos recursos hídricos. Uma das primeiras conferências a abordar esse assunto foi a Conferência de Mar Del Plata em 1977, quando foi discutido o acesso à água potável em quantidade e qualidade para suprir as necessidades básicas humanas. Em 1992, na Conferência das Nações Unidas

sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, é ratificado o conceito de Desenvolvimento Sustentável, que, em essência, refere-se à exploração dos recursos de forma a atender as gerações atuais e futuras.

Apesar da gestão de recursos hídricos ser tratada desde a década de 70, o gerenciamento das águas em edificações é um tema relativamente novo. Somente no começo dos anos 90, o Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada - IRPAA, outras organizações não-governamentais, organizações de base e comunidades começaram a construir cisternas e perceberam que havia a necessidade de implementar programas educacionais estruturados para incentivar a convivência com o clima semi-árido e um manejo adequado da água. Nos anos seguintes, a Embrapa e o IRPAA organizaram vários Simpósios Brasileiros de Captação de Água de Chuva, os quais deram um grande impulso à utilização da tecnologia. O primeiro simpósio foi realizado em 1997, em Petrolina - PE e teve como tema: "Captação de Água de Chuva: a base para a viabilidade do semi-árido", contando com as experiências de várias organizações governamentais e não-governamentais do Nordeste. Gerenciados pela ABCMAC (Associação Brasileira de captação e manejo de água de chuva), os trabalhos apresentados e discutidos nestes Simpósios forneceram uma visão geral sobre o estado atual dos sistemas de captação de água de chuva em nível nacional e internacional. Há também um esforço da associação, iniciado com os primeiros seminários, para promover cursos de formação técnicos na utilização de água de chuva e implementar um trabalho contínuo de pesquisa e assessoria a entidades que planejam e executam programas de captação.

A grande contribuição para a gestão das águas, englobando não somente a utilização da água de chuva, mas de águas residuárias e a implementação de dispositivos economizadores, começou a acontecer em 2005. Nesse ano, a ANA (Agência Nacional das Águas) e o SINDUSCOM (Sindicato da construção de São Paulo) elaboraram um manual intitulado: "*Conservação e Reúso de Água em Edificações*" o qual reúne o conhecimento de vários autores das universidades USP e UNICAMP sobre o tema. No manual foram abordados, além de conhecimentos sobre um programa de conservação de água, informações técnicas de instalações em edificações.

Sobre a racionalização da água nas edificações, a ANA também promoveu, no mesmo ano do manual, uma série de cursos de capacitação, dentre eles destaca-se o congresso de Aracaju/SE, no mês de outubro, que abordou fatores relacionados com as políticas públicas, normas e requisitos legais que envolvem a gestão de recursos hídricos e a conservação da água em edifícios.

O PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico FINEP/CNPQ), em 2006, publicou um dos produtos da Rede de Pesquisas sobre o tema “Tecnologias de Segregação e Tratamento de Esgotos Domésticos na Origem Visando a Redução do Consumo de Água e da Infra-Estrutura de Coleta, Especialmente nas Periferias Urbanas”, dentro do Edital 04, coordenado pelo Prof. Ricardo Franci Gonçalves, da Universidade Federal do Espírito Santo. O livro intitulado: “*Uso racional da água em Edificações*”, envolvendo quatro grupos de pesquisa (UFES, UFSC, UNICAMP e IPT) e diversos pesquisadores, expõe uma abordagem bastante completa sobre o gerenciamento de águas em edificações. A abordagem sobre as águas residuárias merece destaque porque esmiúça as principais características das águas cinzas, amarelas e marrons, levantando seus principais usos, a necessidade do tratamento e o dimensionamento do sistema hidráulico.

De maneira geral, o tema tem sido mencionado em diversos congressos. Os pesquisadores têm atentado para uso de técnicas de conservação de água dentro de edificações, principalmente para demonstrar à sociedade respostas para a escassez do recurso. Escassez essa, gerada não pela falta de quantidade, mas sim por problemas na qualidade. O público leigo, impulsionado pelo constante apelo da mídia às questões ambientais, tem adquirido uma consciência ambiental mesmo que de forma tardia. As empresas do ramo da construção, utilizando, de forma estratégica o marketing “ambiental”, buscam atrair esse público mais consciente e obter uma maior venda dos condomínios que possuem técnicas de reúso, aproveitamento das águas de chuva, e outras ações ligadas à conservação da água.

Diante disso, um projeto de reúso de água está dentro do contexto das pesquisas realizadas visando um uso mais racional da água.

A pesquisa desenvolveu-se na Unidade Operacional Rio Grande do Norte e Ceará (UO RNCE) da PETROBRAS, localizada no bairro Cidade da Esperança na cidade de Natal/RN. O projeto consistiu no uso de efluente de uma estação compacta, já existente, na sede da empresa, diluída com água de poços também já

existentes no local. A direção nacional da PETROBRAS concedeu um certificado de uso racional de água e energia à UO RNCE pela implantação desse projeto. A área do terreno é de aproximadamente 3 hectares e a estimativa de água necessária para irrigação é de 300 m<sup>3</sup>/dia. O objetivo desse trabalho foi elaborar uma metodologia capaz de assegurar controle sanitário e ambiental a esse projeto de reúso de água. Para tanto, foram propostos três instrumentos de controle sanitário e ambiental:

- Adequação da estação de tratamento de esgotos e controle da qualidade do efluente tratado
- Análise da interação nitrogênio -solo da área onde seria efetuado o reúso
- Conhecimento da hidrogeologia do local, principalmente no que diz respeito à direção do fluxo subterrâneo e localização dos poços da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) situados no entorno da área do projeto

Os níveis de controle propostos e estudados foram:

- Qualidade da água na saída da ETE
- Qualidade da água no solo subsuperficialmente nas profundidades de 30,60 e 90 cm, em relação ao solo.
- Qualidade da água no aquífero.

## **2 - HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1- Hipótese**

É possível garantir segurança sanitária e ambiental em um programa de reúso de água a partir de poucos instrumentos de controle.

### **2.2 - Objetivos**

- Implementar estrutura física e procedimentos operacionais que assegurem condições de controle sanitário e ambiental ao programa de uso racional e reúso de águas na sede da UO RNCE da PETROBRAS
- Estabelecer metodologia que garanta eficiente controle sanitário e ambiental para um projeto de reúso de águas e que possa embasar futuros projetos semelhantes.
- Avaliar a qualidade da água de reúso na saída do reservatório de irrigação (cisterna), no solo, e no aquífero.
- Avaliar a eficiência a ETE da UO RNCE da PETROBRAS e adequá-la aos critérios de reúso.

### **3 - REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1 – Instrumentos Utilizados para Uso Racional de Água**

##### **3.1.1 – Hidrometrização e Medição individualizada**

Para combater o desperdício de água no Brasil, o Ministério das Cidades, em conjunto com o Ministério de Minas e Energia, criaram o Programa Nacional de combate ao desperdício de água e energia elétrica (PNCDA), posto que a segunda maior despesa de uma prestadora de serviço de saneamento é com energia elétrica. Uma das medidas recomendadas pelo PNCDA é a hidrometrização. (Eustáquio e Santos, 2008).

A medição individual, como o próprio nome induz, consiste na instalação de um hidrômetro para cada apartamento, bem como para o uso comum do condomínio. Se o edifício possuir instalação central de água quente, cada unidade deverá possuir, também, um hidrômetro exclusivo para água quente. Dessa forma, as contas serão emitidas para cada morador, de forma individual.

Basicamente, existem duas formas de medição individual: a medição individual convencional e a medição individual remota.

A medição convencional consiste na utilização de hidrômetros comuns, obviamente instalados de forma individual, onde um funcionário do condomínio fica responsável por fazer a leitura de cada hidrômetro. Pesa contra este tipo de medição individual a maior probabilidade de erro, na leitura ou digitação, quando da coleta dos dados em relação ao sistema de medição remota. A favor pesa o custo de aquisição do sistema que é bem menor quando comparado com a medição remota.

A medição remota faz uso de hidrômetros especiais, onde dispositivos eletrônicos enviam sinais a uma central, normalmente localizada na portaria ou na sala de administração do condomínio. A principal vantagem deste sistema é a impossibilidade de erros por ação humana, como leitura e digitação, por outro lado seu custo é bem maior do que o do sistema de medição individualizada convencional.

A medição individualizada de água é um dos instrumentos no combate ao desperdício de água, pois “força” os condôminos a um uso mais racional da água. Entre os seus principais objetivos podem-se destacar: a economia de água em função da diminuição do desperdício; a economia no consumo de energia elétrica, já que o volume de água bombeado será menor; a cobrança pelo efetivo consumo e maior agilidade na percepção de problemas na instalação hidráulica.

Segundo Menezes (2006), várias cidades em vários estados do Brasil já instituíram leis obrigando o uso da medição individual de água como forma de combate ao desperdício, entre as quais citam-se :

- Recife/PE : Lei municipal N° 16759/2002, de 17 de abril de 2002
- Piracicaba/SP: Lei complementar N° 169, de 17 de novembro de 2004
- Goiânia/GO: Projeto de lei N° 86, e 03 de junho de 2003.
- São Paulo/SP: Lei N° 14018, de 28 de junho de 2005 institui o programa municipal de conservação e uso racional da água em edificações.
- Distrito Federal: Lei Distrital 3557, de 18 de janeiro de 2005.

A cidade do Natal instituiu a medição individual com a promulgação da Lei N° 238/06 de 20 de fevereiro de 2006. De acordo com o art.6° dessa Lei, o não cumprimento da mesma impedirá a concessão do “habite-se” por parte do órgão municipal competente. A certidão do “habite-se” é um documento que atesta que o imóvel foi construído seguindo-se as exigências (legislação local) estabelecidas pela prefeitura para a aprovação de projetos. De acordo com o art.2° da mesma lei, a medição global do consumo deverá continuar ocorrendo normalmente em paralelo com a individualizada, com a emissão de contas individuais por unidade de consumo e para o condomínio. Para os imóveis antigos, a adoção da medição individualizada é opcional (art.4°). Porém, a partir da vigência da lei, qualquer projeto de reforma das instalações hidráulicas dos edifícios, referenciados na lei, deverão obedecer as determinações nela contida (art. 5°) (EUSTÁQUIO e SANTOS, 2008).

A principal vantagem da medição individualizada é a justiça na cobrança da água, pois cada usuário paga pela quantidade que realmente usou. Conseqüentemente, o usuário percebe a necessidade de usar a água de forma mais racional, o que não acontece no sistema de medição global, pois quem gasta mais

acaba pagando o mesmo valor de quem economiza. Assim, também é estimulada a adoção de medidas de racionalização da água, como a utilização de aeradores e limitadores de vazão nas torneiras e chuveiros.

A medição individualizada também propicia mais atenção aos aspectos de manutenção das instalações hidráulicas, pois, em caso de problemas como vazamento, ou caixa de descarga mal regulada, por exemplo, causaria um aumento da conta mensal individual, provocando o conserto do vazamento de forma imediata. O sistema de medição global praticamente impossibilita a detecção de vazamentos, a não ser que o vazamento seja visível ou muito grande.

Menezes (2006) divulgou estudos realizados em diversos apartamentos residenciais na cidade do Recife/PE, onde foi constatada uma redução, em média, de 30% no consumo de água em edifícios que tiveram seus sistemas de medição substituídos do coletivo para o individualizado.

### **3.1.2 – Dispositivos Economizadores de Água**

Na aplicação de um Programa de Uso Racional da Água (PURA) devem ser contempladas ações tecnológicas poupadoras de água, tanto nos sistemas prediais como também em outras ações intervenientes nos sistemas hidráulicos. Quando definida a metodologia a ser usada, deve-se escolher a que atenda melhor as condições do prédio, avaliando qual projeto é mais viável e de melhor desempenho nas unidades integradas, definindo um único padrão, para que seja aplicada em larga escala (Fiori *et al.*, 2006).

Já existem no mercado, vários dispositivos, equipamentos e componentes hidráulicos que ajudam o usuário no uso racional da água. Tais dispositivos, além de ajudar na economia de água, também representam uma boa economia, em dinheiro, na conta de água no final do mês. Desta forma, estes dispositivos justificam o investimento em sua aquisição. Entre os dispositivos economizadores de água, pode-se destacar: registros reguladores de vazão, bacias sanitárias com volume reduzido, bacias com vazões diferenciadas e torneira com fechamento automático, arejadores, entre outros (Eustáquio & SANTOS, 2008).

#### **Bacias sanitárias com vazões diferenciadas**

Este dispositivo permite a utilização de vazões diferenciadas de acordo com o resíduo para arraste. O volume para arraste de resíduos líquidos é de 3 litros,

enquanto para resíduos sólidos é de 6 litros. O mecanismo é acionado pelo usuário através de um botão (Figura 1).



Fonte: [www.deca.com.br](http://www.deca.com.br)

Figura 1: Bacia sanitária com vazão diferenciada, detalhe

### **Registros reguladores de vazão**

Este dispositivo limita a vazão nos pontos de consumo, independente da rede, pressão e nível de cobertura. É utilizado, principalmente, em torneiras e bidês. O restritor/regulador de vazão limita a quantidade de água das torneiras ou chuveiros e deve ser instalado de acordo com cada modelo, podendo gerar economia de até 35%. Na Figura 2, mostra-se um dispositivo regulador de vazão.



Fonte: [www.deca.com.br](http://www.deca.com.br)

Figura 2: Dispositivo Regulador de Vazão

### **Bacias sanitárias com volume reduzido (VDR)**

Consiste em uma caixa de descarga acoplada à bacia sanitária. São projetadas para utilizarem apenas 6 litros de água por descarga. A economia fica clara na comparação com as antigas válvulas de descarga que gastam entre 10 e 30 litros de água ao ser acionada (Figura 3).



Fonte: [www.deca.com.br](http://www.deca.com.br)

Figura 3: Caixa de descarga acoplada ao sanitário

### **Torneiras com fechamento automático**

Este dispositivo é muito comum em edifícios comerciais. É um equipamento que causa uma economia considerável de água, pois evita que as torneiras fiquem abertas de forma desnecessária por muito tempo (Figura 4).



Fonte: [www.docol.com.br](http://www.docol.com.br)

Figura 4: Torneira de fechamento automático

### **Arejadores**

Dispositivo regulador e abrandador do fluxo de água usualmente montado na extremidade de torneiras, destinado a promover o fluxo de água, evitando as dispersões laterais e amortecendo o impacto do jato de água contra as partes que

estão sendo lavadas (Figura 5). Os arejadores incorporam uma quantidade considerável de ar ao fluxo de água reduzindo o volume de água utilizado. É possível também um arejador de volume constante que, além das características de um arejador comum possui, um dispositivo que limita a vazão das torneiras em 6 litros por minuto.



Fonte: [www.docol.com.br](http://www.docol.com.br)

Figura 5: Dispositivo arejador.

### **Torneira hidromecânica**

É um produto de fácil instalação e pode ser usada em qualquer ambiente, principalmente em lugares de grande circulação de pessoas. A redução no consumo de água é da ordem de 77%, pois possui um restritor de fluxo de água e um arejador que mistura ar a água (Figura 6).



Fonte: [www.docol.com.br](http://www.docol.com.br)

Figura 6: Torneiro hidromecânica

## **3.2 – Fontes Alternativas de Água**

O uso racional da água dentro do cenário das habitações é muitas vezes dividido em duas frentes com relação à tipologia das ações de economia: elas podem ser de uso racional de água propriamente dito e a utilização de fontes alternativas. Partindo

do conceito de que a busca por fontes alternativas de abastecimento do recurso é atualmente cada vez mais difundida e todos os paradigmas da sua utilização cada vez mais estão sendo revisados, considerar-se-á desde então, que a utilização de novas fontes doadoras de água faz parte de um conjunto global de atitudes que visam o uso racional do recurso em edificações. A utilização destas fontes consta de usar fontes alternativas àquelas normalmente disponibilizadas às habitações, ou seja, parte das primícias que a fonte principal refere-se ao sistema público de abastecimento de água. Destacam-se como fontes alternativas: a água da chuva, as águas cinza, as água amarelas, as água marrons e as águas negras, a água subterrânea, a água mineral envasada e a água distribuída em caminhões pipa.

### **3.2.1- Água Pluvial**

Segundo May (2004), a captação e a utilização da água de chuva é uma prática bastante antiga. Há registros históricos de reservatórios escavados em rochas de 3000 a.C.. Uma das inscrições mais antigas do mundo é a pedra moabita encontrada no oriente médio, datada de 850 a.C. Nela, o rei Moabitas, sugere que seja feito um reservatório em cada casa para aproveitar a água de chuva.

O uso de cisternas para captação e armazenamento de água de chuva para consumo doméstico é uma prática milenar em várias regiões do mundo e atualmente tem merecido maior interesse e ampla aplicação. Está cada vez mais evidente que cisterna não é uma tecnologia “atrasada”, “de país pobre”, “pra coisa pequena”. Ao contrário, apesar de milenar continua moderna, quando incorpora novos conceitos, materiais, técnicas construtivas, segurança sanitária e melhor aproveitamento. Ademais, é uma tecnologia ecologicamente sustentável e de aplicação difusa, socialmente justa (ANDRADE NETO, 2010).

Na atualidade, a utilização da água de chuva é desenvolvida em países como Alemanha, Japão, China, Índia, EUA e muitos outros. Em alguns desses países, a captação objetivava a retenção parcial para controle de cheias e inundações ou o auxílio ao sistema de abastecimento. Posteriormente, o uso foi sendo destinado a outros fins. Em muitas cidades do Japão, por exemplo, a maioria das estruturas de grande porte possui superfícies de captação de chuva e a água captada é usada em descarga de sanitários, em sistemas de ar condicionados, além de ser utilizada no paisagismo urbano.

Um dos países que mais utiliza sistemas de aproveitamento de água pluvial e promove estudos e pesquisas nessa área, é o Japão. Como exemplo, tem-se o caso de Tóquio, onde regulamentos do governo metropolitano obrigam que todos os prédios com área construída maior que 30.000 m<sup>2</sup> ou que utilize mais de 100 m<sup>3</sup> por dia de água para fins não potáveis, façam reciclagem da água de chuva e de água servida (água de lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar roupas). Além disso, a fim de evitar enchentes, devem ser construídos reservatórios de retenção de água de chuva em áreas de terrenos maiores de 10.000 m<sup>2</sup> ou em edifícios que tenham mais que 3.000 m<sup>2</sup> de área construída Tomaz (2003) Apud Marinoski (2007).

Segundo May (2004), o governo japonês implantou um programa de coleta e aproveitamento de água de chuva em 16 cidades do país, onde é fornecida ajuda financeira para usuários que queiram construir um sistema de reservatório de água de chuva ou sistema de valas de infiltração de água de chuva.

Ainda no Japão, a coleta da água da chuva e o seu aproveitamento são praticados em estádios para a descarga de vasos sanitários e a rega de plantas. Os Estádios de Tóquio, Nagoya e Fukuoka são exemplos dessa prática, com áreas de captação de 16.000, 25.900 e 35.000 m<sup>2</sup> e reservatórios de armazenamento de 1.000, 1.800 e 1.500 m<sup>3</sup>, respectivamente (ZAIZEN *et al.*, 1999) apud Anecchini (2005).

Segundo Andrade Neto (2010), muito provavelmente o maior sistema para captação de chuva do mundo está localizado em Tóquio. A obra se destina a captar, transportar e estocar águas pluviais. A obra visa principalmente evitar inundações, transbordamentos de rios, e ao mesmo tempo servir de fonte de água potável e servida a população, após tratamento, como mostra a Figura 7.



Fonte: [www.aguadechuva.com](http://www.aguadechuva.com), apud Andrade Neto (2010)

Figura 7: Cisterna em Tóquio.

Basicamente, o sistema de aproveitamento da água de chuvas consiste na captação, armazenamento e utilização de água captada. A captação geralmente acontece com o auxílio de telhados e as calhas condutoras podem conduzir a água inicialmente até um reservatório considerado de descarte das primeiras águas, o qual servirá para retirar os primeiros milímetros da chuva que contêm a maior concentração de sujeiras, sejam elas oriundas do telhado ou da atmosfera.

A qualidade da água de chuva é afetada pelos seguintes fatores (OLIVEIRA, 2010):

- Localização, regime de chuvas, condições climáticas da região, zona urbana ou rural;
- Características da bacia, densidade demográfica, área impermeabilizada, declividade, tipo e intensidade de tráfego.
- Superfície drenada e material constituinte
- Lavagem da superfície drenada, frequência e qualidade da água drenada.

A água das nuvens é naturalmente evaporada das águas superficiais de lagos, rios e mares, deixando os sais, as partículas e os microrganismos. A água das chuvas é água das nuvens precipitada e, por isso, é geralmente excelente para vários usos, inclusive para beber, exceto em locais com forte poluição atmosférica, densamente povoados ou industrializados. Em áreas rurais e em pequenas cidades,

e também em muitas cidades de médio porte e bairros de grandes cidades, os níveis de poluição e contaminação da atmosfera são baixos e não atingem concentrações capazes de comprometer significativamente a qualidade da água das chuvas. Ademais, o primeiro milímetro de chuva é geralmente suficiente para “lavar” a atmosfera, e a qualidade da água do restante da chuva é muito melhor (ANDRADE NETO, 2010).

A literatura ressalta que a maioria das impurezas presentes na chuva está concentrada nos primeiros mililitros. Melo e Andrade Neto (2007) demonstraram através de um amostrador automático que a maioria das impurezas presente na água de chuva se concentra nos primeiros 2 mm. Em verdade, o amostrador coletou água sem nenhuma superfície coletora, realidade não muito utilizada em edificações, porém quando se levar em consideração as superfícies utilizadas - telhado em sua maioria - pois é mais simples e quase sempre produz uma água de boa qualidade, pode-se aumentar esta quantidade em poucos mililitros, e obter uma boa margem de segurança, garantindo, assim, a qualidade da água para usos importantes.

Gonçalves *et al.* (2006) citam o manual da ANA/FIESP & SindusCon-SP, em que descreve a metodologia básica para projeto de sistemas de coleta, tratamento e uso de água de chuva. O sistema envolve as seguintes etapas:

1. Determinação da precipitação média local (mm/mês): Na maioria das vezes, a quantificação da disponibilidade de água de chuva é feita com base em uma série histórica da região de interesse.
2. Determinação da área de coleta: Dentre as possibilidades de coleta de água da chuva, as técnicas mais comuns e utilizadas são através da superfície dos telhados ou das superfícies no solo. O sistema de coleta de chuva através dos telhados é mais simples e quase sempre produz uma água de melhor qualidade.
3. Determinação do coeficiente de escoamento: Depende do material da superfície de coleta. Tal coeficiente é encontrado com muita facilidade na literatura.
4. Projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações, etc.),
5. Projeto do reservatório de descarte: Segundo Tomaz (2003), apud Gonçalves *et al.*(2006), no dimensionamento do sistema de descarte utiliza-se uma regra

prática. Por exemplo, na Flórida, para cada 100 m<sup>2</sup> de área de telhado, descartam-se 40 litros, ou seja 0,4 l/m<sup>2</sup>. Dacach (1990) apud May (2004) considera que o reservatório de auto limpeza deve ter de 0,8 a 1,5 l/m<sup>2</sup> de telhado, entretanto, no Brasil, mais especificamente na região de Guarulhos, usa-se 1l/m<sup>2</sup>.

6. Escolha do sistema de tratamento necessário: Segundo Gonçalves *et al.* (2006), após o descarte das primeiras águas da chuva, algumas substâncias ainda permanecem na água de chuva, onde, em alguns casos, faz-se necessário a utilização de dispositivos para a sua remoção. De acordo com o manual da ANA/FIESP & SindusCon (2005), apud Gonçalves (2006), considerando os usos não potáveis mais comuns em edifícios, são empregados sistemas de tratamento compostos de unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro ou radiação ultra-violeta. Eventualmente, podem se utilizar sistemas mais complexos que proporcionem níveis de qualidade mais elevados.
7. Projeto da cisterna: O principal fator desta etapa diz respeito ao volume do reservatório. Tomaz (2001) apud Chaves (2007) diz que apesar de haver muitas formas e métodos de calcular o volume do reservatório, aconselha o método de Rippl. Gonçalves *et al.* (2006) propõem a seguinte expressão para cálculo do volume do reservatório:

$V_{res} = Q_{NP} * DS$ , onde:

$V_{res}$ : Volume do reservatório (L)

$Q_{NP}$ : Somatório das demandas não potáveis.

$DS$  : Maior número de dias sem chuvas na região.

8. Caracterização da qualidade da água pluvial: Segundo Gonçalves *et al.* (2006), a qualidade da água da chuva deve ser considerada nos três momentos distintos de um sistema de aproveitamento de água de chuva, qual seja: A chuva atmosférica, a chuva após a passagem pela superfície de captação e na cisterna ou reservatório.
9. Identificação dos usos da água (demanda e qualidade).

Segundo Andrade Neto (2010), embora outras medidas de proteção sanitária de cisternas sejam também importantes, sem dúvida os dispositivos automáticos que

desviam as primeiras águas de cada chuva para descartar as águas que lavam a atmosfera e a superfície de captação constituem a barreira física mais eficiente. Mas o descarte do primeiro milímetro (um e meio, dois ou três, dependendo do risco) de cada chuva não deve ser confundido com a prática de descartar as águas da primeira chuva do período chuvoso, que também é aconselhável, porque carregam sujeira acumulada por muito tempo e para excluí-la o desvio de apenas um milímetro de chuva não é suficiente. O mesmo autor ainda propõe alguns sistemas de descartes das primeiras águas (Figuras 8 e 9):

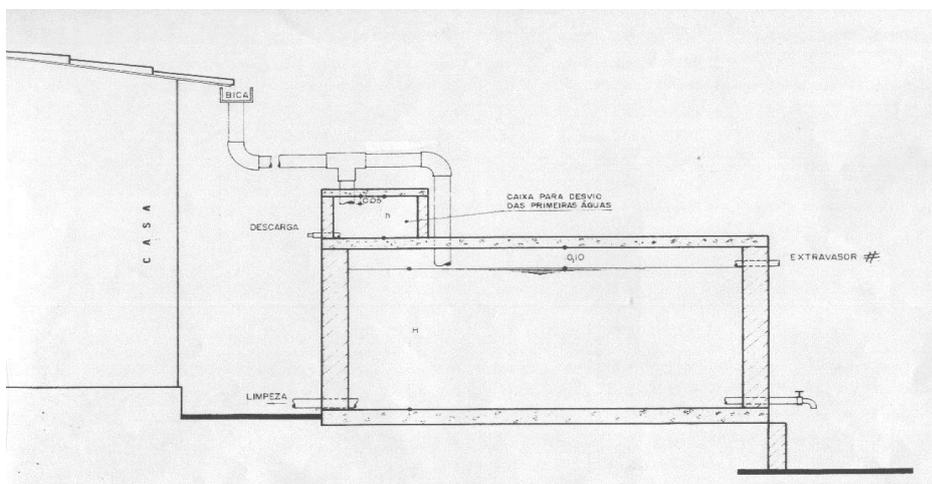


Figura 8: Sistema de desvio das primeiras águas proposto por Andrade Neto (2004).

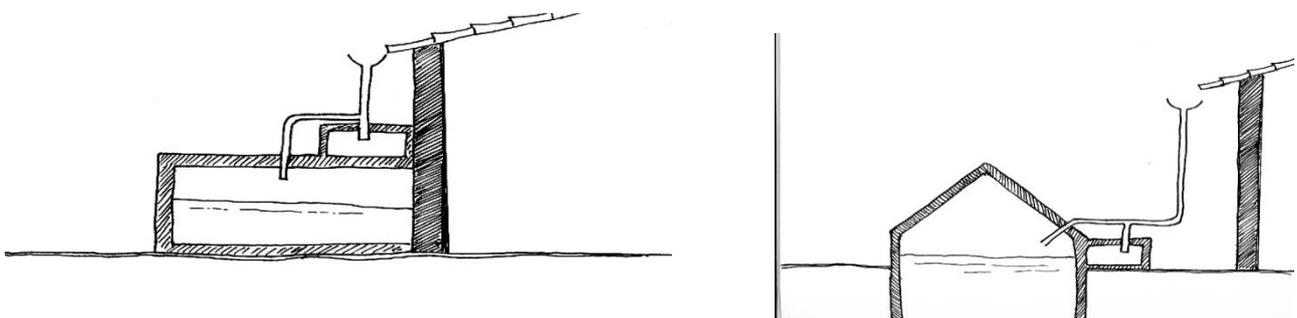


Figura 9: Sistemas de desvios propostos por Andrade Neto (2010)

É importante destacar a necessidade da identificação inicial do uso que será dado à água captada. Determinado o uso, é possível estabelecer o dimensionamento de alguns equipamentos hidráulicos e a necessidade ou não de

algum tipo de pré-tratamento (filtração e desinfecção). Pode-se utilizar como referência para o dimensionamento desses componentes a NBR 10.844/89, Instalações Prediais de Águas Pluviais da ABNT. .

Considerando que os usos não potáveis são os mais comuns em edifícios, são empregados sistemas de tratamento compostos de unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro ou com radiação ultravioleta sempre dependendo da tecnologia local, custos e principalmente o tipo de uso preponderante. Group Raindrops apud Gonçalves *et al.* (2006) enunciou as diferentes qualidades da água de chuva para as diferentes aplicações, como mostrado na Tabela 1

Tabela 1: Tratamento necessário para água de cisterna de acordo com o tipo de USO.

Uso requerido pela água	Tratamento necessário
Irrigação de jardins	Nenhum tratamento
Prevenção de incêndio , condicionamento de ar	Cuidados para manter o equipamento de estocagem e distribuição em condições de uso
Fontes e lagoas, descargas de banheiros lavagem de roupas e lavagem de carros	Tratamento higiênico, devido o possível contato do corpo humano com a água
Consumo humano e no preparo de alimentos	Desinfecção para a água ser consumida direta ou indiretamente.

Fonte: Raindrops (2001) apud Gonçalves *et al.*, 2006

O aproveitamento de água pluvial pode ser para diferentes usos, dentre eles os mais usuais buscando a racionalização em edificações podem ser: descarga de sanitários, sistemas de ar-condicionado, sistema de combate de incêndios, irrigação de jardins, lavagem de veículos, garagens e quintais; todos funcionando como fonte complementar ao abastecimento público.

Herrman e Schmida (2001), apud Gonçalves *et al.* (2006), destacam quatro sistemas diferentes para aproveitamento de água de chuva:

1. Sistema de fluxo total: Toda a chuva coletada pela superfície é dirigida ao reservatório de armazenamento, passando antes por um filtro ou uma tela;
2. Sistema com derivação: Neste caso, uma derivação é instalada na tubulação vertical, com o objetivo de descartar as primeiras águas direcionando-as ao sistema de drenagem
3. Sistema com volume adicional de retenção: O reservatório de armazenamento é capaz de armazenar um volume adicional, garantindo o

suprimento de demanda e a retenção de água com o objetivo de evitar inundações.

4. Sistema com infiltração no solo: O volume de água que extravassa do reservatório é direcionado a um sistema de infiltração no solo.

Santos *et al.* (2004), estudaram a viabilidade do uso de água de chuva em um condomínio horizontal na cidade de João Pessoa/PB, com área de 337.000 m<sup>2</sup>. Os autores aplicaram questionários no condomínio e verificaram o grande desperdício de água devido, principalmente, ao mau uso da água, como também da falta de mecanismos economizadores, e constataram até a falta de conhecimento destes dispositivos por grande parte dos moradores. Para análise da qualidade da água de chuva, utilizaram garrafas plásticas de 1,5 L e coletaram a água de dois pontos distintos: A partir do telhado de uma das residências e outra no jardim para coleta da precipitação livre, foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, turbidez, cor, condutividade, cor, dureza, cloretos, alcalinidade, STD, nitrito, nitrato, amônia, sulfatos. E os seguintes parâmetros biológicos: coliformes totais e coliformes termotolerantes. Os resultados obtidos pelo autor constam na Tabela 2.

Tabela 2: Qualidade de água de chuva em João Pessoa

Parâmetros	Unidade	Telhado	Jardim (Precipitação livre)	Torneira (Poço)	Portaria Nº 518/04 MS (VMP)	Resolução CONAMA Nº 357/05 (Classe 01)
pH	-	6,72	5,24	6,80	6,00- 9,00	6,00-9,00
Condutividade	mS/cm	25,0	24	57,50	-	-
Turbidez	UT	0,81	0,34	0,62	5,00	100 UT
Cor	uH	0,00	0,00	0,00	15,00	75
Dureza	mg/L	21,4	20,10	72,10	500	-
Cloretos	mg/L	10,5	17,20	9,30	250	250
Alcalinidade	mg/L	13,4	6,50	15,30	-	-
STD	mg/L	13,9	12,10	27,30	-	-
Nitrito	mg/L	0	0,10	0,00	-	1,00
Nitrato	mg/L	0	0,00	0,00	-	10,00
Amônia	mg/L	0	0,00	0,00	1,50	3,70
Sulfato	mg/L	ND	ND	ND	250,00	250,00
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	0.00	0,00	0,00	Ausência	Max 2000
C. Totais	NMP/100mL	9,3 x 10 <sup>1</sup>	9,0 x 10 <sup>0</sup>	4,6 x 10 <sup>2</sup>		-

Fonte: Santos *et al.* (2004)

Além desta etapa de verificação da qualidade da água de chuva, outra etapa da pesquisa realizada por Santos *et al.* (2004), consistiu em verificar a aceitabilidade desta água pelos condôminos. Para tanto, os autores elaboraram um questionário. Por fim, o estudo alcançou os seguintes resultados:

- A qualidade aceitável da água de chuva analisada em laboratório para uso com fins não potáveis como ( lavagens de carros, e calçadas, jardinagens e descarga de vasos sanitários, entre outros.);
- Necessidade do armazenamento de água durante os meses mais quentes, onde se registra o maior consumo e menor precipitação do ano.
- Alto consumo de água potável para fins não potáveis;
- Frequente falta de água nas residências, surgindo a necessidade da construção de caixas d'águas ou cisternas
- Aceitação dos condôminos em relação ao uso de água de chuva para fins não potáveis.

Júlio *et al.* (2009) desenvolveram um estudo de caso em um hotel na cidade de Ponta Grossa/PR. Essa pesquisa consistiu na implantação de um sistema de coleta, armazenamento, tratamento e aproveitamento da água de chuva, além de um sistema visando o reaproveitamento da água da lavanderia do hotel. Como o hotel possuía uma série histórica do consumo de água da lavanderia, não foi difícil estimar a quantidade de efluente da lavanderia que poderia ser utilizado: 4,7 m<sup>3</sup>/dia . Para verificar a qualidade do efluente da lavanderia foram feitas análises dos seguintes parâmetros:DBO, DQO,fósforo total,nitrato,nitrito, nitrogênio amoniacal,sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, óleos e graxas,pH,cor e turbidez. Foi então elaborado um esquema de automação através de chave-bóia e sensores de fluxo para que fosse priorizado o tratamento de água de chuva, que é menos oneroso. Os reservatórios foram dimensionados de tal maneira que aproveitassem ao máximo a água de chuva (sem a ocorrência de *overflow* em muitos meses) e que suprisse toda a demanda dos vasos sanitários (cerca de 6 m<sup>3</sup>/dia) sem a utilização de água potável, somente de água chuva e caso fosse necessário o reúso da água da lavanderia.

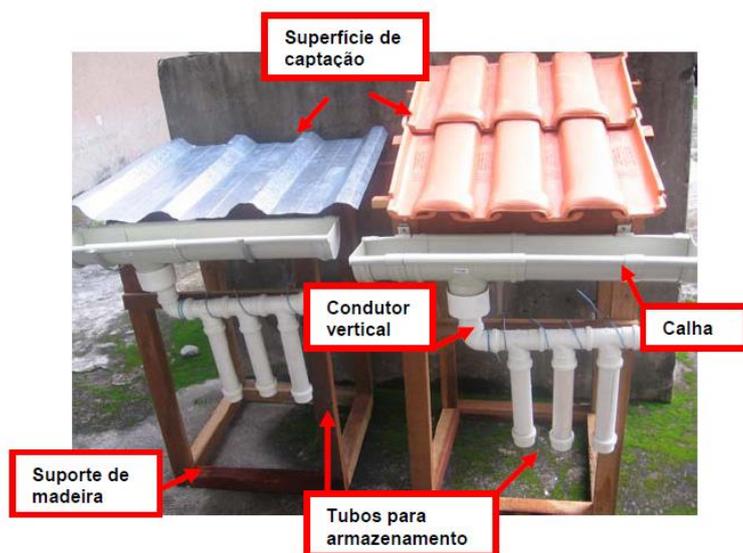
Schatzmann (2009) desenvolveu um estudo verificando o melhor ponto de coleta de água de chuva no Campus Barigui da Universidade Tuiuti do Paraná, em

Curitiba/PR. Este trabalho visava verificar qual o melhor local dentro da universidade para coletar água de chuva tanto do ponto qualitativo como também quantitativo. A estrutura da universidade é formada por cinco blocos

- Bloco A : 4 andares e área de 1482 m<sup>2</sup>
- Bloco B: 4 andares e área de 1480 m<sup>2</sup>
- Bloco C : 5 Andares e área de 2553 m<sup>2</sup>
- Bloco D: 4 Andares e área de 805 m<sup>2</sup>

O estudo constatou a viabilidade, do ponto de vista quantitativo, da captação da água de chuva no campus da universidade e que os telhados metálicos dos blocos A,B,C,D são os melhores locais para captação.

Cardoso *et al.* (2009), com a finalidade de avaliar a qualidade da água de chuva em duas regiões distintas da cidade de Belo Horizonte/MG, instalaram dois sistemas pilotos (Figura 10) em duas áreas distintas da cidade: uma no centro e outra na Pampulha. Como é sabido, um dos principais fatores que interferem na qualidade da água da chuva é a questão da poluição da atmosfera, o que justificou a escolha desses dois lugares, uma vez que segundo, os autores, “a região central (Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais) está muito exposta à poluição advinda dos automóveis,ônibus e caminhões. Já a região da Pampulha está menos sujeita a esse tipo de poluição”. Além disso, também foram utilizadas em cada região duas superfícies de captação diferentes: telhas cerâmicas e metálicas, com o intuito de verificar a interferência do material na qualidade da água captada. Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH, turbidez, cor aparente, alcalinidade, dureza, sulfato, ferro, manganês e chumbo) e parâmetros microbiológicos: coliformes totais e Escherichia. Como era de se esperar, a qualidade da água captada nas duas regiões apresentou diferenças significativas, principalmente nos parâmetros: cor aparente e turbidez. Os parâmetros do experimento localizado na região da Pampulha apresentou melhores resultados. Quanto ao material, a telha de metálica apresentou melhor resultado que a telha cerâmica.



Fonte: Cardoso *et al.* (2009)

Figura 10: Sistema Piloto para coleta de água de chuva em Belo Horizonte/MG.

Além de contribuir com o uso racional da água, o sistema de aproveitamento de água de chuva, segundo Gonçalves *et al.* (2006), também possibilita a redução do escoamento superficial, diminuindo a carga nos sistemas de coleta pluviais, o que conseqüentemente, reduz o risco de inundações.

No Brasil, a cidade de São Paulo instituiu através da Lei municipal nº 13.276 promulgada em janeiro de 2002, que as construções em terrenos com áreas impermeáveis acima de 500 m<sup>2</sup> são obrigadas a construir reservatórios para a contenção da água de chuva, colaborando, portanto, para a diminuição do problema das enchentes. Tal lei ficou conhecida como lei das “piscininhas”.

### 3.2.2 – Água Residuária

O emprego do termo “reúso de água servida” não é devidamente correto. A água enquanto potável tem sua primeira aplicação resultando em água residuária. O reúso em si é da água cujo primeiro uso ocorreu. Sendo assim, o termo corretamente a ser utilizado deve ser “reúso da água” ou “uso da água residuária (servida)”.

O fator mais importante é que o reúso, dentro da busca de ações sustentáveis e da racionalização do uso da água, compreende os objetivos básicos da conservação do recurso, quais sejam a economia e a preservação. Isso porque reutilizar água para fins menos nobres é uma forma de economizar água no manancial, enquanto,

para a preservação, o fato positivo do reúso da água é a diminuição dos volumes de esgoto despejados nos mananciais hídricos. Um dos pontos-chave para viabilizar o reúso nas edificações visando a utilização de fontes alternativas de água é a segregação das águas residuárias, obtendo assim diferentes tipos de águas para reúso, cada uma com possibilidades de diferentes aplicações.

### **Águas Cinzas**

A água cinza é caracterizada pelo efluente que não possui contribuição da bacia sanitária, ou seja, o efluente gerado pelo uso de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e pias de cozinha em residências, escritórios comerciais, escolas etc. As características deste tipo de água residuária podem variar bastante em termos de quantidade e de composição, principalmente decorrentes de fatores como: localização, nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes dos moradores; e com o tipo de fonte de água cinza que está sendo utilizado (lavatório, chuveiro, máquina de lavar, etc.). Alguns autores levam em consideração a cultura brasileira da utilização das pias de cozinha como local de despejo de restos de alimentos, provocando no efluente grande concentração de matéria orgânica, em função deste fator cultural e da presença de óleos e gorduras. Muitos autores não consideram como água cinza o efluente oriundo de cozinhas.

Em decorrência do tipo de uso destinado às águas cinzas, devem ser levados em consideração aspectos relacionados às suas composições. De maneira geral, as águas cinzas apresentam turbidez e concentração de sólidos em suspensão bastante elevadas; resíduos de alimentos, cabelos e fibras de tecidos são alguns exemplos de material sólido nas águas cinzas de cozinha, banheiro (chuveiro e lavatório) e lavanderia (tanque e máquina de lavar), respectivamente. Como se sabe, esses materiais em suspensão conferem um aspecto desagradável à água cinza, além de servirem de abrigo para microrganismos, podendo ocasionar rejeição por parte dos usuários no caso de um reúso sem tratamento.

Outros fatores a serem considerados quando se verifica as características das águas cinzas são as quantidades de fósforo oriundas dos detergentes e dos sabões contendo fosfatos; a quantidade de matéria orgânica e inorgânica presente na água cinza, de bastante significância e em sua maior parte oriunda de resíduos de alimento, óleos e gorduras e resíduos corporais; e os compostos de enxofre, que

encontram relação direta com a formação de odores desagradáveis onde há geração de água cinza.

No gerenciamento de água cinza leva-se em consideração a sua elevada biodegradabilidade, que, em períodos de estocagem relativamente curtos, pode provocar a produção de lodo, que, ao atingir o estado séptico, pode causar odores.

Porém, os principais fatores relacionados com a saúde dos usuários são as características microbiológicas. Embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microorganismos patogênicos, é comprovada a presença de consideráveis densidades de coliformes termotolerantes neste tipo de água residuária. As principais fontes de contaminação estão relacionadas com a limpeza das mãos após o uso do toalete, lavagem de roupas e alimentos fecalmente contaminados ou o próprio banho. Por tais motivos, seu reúso direto nas edificações (em estado bruto) não é recomendável, tendo em vista, sobretudo, o aspecto desagradável e a possibilidade de produção de mau cheiro nas instalações sanitárias. Os principais critérios que devem nortear um programa de reúso de água cinza são: preservação da saúde dos usuários; preservação do meio ambiente; atendimento às exigências relacionadas às atividades a que se destina; e quantidade suficiente ao uso a que será submetida (GONÇALVES *et al.*, 2006).

Para que sejam atendidas estas diretrizes, sobretudo, recomenda-se que o sistema hidráulico destinado ao tratamento e distribuição de água de reúso proveniente da água cinza seja absolutamente separado do sistema hidráulico de água potável do abastecimento público, sendo proibida a conexão cruzada entre esses dois sistemas. Para a obtenção de água de reúso com baixa turbidez, inodora e isenta de microrganismos patogênicos, é recomendável também uma etapa de tratamento primário, pois a água pode vir a ter consideráveis quantidades de areia, cabelos, felpas de tecidos, restos de alimentos, entre outros tipos de material (a remoção destes sólidos grosseiros pode ser realizada por meio de grades finas ou peneiras, raramente associadas a uma etapa de sedimentação) e um tratamento em nível secundário seguido de desinfecção será necessário.

A grande importância do uso de águas cinzas resulta na economia de água potável, economia de energia elétrica e menor produção de esgoto sanitário na escala das edificações e, ainda, em uma escala maior, resulta em preservação dos

mananciais de água, por diminuir a quantidade de água captada e por reduzir o lançamento de esgoto sanitário pelas áreas urbanas.

Dentre todos os usos não potáveis, as águas cinzas são mais comumente utilizadas nas residências em descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins, lavagem de vidros, lavagem de automóveis, combate a incêndios e no preparo de concreto.

### **Águas Amarelas e Águas Marrons**

Os fundamentos da utilização das águas residuárias estão primeiramente concentrados na elaboração de um plano de segregação dos efluentes envolvidos. A separação das águas pode gerar tipos de efluentes com características diferentes que tornam a possível reutilização também diferenciada. As vantagens podem ser inúmeras, como por exemplo: a obtenção de um menor volume de material fecal e do sistema de coleta de urina; diminuição do odor característico; segregação das partículas (sólidos em suspensão) que afetam os processos físicos e biológicos e remoção; e a obtenção de um lodo gerado em ETE que trata esgotos sanitários, onde ocorreu a separação (retirada) da urina, com menores quantidades de nutrientes, principalmente nitrogênio (Júlio *et al.*, 2009).

Para a segregação de efluentes há diversos dispositivos, todos eles envolvendo o conceito de “não misturar”, técnica consolidada e proposta pelos suecos com a denominação de “saneamento ecológico” ou ECOSAN. A separação dos efluentes oriundos do sistema sanitário, líquidos e sólidos – urina e fezes -, dará origem a dois tipos de águas residuárias, águas amarelas e negras, respectivamente (Gonçalves *et al.*, 2006). A Figura 11 mostra um aparelho sanitário separador.



Fonte: Gonçalves *et al.* 2006

Figura 11 Aparelho sanitário separador.

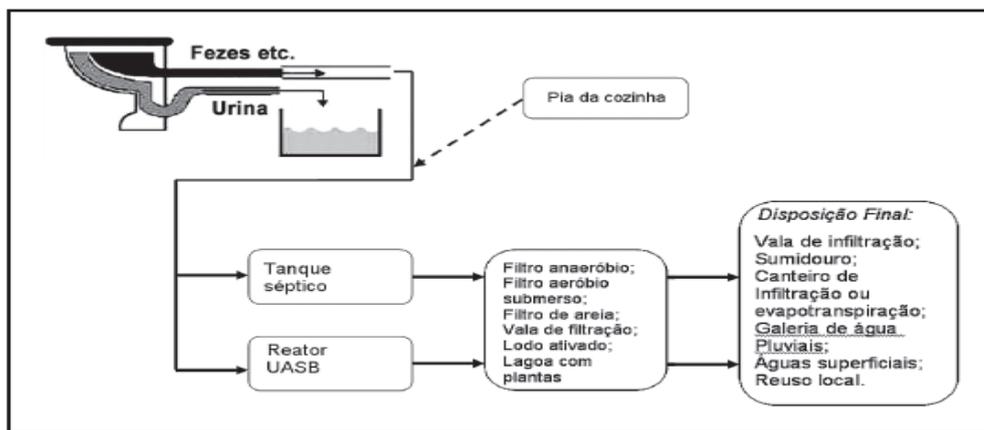
#### a) Águas amarelas

Segundo Gonçalves *et al.* (2006), as águas amarelas são consideradas as águas provenientes de dispositivos separadores de fezes e urina e podem ser geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separados. A urina é o componente principal deste efluente líquido, além da própria água utilizada no aparelho sanitário para a condução desta excreta para a rede coletora. A urina perfaz menos de 1% do volume do esgoto sanitário gerado em áreas urbanas, mas contém a maior parte dos nutrientes que são essenciais na agricultura, o nitrogênio, fósforo e o potássio. A reciclagem dos nutrientes poderia substituir importantes quantidades dos fertilizantes químicos comercializados. A adoção de um sistema de gerenciamento das águas amarelas, recuperadas com ou sem tratamento, é de grande importância para a economia de água potável. Considerando-se que uma pessoa urina, em média, quatro vezes por dia, e que, por isso, efetua quatro descargas sanitárias para evacuação, o dispêndio de água potável decorrente é de pelo menos 24 Litros/ pessoa dia (caso se utilize descargas reduzidas de 6 litros). Isso equivale a cerca de 1/6 do consumo “per capita” de água potável, que pode ser preservado mediante a coleta da urina para posterior utilização na agricultura. Portanto, a utilização nas edificações de mictórios ou de vasos sanitários com

dispositivos de separação urina / fezes (Figura 12) pode resultar em preservação de significativa quantidade de água potável. Outro aspecto importante é que quando se retira a urina do esgoto sanitário, diminui a carga de nitrogênio, reduzindo os custos de tratamento e o potencial de eutrofização do corpo receptor deste efluente.

## b) Águas marrons

Segundo ainda o mesmo autor, Com a utilização da segregação há também a geração de uma água residuária proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico, que constituem as águas marrons. Este tipo de resíduo segregado das demais águas resulta em estações de tratamento menores, operando de forma mais estável e produzindo menos subprodutos



Fonte: Gonçalves *et al.*, 2006

Figura 12: Sistema de separação das águas amarelas e marrons incorporando o possível tratamento e disposição.

Quando ocorre a mistura dos sólidos com a urina, as águas residuárias provenientes dos vasos sanitários são denominadas águas negras. Elas são compostas basicamente de fezes, urina e papel higiênico. Apresentam elevada carga orgânica e presença de sólidos em suspensão, em grande parte sedimentáveis, em elevada quantidade. A Tabela 3 sintetiza os tipos de águas residuárias provenientes de edificações.

**Tabela 3: Síntese da classificação usada para águas residuárias em edificações**

<b>Tipo</b>	<b>Contaminante</b>
Negras	Todos os efluentes domésticos (podendo também ser somente a mistura proveniente de sanitários)
Cinza Escuro*	Banho, cozinha e lavatório
Cinza Claro	Banho e lavatório
Amarelo	Somente urina
Marron	Somente fezes

\* Classificação bastante discutida, pois alguns estudiosos incluem as águas da cozinha somente dentro da classe águas negras, ou ainda agregam às águas marrons.

Fonte: Menezes (2006)

### 3.3-Tipos de Reúso de Águas

De acordo com a organização mundial da saúde (1973) apud Mancuso e Santos (2003), de maneira geral, o reúso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não. Tem-se:

- Reúso indireto: Ocorre quando a água já utilizada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- Reúso direto: É o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável
- Reciclagem interna: É o reúso da água internamente à instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição

Ainda os mesmos autores dizem que em 1985, foi publicado o livro “Water treatment principles” que em seu capítulo 14, denominado “water reuse”, refere-se à questão da classificação das formas de reúso de forma similar àquela adotada pela Organização Mundial da Saúde, substituindo a palavra “intencional” por “planejada” e “não intencional” por “não planejada”.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) promulgou a Resolução N° 54 de 28 de Novembro de 2005, que estabelece modalidades de reúso, constando em seu artigo 3º:

“Art. 3º O reúso direto não potável de água, para efeito desta Resolução, abrange as seguintes modalidades:

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais;

V - reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos”

Também bastante disseminada é a subdivisão dos usos agrícolas e urbanos em uso restrito e uso irrestrito, conforme Florêncio *et al.* (2006). O que define essas duas categorias é o grau de restrição de acesso ao público, de áreas e técnicas de aplicação dos esgotos ou de plantas irrigadas, ou seja, controlando a exposição humana; e as exigências de tratamento e o padrão de qualidade de uso de efluentes

Westerhoff (1984) apud Brega Filho e Mancuso (2003) classifica reúso de água em duas grandes categorias: potável e não potável. Pela sua praticidade e facilidade, essa classificação, que é apresentada a seguir, foi adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), Seção São Paulo, tendo sido amplamente divulgada em sua série “Cadernos de Engenharia Sanitária e Ambiental” em, 1.992.

## **REÚSO POTÁVEL**

Reúso potável direto: quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável.

Reúso potável indireto: caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável.

Vale ressaltar que a prática de reúso potável é questionada por muitos autores. Hespanhol (1999) comenta que a presença de organismos patogênicos, metais pesados e compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes disponíveis para reúso, principalmente naqueles oriundos de estações de tratamento

de esgotos de grandes conurbações com pólos industriais expressivos, sinalizam para o fato de que o reúso potável é uma alternativa associada a riscos muito elevados, tornando-o, praticamente, inaceitável. Além disso, os custos dos sistemas de tratamento avançados que seriam necessários levariam, na maioria dos casos, à inviabilidade econômico-financeira do sistema. Segundo ainda o mesmo autor os riscos em um sistema de reúso são significativos e devem ser considerados nas fases de concepção, de projeto e na operação.

### **Reúso Não Potável:**

O reúso não potável é a prática mais comum, já que o reúso potável apresenta riscos consideravelmente mais elevados e, além disso, o custo envolvido no tratamento inviabiliza muitas vezes o reúso potável. Dentro do reúso não potável destacam-se as seguintes modalidades.

- Reúso não potável para fins agrícolas: Diz respeito ao uso do efluente na irrigação tanto de culturas para fins alimentícios como árvores frutíferas como também não alimentícias como pastagens.
- Reúso não potável para fins industriais: para uso em caldeiras, por exemplo.
- Reúso não potável para fins domésticos: Para rega de jardins

### **3.4 - Riscos Inerentes ao Reúso**

Primeiramente, é importante ressaltar a diferença entre risco e perigo. Como lembra Bastos *et al.* (2003), o conceito de perigo diferencia-se do conceito de risco. O primeiro pode ser entendido como algo que associado a determinado agente com características tóxicas ou infecciosas, que pode vir a causar efeitos adversos à saúde. Neste sentido a utilização de esgoto sanitário para a irrigação constitui um perigo, pois os esgotos podem conter cargas elevadas de agentes microbianos patogênicos, porém se considerarmos que os esgotos recebam tratamento que garanta a remoção dos microorganismos não haverá risco de infecção.

No processo de reúso um dos principais aspectos (se não o principal) que deve ser observado é a questão dos organismos patogênicos que podem provocar risco sanitário e ambiental, uma vez que os esgotos podem conter os mais variados organismos patogênicos, não restando dúvidas que sua utilização envolve riscos à saúde. Tal fato pode ser exemplificado pela Tabela 4:

Tabela 4: Concentrações usuais de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos sanitários.

Organismos	Concentração
Escherichia coli	$10^6$ - $10^8$ /100 ml
Salmonellae spp.	$10^2$ - $10^3$ /100 ml
Cistos de Giardia sp	$10^2$ - $10^4$ /100 ml
Oocistos de Cryptosporidium spp.	$10^1$ - $10^2$ /l
Ovos de helmintos	$10^1$ - $10^3$ /l
Vírus	$10^2$ - $10^5$ /l

Fonte: Bastos *et al.* 2003

Segundo Gonçalves *et al.* (2006), o ponto de partida de qualquer projeto de reúso de água, independente do ponto de aplicação, é a segurança e saúde dos usuários. Os riscos devido a produtos químicos na água de reúso são oriundos principalmente da presença de compostos a base de matéria orgânica, de nitrogênio, de enxofre e de metais pesados. Entretanto, esses riscos são muito mais baixos do que os causados por microrganismos patogênicos (GREGORY *et al.*, 1996).

Desta forma, torna-se evidente que qualquer projeto de reúso deve partir de um eficiente controle sanitário e ambiental dos riscos inerentes a que este tipo de projeto está sujeito.

O tipo de tratamento necessário para o reúso da água vai depender logicamente do destino requerido. Assim, os padrões (e os riscos aceitáveis) também variam conforme o uso que será dado a água residuária.

De acordo com Bastos *et al.* (2003), muita controvérsia persiste na definição dos riscos aceitáveis, ou seja, na definição do padrão de qualidade e do grau de tratamento que garantam a segurança sanitária da utilização de esgotos sanitários.

Os mesmos autores ainda identificam os grupos de risco susceptíveis à exposição a diversas práticas de utilização de esgotos.

a) Irrigação irrestrita: consumidores de produtos irrigados; consumidores de produtos animais, alimentos com material irrigado com esgotos; trabalhadores em contato direto com a água de irrigação, solo e culturas irrigadas; público residente nas proximidades de áreas irrigadas (principalmente quando utiliza a irrigação por aspersão).

b) Irrigação restrita: consumidores de produtos animais, alimentados com material irrigado por esgotos, trabalhadores em contato direto com a água de irrigação, solo e culturas irrigadas; público residente nas áreas próximas (principalmente quando se utiliza à irrigação por aspersão) .

c) Piscicultura: consumidores de peixes cultivados com esgotos sanitários; trabalhadores em contato direto com a água de cultivo e peixes.

d) Reúso urbano (irrigação de parques e jardins, campos de esporte e lazer, cemitérios, limpeza de logradouros, etc.): usuários e transeuntes em campos e espaços com aplicação de efluentes, trabalhadores em contato direto com a água de reúso, solo e material irrigado.

e) Reúso predial e industrial: usuários e transeuntes em instalações com utilização de efluentes; trabalhadores em contato direto com a água de reúso.

Segundo ainda o mesmo autor, é fato que nas últimas três décadas a irrigação com esgotos sanitários tornou-se prática crescente em todo o mundo, por vezes acompanhada de rígido controle sanitário, outros não, impondo sérios riscos a saúde. Portanto, o conhecimento dos riscos a saúde associados à irrigação com esgotos é fundamental para o fomento de boas práticas.

Segundo Cavallini *et al.* (2005), dezoito estudos de caso, realizados na América Latina, revelaram que os agricultores minimizam ou desconhecem os riscos associados à irrigação com águas residuárias.

Segundo Andreoli *et al.* (2005), a proteção da saúde pública em sistemas de irrigação com esgoto tratado depende da associação de medidas simultâneas e complementares visando bloquear a disseminação de doenças e assegurar a proteção de todos os grupos da população envolvidos no processo. Em termos gerais, estas medidas podem ser agrupadas em quatro grupos:

a) Qualidade do efluente: Representa a forma mais segura e ampla de proteção, alcançando todos os grupos de risco, no entanto freqüentemente é limitada pela deficiência dos processos de tratamento e características dos diversos grupos de patógenos.

b) Seleção de culturas: assegura prioritariamente a proteção aos consumidores, através da definição de critérios de qualidade sanitária (níveis de contaminação) diferenciados para culturas com maior risco de transmissão de doenças. Em geral, as legislações internacionais associam perfil sanitário e uso, definindo critérios mais restritos para efluentes de pior qualidade, traduzidos através dos termos irrigação restrita e irrestrita.

c) Seleção do método de irrigação: os diferentes métodos de irrigação potencializam ou minimizam a disseminação de patógenos através dos efluentes com plantas (superfície foliar e produto), agricultores e população circunvizinha.

d) Controle sistemático da exposição humana: compreende práticas de manejo, formas de irrigação (dispersão no ar), uso de EPI (botas, luvas, etc.). É importante

destacar: em geral registra-se baixa garantia de que estas mediadas serão atendidas.

Assim como o risco é inerente a qualquer projeto de reúso de água, pode-se concluir que a principal etapa do projeto é a escolha de um padrão aceitável para os riscos, uma vez que estes padrões irão nortear todo o projeto desde a concepção até a execução. Os riscos, obviamente, vão depender do destino da água reaproveitada. Estes riscos podem ir desde a salinização do solo até a contaminação microbiológica dos produtos.

Segundo Hammer e Hammer J.r (1996) apud Máximo (2005), os principais problemas ligados à contaminação nos sistemas de reúso são: a percolação do nitrato até o lençol freático, a retenção de metais pesados nos solos e os riscos de contaminação, por organismos patogênicos, dos trabalhadores do campo.

### **3.5 - Legislação e Experiências Internacionais em Reúso de Água**

Segundo Gonçalves *et al.* (2006), atualmente, algumas cidades, estados e países têm adotado legislação específica para a conservação da água, particularmente o reúso em grandes edificações e o aproveitamento de água de chuva. Exemplos notórios são as cidades de Tóquio, Berlim, Sydney, entre outras, estados como Califórnia, Texas e Flórida nos EUA ou ainda países como Austrália, Alemanha, Reino Unido e outros. Estes componentes, muitas vezes têm caráter de guias ou manuais sendo disponibilizados para toda a sociedade e são apoiados em programas oficiais de órgãos de administração pública local ou regional.

Segundo Florêncio *et al.* (2006), nos EUA, o reúso da água (utilização de esgotos sanitários tratados) em suas diversas modalidades (agrícola, urbano e industrial, etc.) é hoje objeto de regulamentação em todo o território nacional, complementado por legislações vigentes em vários estados. Organismos internacionais, como a Organização Mundial da Saúde (OMS), também têm se dedicado à recomendação de critérios de saúde para utilização de esgotos sanitários

#### **3.5.1- Estados Unidos**

Nos EUA não existem critérios em nível federal que regulamentem o reúso. As regulamentações que existem são em nível estadual.

Entre os estados americanos, o de maior experiência em reúso controlado de águas é o estado da Califórnia. Como lembra Muffareg (2003), por muitos anos os regulamentos do estado da Califórnia eram a única referência legal válida para recuperação, reúso e reciclagem de águas residuárias. Este fato fez com que qualquer técnico de qualquer lugar do mundo assumisse esses conceitos ali introduzidos como a verdade axiomática e indiscutível. Foi declarado, até mesmo, que esses padrões foram copiados e recopiados até que fossem reconhecidos oficialmente.

As primeiras regulamentações deste estado datam de 1918. Segundo Bastos *et al.* (2003), em 1918 o Departamento de Saúde Pública da Califórnia, EUA, emitiu a primeira regulamentação oficial que se tem conhecimento, na qual o cultivo de vegetais consumidos crus foi proibido. Em 1933, tais cultivos passaram a ser permitidos na Califórnia, desde que as águas residuárias constituíssem “efluentes filtrados ou suficientemente oxidados e desinfetados”. Em 1968, os padrões Califórnia adquirem formato mais detalhado e quase definitivo: a utilização de efluentes parcialmente tratados foi restrita à irrigação de produtos industriais, enquanto para o cultivo de produtos consumidos crus passou-se a exigir um padrão de qualidade de 2,2 coliformes fecais /100 ml.

Segundo Leite (2003), o Arizona é o único estado dos EUA que possui padrões de reúso incluindo limites para vírus e parasitas. Por exemplo, quando o reúso da água é feito para irrigar, por aspersão, culturas que serão consumidas cruas, as recomendações do Arizona incluem: Turbidez de 1UT; 1 vírus entérico/40 mL; ausência de detecção de Entamoeba histólica, Giardia lamblia e Ascaris lumbricóides.

No Texas, na medida em que o reúso das águas se torna mais comum, considera-se natural que surjam mais e mais aspectos legislativos disciplinando essa prática. Os tópicos legais de interesse abrangem mananciais e cursos d'água, aquíferos profundos e superficiais e direitos de propriedade sobre usos úteis da água captada. (MANCUSO; SANTOS, 2003). A Tabela 5 mostra os critérios para reúso de água na Califórnia (EUA)

Tabela 5: Critérios para reúso de água na Califórnia (EUA).

Uso	Critérios de Qualidade	Nível de tratamento
Cemitérios, passeios, campos de golfe e outras áreas irrigadas com acesso restrito; lagos paisagísticos; sistemas de combate à incêndio; água de refrigeração industrial ou comercial, sem formação de aerossóis; alimentação de caldeiras; compactação de solos; lavagem de ruas, calçadas e áreas externas	< 23CT/100 mL	Secundário +desinfecção
Parques, playgrounds; jardins escolares, áreas verdes residenciais, campos de golfe e outras áreas recreacionais com acesso irrestrito; lagos recreacionais com acesso irrestrito, descarga em toaletes e mictórios, água de processo industrial; fontes decorativas, lavanderias comerciais; sistema de combate a incêndio; sistema de refrigeração industriais ou comerciais com formação de aerossóis.	< 2,2CT/100 mL	Secundário+coagulação+clarificação+filtração+desinfecção
Área de acesso restrito e usos industriais	200 CF/100mL SST-20 mg/L DBO-20 mg/L	Secundário+desinfecção
Áreas com acesso público (áreas verdes residenciais, campos de golfe, cemitérios, parques, áreas paisagísticas, passeios e áreas similares); descarga em toaletes, represamentos recreacionais, sistema de combate a incêndio	CF-ND SST-5mg/L DBO-20mg/L	Secundário+filtração+desinfecção

Fonte: Bastos *et al.*, 2003

### 3.5.2- Organização Mundial da Saúde

Em 1971, a organização mundial da saúde patrocinou uma reunião de especialistas no uso de efluentes e subseqüentemente publicou um relatório técnico sugerindo processos e tratamentos para atendimento dos critérios protetores à saúde nos usos voltados para a irrigação, aqüicultura, usos industriais e usos municipais potáveis e não potáveis.

Em 1985, aconteceu outra reunião de especialistas na cidade suíça de Engelberg. Esta reunião de cientistas e epidemiologistas teve como objetivo discutir

os riscos à saúde decorrentes da utilização de águas residuárias. Este encontro foi patrocinado, entre outras entidades, pela Organização Mundial da Saúde. Neste encontro foi desenvolvida uma nova abordagem para os riscos provenientes do reúso para irrigação. Foi concluído serem mínimos os riscos para a saúde devido à irrigação com águas residuárias tratadas. O resumo publicado do encontro, conhecido como relatório de Engelberg, inclui um conjunto tentativo de orientações para o reúso de água para irrigação. Foi recomendado que o número de nematóides intestinais não excedesse a um ovo viável/litro na irrigação de árvores, culturas industriais, árvores frutíferas e pastagens. Para a irrigação de culturas comestíveis, campos desportivos e parques públicos, foi recomendado que o número de organismos coliformes fecais não excedesse 1000/100 ml.

Segundo Shuval (1987) apud Bastos (2003), desde sua publicação, a legislação da Califórnia, EUA, e às recomendações da OMS têm servido de referência e têm sido adotadas como normas em diversos países, seja como mera cópias, sejam adaptadas às particularidades locais. Permanecem, portanto, no cenário internacional duas abordagens bastante distintas, motivando intensas polêmicas. As recomendações da OMS podem ser vistas na Tabela 6.

Tabela 6: Critérios de qualidade recomendadas pela OMS.

Tipo de Irrigação	Opção para redução de patógenos	Redução de patógenos necessária	Verificação do Nível de monitoramento (E. Coli/100 ml)	Observações
Irrestrita	A	4 (logs)	$\leq 10^3$	Cultivo de raízes
Irrestrita	B	3 (logs)	$\leq 10^4$	Cultivo de folhas
Irrestrita	C	4(logs)	$\leq 10^5$	Irrigação por gotejamento para cultivo de alto crescimento
Irrestrita	D	4(logs)	$\leq 10^3$	Irrigação por gotejamento para cultivo de baixo crescimento
Irrestrita	E	6 ou 7 (logs)	$\leq 10^1$ ou $10^0$	Níveis de verificação dependem das exigências da reguladora local
Irrestrita	F	4 (logs)	$\leq 10^4$	agricultura com intensa mão de obra humana
Restrita	G	3 (logs)	$\leq 10^5$	Agricultura altamente mecanizada
Restrita	H	0,5 (log)	$\leq 10^6$	remoção de patógenos em tanque séptico

Fonte: WHO 2006

### 3.5.3 – Japão

Cerca de 15 milhões de m<sup>3</sup>/dia de efluentes urbanos tratados são reusados por indústrias, o que representa 41% do volume reutilizado no país. A Tabela 7 mostra os critérios para reúso de água no Japão.

Tabela 7: Critérios de reúso no Japão.

Parâmetro	Descarga de toaletes	Irrigação de áreas verdes	Lagos e fontes ornamentais	Meio Ambiente (características estéticas)	Meio Ambiente (Contato público limitado)
E. coli/100mL	≤ 10	ND	ND	-	-
CR (mg/L)	Mantido	≥0,4	-	-	-
CT/100 mL	-	-	-	<1000	<50
Turbidez	-	-	<10	<10	<5

Fonte: Bastos *et al.*, 2003

### 3.5.4 – Israel

No ano de 1952 foram editadas as primeiras regras para reúso em Israel. E três anos depois, em 1955, o reúso de águas residuárias tornou-se uma política nacional. O plano nacional de águas, incluía reúso dos principais sistemas de tratamento de efluentes das cidades no programa de desenvolvimento dos limitados recursos hídricos do país (MUFFAREG 2003).

Em Israel, um canal de uma cidade densamente povoada, na costa central, transporta as suas águas servidas para o sul, para uma área em Negev, como alternativa para complementar o sistema de irrigação das plantações. De acordo com um plano feito em 1972, o esgoto pode ser transportado, através de um canal de cimento, com diâmetro variando de 20 a 48 cm, de Netania, situada ao norte, para Dorot, no sul, perfazendo uma distância de cerca de 140 km. As condições climáticas em Negev não são muito favoráveis, mas as condições geológicas facilitam o deslocamento. Cerca de 6000 ha de algodão, 20000 ha de trigo e 7500 há de sorgo podem ser irrigados. Vale lembrar que, sem irrigação, esta área seria quase improdutiva, devido a secas freqüentes. O custo calculado da água (excluindo tratamento) até o ponto de uso está entre 20 a 30 centavos de dólar por 1000 galões (LEITE, 2003).

O Brasil firmou, através do Ministério da Integração, com o governo de Israel , o memorando de entendimento na área de capacitação em recursos hídricos. No âmbito desse instrumento, foram priorizados os temas (MI 2010):

- Reúso de águas
- Uso eficiente da água na agricultura e tecnologias poupadoras de água apropriadas a regiões áridas e semi-áridas
- Combate a desertificação

### **3.5.5- Europa**

A comunidade econômica européia desenvolve um programa para avaliação de tecnologias de remoção de produtos farmacêuticos e de higiene pessoal dos esgotos e das instalações de tratamento de água. Conhecido como Projeto Poseidon, seu objetivo é aumentar o reúso indireto da água potável pela eliminação de resíduos dos produtos farmacêuticos e de higiene pessoal que passam através dos processos usuais de tratamento de esgotos e contaminam a água de abastecimento dos aquíferos superficiais ( MANCUSO e SANTOS, 2003).

Segundo ainda os mesmos autores, o Poseidon tem como objetivos:

1. Realizar estudos para avaliação e melhorar a eficiência da remoção de efluentes de tratamentos convencional e avançado, bem como de tecnologias para obtenção de água potável
2. Investigar a eficiência dos processos de tratamento convencional e avançado na eliminação de certos PPCPs (Pharmaceuticals & personal Care product Ingredients)
3. Avaliar a poluição de aquíferos por PPCPs provenientes de águas de irrigação
4. Determinar a viabilidade de separação da urina na fonte emissora para reduzir a concentração de produtos farmacêuticos nos esgotos e facilitar o seu tratamento
5. Proceder à análise detalhada de PPCPs específicos nos esgotos e na água potável para determinar seus destinos e, se possível suas rotas de degradação.
6. Considerar a contaminação diferenciada dos PPCPS no esgoto para completar as estratégias de reúso potável indireto, combinando tecnologias de tratamento de esgotos e de tratamento de água.
7. Conduzir estudos de impactos ambientais relativos a tecnologias convencionais e avançadas de tratamento de esgotos, necessariamente incluindo:

- A identificação do risco para compartimento ambiental específico atmosfera, sedimentos, água e biota onde se encontra o produto químico de interesse
- Avaliação da exposição para determinar a concentração do produto no compartimento ambiental sensível
- A qualificação do risco que poderia ser causado pelos PPCPs no compartimento ambiental receptor

### **Itália**

Segundo Muffareg (2003), a legislação italiana existente (Padrões Técnicos Gerais - G.U. 21.2.77) atribui limites dependendo do tipo de hortifruticultura e pastagens, de 2 a 20 colibacteria por cm<sup>3</sup>, respectivamente. Além disso, a lei prescreve que na presença de lençol freático em contato direto com as águas de superfície, devem ser usadas medidas preventivas adequadas para evitar qualquer deterioração de qualidade das mesmas. Uma lei nova relativa a esgotos municipais está sendo preparada para dar melhor atenção à administração dos recursos hídricos, em particular para o reúso de esgoto tratado. As indústrias serão encorajadas a usar águas residuárias tratadas.

### **Espanha**

Novo plano nacional dos recursos hidrológicos incentiva o desenvolvimento de projetos em conservação de água. As províncias de Andaluzia, Catalunha e Baleares já possuem prescrições legais relativas ao reúso. Várias regiões aplicam o esgoto tratado em irrigação de campos de esporte, irrigação agrícola, recarga de aquíferos (para impedir a intrusão salina) e incremento da vazão dos rios. (Nunes, 2006).

Existe grande interesse comercial de algumas companhias de água privadas em investir em pesquisa e desenvolvimento em colaboração com as Universidades (por exemplo: AGBAR e de Canal Isabel II). Por enquanto, não há nenhuma legislação nacional na Espanha, mas pelo menos três províncias autônomas (Andaluzia, Catalunha & Baleares) têm algumas prescrições legais ou recomendações relativas ao uso de esgotos tratados (MUFFAREG, 2003).

### **Portugal**

Segundo Nunes (2006), no geral, entre 35.000 a 100.000 ha de plantações são irrigados com águas residuárias tratadas. Uma nova ETE, perto de Lisboa, irá proporcionar a irrigação de mais 1000 ha.

## **Reino Unido**

Segundo Leite (2003), de forma geral, não há um padrão consistente ou significativo de uso de águas residuárias no Reino Unido. Normalmente, sempre houve água suficiente para atender a demanda, portanto poucos projetos para reúso foram desenvolvidos. Exemplos de utilização de efluentes tratados para irrigação de campos de golfe, parques, vegetação nas estradas, lavagens de carro e refrigeração. Vários sistemas operam para reciclar águas provenientes de máquinas de lavar, lavatórios dos banheiros e chuveiros para utilizar nas descargas dos vasos sanitários. Em alguns casos, são integradas esses sistemas à captação de águas pluviais provenientes do próprio telhado das casas.

## **França**

Segundo Nunes (2006), a França praticou o reúso durante muito tempo, irrigando colheitas com águas residuárias, principalmente, ao redor de Paris, porque até aproximadamente 1940 era a única maneira de tratar e dispor águas residuárias da conurbação daquela cidade. O interesse no reúso voltou a crescer por volta da década de 1990, por duas razões principais: o desenvolvimento da irrigação de culturas e a grande diminuição da oferta de água depois de várias secas severas que afetaram paradoxalmente regiões tradicionalmente consideradas “molhadas”, ou seja, com grande potencial hídrico.

Por causa deste novo interesse pelo reúso de água, as autoridades de saúde emitiram, em 1991, o documento “diretrizes de saúde para o reúso pós-tratamento de águas residuárias para agricultura e irrigação de áreas verdes. Tais diretrizes seguem, essencialmente, as da OMS (este fato coloca a França como exceção, já que a maioria dos países industrializados segue os padrões americanos), mas acrescenta restrições técnicas para irrigação e estabelece distância entre locais de irrigação e áreas residenciais e estradas (MUFFAREG, 2003).

### **3.5.6- ÁFRICA DO SUL**

Um exemplo de reúso planejado direto não potável é o da Indústria de papel Sul Africana Pulp Ltda (SAPPI) em Moinho do Enstra, perto da cidade de Primavera, na República Sul Africana, que foi a primeira grande indústria nesse país a tratar seus efluentes para ajudar em parte de sua demanda de água. Este tratamento tornou-se uma necessidade em razão da demanda ser maior que a oferta. O tratamento é avançado e consiste essencialmente nas seguintes unidades: tanque de floculação

de 750 m<sup>3</sup> de capacidade; um canal (0,6 m) com bomba de booster; sistema de ventilação com alta velocidade de dispersão e um compressor de ar operando em 10 horas; tanques de armazenamento e equipamento de dosagem de sulfato de alumínio, hidróxido de sódio e cloro; equipamento auxiliar com controlador de pH. A água produzida com esse método atingiu um resultado tão bom que foi adotado em todas as fábricas de papel da África do Sul (LEITE, 2003). A Tabela 8 mostra os padrões de reúso na África do Sul.

Tabela 8: Critérios de reúso na África do Sul.

Uso	Critérios de qualidade	Nível de tratamento
Gramados escolares e campos esportivos (acesso restrito)	1000 CF/100 mL	Primário, secundário e terciário, sistema de lagoas de estabilização.
Gramados escolares e parques recreacionais (acesso irrestrito)		Avançado (padrão de qualidade de água potável)
Industrial	1000 CF/100 mL	Primário, secundário e terciário; sistema de lagoas de oxidação
Descarga de toaletes e controle de poeira.	CF - ND	Primário, secundário e terciário

Fonte: Bastos *et al.*, 2003

### 3.5.7 – Peru

O Ministério de Agricultura iniciou, em 1991, um projeto nacional de irrigação com águas servidas tratadas, para ampliar a fronteira agrícola em 18.000 hectares irrigados por esgoto tratado produzidos pelas principais cidades da costa peruana.

Segundo Leite (2003), o país possui as estação experimental de San Juan de Miraflores, ao sul de Lima, em funcionamento há mais de vinte anos, realizando pesquisas em tratamento e reúso para aquicultura e agricultura, utilizando o efluente tratado em lagoas de estabilização.

### 3.5.8 – Brasil

Pode-se afirmar que no Brasil existe pouca experiência em reúso planejado e institucionalizado, sendo ainda necessários os projetos pilotos. Estes deverão fornecer subsídios para o desenvolvimento de padrões e códigos de prática, adaptados às condições e características nacionais. Uma vez concluída a fase experimental, as unidades piloto serão transformadas em sistemas de demonstração, objetivando treinamento, pesquisa e desenvolvimento do setor (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

No Brasil, de acordo com Silva & Martins (2004) apud Nunes (2006), não existem normas específicas para reúso planejado da água, e sim, somente para o estabelecimento de limites máximos de impurezas para cada destino ou uso específico. Estes limites, os chamados de padrões de qualidade, foram atualizados no ano de 2005 pela Resolução nº 357 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), onde estão subdivididos em nove classes para águas doces, salobras e salinas

O Código de Águas, instituído pelo Decreto Federal nº 24643, de 10 de julho de 1934, previa a propriedade privada de corpos de água, assegurava o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente e tratava os conflitos sobre o uso das águas como uma questão de vizinhança. Ocorre que, em razão do aumento das demandas e devido às mudanças institucionais, tal dispositivo legal foi regulamentado apenas nos aspectos atinentes ao que para a época de sua criação era primordial, a energia elétrica, e, portanto, não contemplou os meios para impedir o desequilíbrio hídrico, os conflitos de uso e, menos ainda, promover mecanismos adequados a uma gestão descentralizada e participativa, premente nos dias atuais. Assim, embora avançado para a época em que surgiu, o Código de Águas não foi complementado pelas leis e pelos regulamentos nele previstos, necessários para a completa aplicação de várias de suas disposições. Essa lacuna normativa e o posterior descumprimento de seus princípios por leis extravagantes provocaram verdadeiro retrocesso no campo legislativo pertinente à matéria (LEITE, 2003).

O tratamento jurídico das águas no Brasil, até o advento da Constituição de 1988, sempre considerou a água como bem inesgotável, passível de utilização abundante e farta. Esse pensamento, aliás, pauta a utilização de recursos ambientais no mundo até pouco mais da metade do século XX. Afinal, a terra não tinha limites (FINK e SANTOS, 2003).

A consciência de que os recursos naturais têm fim, e, portanto, merecem um tratamento jurídico mais atento, ganha contorno definitivo com a Constituição de 1988 e a lei que instituiu a Política nacional de Recursos Hídricos (MUFFAREG, 2003).

Em janeiro de 1997, a União estabeleceu a sua política e o seu sistema de gestão de recursos hídricos, aprovados por meio da Lei N.º 9.433/97. A promulgação desta lei vem consolidar um avanço na valoração e valorização da

água, quando, por meio de seu artigo 1º, incisos I e II, determina que: "a água é um bem de domínio público e dotado de valor econômico".

Segundo Muffareg (2003), ao iniciar pela enumeração dos fundamentos da política, lei indica os princípios e parâmetros que devem ser utilizados pelo interprete para entender de forma ampla e completa seus diversos dispositivos. Estes fundamentos são as bases da Política Nacional de Recursos Hídricos. São eles:

- “a água é um bem de domínio público”, cumprindo os ditames constitucionais de que não há mais água de domínio privado no Brasil;
- “a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico” indicando dois princípios fundamentais para se entender a forma de tratamento da água como bem ambiental: recurso limitado e , ao contrario do Código de Águas, dotado de valor econômico;
- “em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- “a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo das águas”, privilegiando usos somente em situação de escassez, conforme item anterior;
- “a bacia hidrográfica é a unidade básica”, indicando a área de atuação política e do sistema gerenciador dos recursos hídricos
- “a gestão descentralizada e participativa do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A legislação brasileira sobre recursos hídricos é um modelo ambicioso de gestão do uso dos rios e, de acordo com esta lei, as decisões sobre os usos dos rios em todo o País serão tomadas pelos comitês de Bacias Hidrográficas que são constituídos por representantes da sociedade civil, dos municípios

No Brasil, desde a promulgação da Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997, que institui a política nacional de recursos hídricos, a gestão dos recursos hídricos é respaldada em um moderno aparato normativo e institucional, em fase crescente de implementação. Por sua vez, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, 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, define diretrizes de qualidade da água a serem observados de acordo com os usos preponderantes dos cursos de água. Entretanto, as referidas

legislações dispõem essencialmente sobre o uso direto da água, ainda que na Lei nº 9433/97 se percebam vários dispositivos que apontam na direção do reúso como um processo importante para a racionalização do uso da água (FLORÊNCIO *et al.*, 2006).

A Agência Nacional de Águas (ANA), criada em julho de 2000, tem como missão básica a implantação do sistema nacional de recursos hídricos. A ANA possui participação na execução da Política Nacional de Recursos Hídricos, apoiando os conselhos Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos, bem como os respectivos comitês de Bacias Hidrográficas, no sentido de fornecer subsídio técnico na implantação desta política.

A criação do Grupo de Trabalho de Reúso da Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) tem como um dos objetivos buscar mecanismos para regulamentar a prática de reúso de águas residuárias no Brasil. Seu trabalho gerou a Resolução 54 do CNRH, aprovada em 2005, a qual estabelece diretrizes gerais para o reúso da água, definindo também as modalidades de reúso que irão requerer regulamentação posterior (MI, 2010)

No seu artigo segundo esta resolução traz uma série de definições:

1. Água Residuária: Esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não.
2. Reúso de água: utilização de água residuária
3. Água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas
4. Reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos

O artigo terceiro da mesma lei define como modalidades de reúso direto não potável:

1. Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana.
2. Reúso para fins agrícola e florestais: Aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas

3. Reúso para fins ambientais : utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação de meio ambiente
4. Reúso para fins industriais: Utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais
5. Reúso na aquicultura: Utilização de água de reúso para criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Portanto, a regulamentação do reúso da água encontra-se em pleno curso no Brasil, até mesmo pelo reconhecimento (explicitado nos considerandos da resolução CNRH nº54/2005) de que as práticas de reúso já são uma realidade no país. É importante salientar que a resolução CNRH 54/2005 coloca a atividade de reúso da água como integrante das políticas de gestão de recursos hídricos. (FLORÊNCIO 2006).

Na ausência de regulamentação nacional para utilização de água para reúso, com base na experiência internacional, a Sabesp desenvolveu seus próprios critérios internos, descritos a seguir (SEMURA *et al.* 2005 apud FLORÊNCIO 2006 *et al.* ).

- Coliformes termotolerantes: < 200 NMP/100 ml ( em 80% das amostras)
- DBO< 25mg/l ( em 95% das amostras)
- pH: 6 a 9
- SST < 35 mg/l ( em 95% das amostras)
- Turbidez < 20 uT
- Cloro residual total > 2 a 6 mg/l

Além da Sabesp o PROSAB já fez uma série de pesquisas que se referem ao tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados ao reúso. Dentre outros sistemas, alguns tipos de filtração foram testados. A Tabela 9 mostra os resultados da tecnologias de filtração para adequação de efluentes ao reúso, estudados no PROSAB, tema 2, edital 4 em escala piloto.

**Tabela 9: Resultados de filtração para adequação de efluentes ao reúso estudadas no PROSAB.**

Instituição	Filtro	DBO (mg/l)	SST (mg/l)	C. Termotolerantes
UFRJ	biológico percoladores	32	30	-
UFSC	de Pedra	73,5 ( $\pm 0,7$ )	16,0 ( $\pm 2,8$ )	1,17 E+04 ( $\pm 7,62$ E+03)
UFMG	de Pedra	29,5 ( $\pm 3,3$ )	42,5 ( $\pm 21,9$ )	2,13 E+04 ( $\pm 2,93$ E+03)
UFBA	intermitentes de leito de areia	8,0 ( $\pm 3,6$ )	3,2 ( $\pm 3,5$ )	1,00 E+03
PUC-PR	rápidos de areia	73,0 ( $\pm 23$ )	19,3 ( $\pm 0,6$ )	-

Fonte: Florencio *et al.* 2006

### **Programa Nacional de Combate ao Desperdício - PNCDA**

Instituído em abril de 1997, pelo Governo Federal, o PNCDA foi criado com o objetivo geral da promoção do uso racional da água de abastecimento público, onde integram as ações para o desenvolvimento operacional dos serviços, como o controle de perdas não físicas e físicas, e ações de gestão da demanda urbana de água.

O principal programa brasileiro voltado para a conservação de água potável é o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, coordenado pela Secretária Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. Foi instituído através da articulação institucional entre o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, o Ministério das Minas e Energia e o Ministério do Planejamento e Orçamento por meio do Departamento de Saneamento da SEPURB. Como uma das medidas iniciais do programa foi firmado um convênio com a Fundação para Pesquisa Ambiental (FUPAM), envolvendo a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo na realização de estudos específicos e a organização de uma documentação técnica para dar suporte às atividades do programa (Gonçalves *et al.*, 2006)

### **Objetivos do PNCDA**

O objetivo principal do PNCDA é promover o uso racional de água de abastecimento público nas cidades brasileiras, como suporte às ações de saúde pública, de saneamento ambiental e de eficiência dos serviços. Busca permanentemente definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, que contribuam para a conservação de água nas áreas urbanas.

Segundo Craciun (2007), o PNCDÁ tem como objetivos específicos:

- Promover a produção de informações técnicas confiáveis para o conhecimento da oferta da demanda e da eficiência no uso da água de abastecimento urbano;
- Apoiar o planejamento de ações integradas de economia de água em sistemas municipais e regionais de abastecimento, incluindo componentes de gestão de demanda, de melhoria operacional e de uso racional da água nos sistemas prediais;
- Apoiar os serviços de saneamento básico no manejo de cadastros e operacionais com vistas à redução nos volumes de águas não faturadas;
- Apoiar os serviços do setor na melhoria operacional para redução de perdas físicas e não físicas, notadamente em macromedição, micromedição, controle de pressão na rede e redução consumos operacionais na produção e distribuição de água;
- Apoiar os programas de gestão de qualidade aplicados a produtos e processos que envolvam conservação e uso racional da água nos sistemas públicos e prediais.

A Tabela 10 mostra algumas leis que incentivam o uso racional da água no Brasil.

## Leis que incentivam o uso racional de água

Tabela 10: Algumas leis de incentivo ao uso racional de água no Brasil

LOCAL / DATA	Lei	Teor
MUNICÍPIO DE CURITIBA/PR 18 de setembro de 2003	LEI Nº 10785/2003	CRIA NO MUNICÍPIO DE CURITIBA, O PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO E USO RACIONAL DA ÁGUA NAS EDIFICAÇÕES .
MUNICÍPIO DE MARINGÁ/PR 21 de janeiro de 2003	LEI Nº 6076/2003	DISPÕE SOBRE O REÚSO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO/SP 01 de fevereiro de 2002	LEI Nº 13309/2002	DISPÕE SOBRE O REÚSO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO/SP 04 de janeiro de 2002	LEI Nº 13.276/200	TORNA OBRIGATÓRIA A EXECUÇÃO DE RESERVATÓRIO PARA AS ÁGUAS COLETADAS POR COBERTURAS E PAVIMENTOS NOS LOTES, EDIFICADOS OU NÃO, QUE TENHAM ÁREA IMPERMEABILIZADA SUPERIOR A 500M <sup>2</sup>
MUNICÍPIO DE RECIFE/PE 17 de abril de 2002	LEI Nº 16759/2002	INSTITUI A OBRIGATORIEDADE DA INSTALAÇÃO DE HIDRÔMETROS INDIVIDUAIS NOS EDIFÍCIOS
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 04 de janeiro de 2001	LEI Nº 11575/2001	INSTITUI A "SEMANA ESTADUAL DA ÁGUA" NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS
ESTADO DE SÃO PAULO 7 de outubro de 2003	DECRETO Nº 48138/2003	INSTITUI MEDIDAS DE REDUÇÃO DE CONSUMO E RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ÁGUA NO ÂMBITO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Fonte: Cracium 2007

### 3.6-Exemplos de uso racional e reúso de águas no Brasil

#### 3.6.1-Programa de Uso Racional de Água SABESP- (PURA-SABESP)

No estado de São Paulo, há o Programa de Uso Racional da Água (PURA). Segundo Ywashima (2005), o PURA foi desenvolvido entre 1995 a 1997, numa parceria entre a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) e o Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo (IPT)

A empresa adotou uma política de incentivo ao uso racional da água, buscando a conscientização da população, através de um programa denominado PURA (Programa de Uso Racional da Água). Informações mais detalhadas sobre esse programa podem ser obtidas no site: [www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br). O Programa de Uso Racional da Água - PURA tem como principal objetivo garantir o fornecimento de água e a qualidade de vida da população. Seus principais objetivos específicos são:

- Mudar vícios de uso abusivo de água no cotidiano das pessoas
- Implementar leis, regulamentos e normas para a utilização racional da água e uso dos equipamentos economizadores em prédios de órgãos públicos
- Implementar normas sobre o desenvolvimento e padronização de equipamentos economizadores de água
- Mudar projetos de instalações prediais de água fria e quente, de parâmetros hidráulicos e código de obras
- Introduzir o programa no currículo das escolas das redes de ensino estadual e municipal de São Paulo, através de programas específicos .

Desenvolvido em conjunto com a Escola Politécnica de São Paulo, este projeto foi aplicado em diversos tipos de edificação como escolas, edifícios de apartamentos, hospitais e obteve bons resultados, chegando ao índice de economia que variou entre 6% a 93% dependendo do tipo de edificação. Como exemplo de sucesso deste programa pode-se destacar:

#### **Redução de consumo de água com substituição de bacias sanitárias e aparelhos em escola municipal:**

O primeiro passo foi quantificar o volume de água gasto nos banheiros da escola. Tal medição foi realizada com CLP (Controlador Lógico Programável). Desta forma determinou-se o consumo dos seguintes produtos: bacia sanitária, válvula para mictório e torneira para mictório. Depois desse levantamento inicial, esses equipamentos foram substituídos por equipamentos destinados à economia de água.

O segundo passo foi chamado de “plano de intervenção” e consistiu na substituição dos seguintes itens:

- 9 torneiras convencionais por torneiras de fechamento automático;

- 10 bacias sanitárias por bacias 6lpf (litros por função)
- 10 válvulas de descarga antigas por novas com acabamento antivandalismo
- 3 registros de pressão por válvulas para mictório com fechamento automático

O terceiro e último passo foi a avaliação dos resultados, os quais estão indicados nas Tabelas 11 e 12:

Tabela 11: Redução de consumo com a troca de torneira e válvula para mictório em escola municipal.

	<b>Consumo Antes</b>	<b>Consumo Depois</b>
Banheiro feminino-torneira	655,9 l/mês	108,2 l/mês
Banheiro masculino: mictório + torneiras	119234,2 l/mês	177,4 l/mês
Consumo total das torneiras e mictórios	119890,1 l/mês	285,6 L/mês

Fonte: Ywashima (2005)

Tabela 12: Redução de consumo com a troca de Bacias e Válvulas de descarga

	<b>Consumo Antes</b>	<b>Consumo Depois</b>
Banheiro feminino - válvulas	3721,6 l/mês	2028,2 l/mês
banheiro masculino válvulas	1497,4 l/mês	177,4 l/mês

Fonte: Ywashima (2005)

### **Escola Estadual Fernão Dias Paes**

Segundo Ywashima (2005), O ano de implantação desse projeto foi 1997, teve duração de 2 meses e a principal ação foi a detecção e consertos de vazamentos visíveis e não visíveis na rede externa, reservatórios e instalações hidráulicas e prediais; troca de equipamentos convencionais por outros economizadores de água, além de uma campanha educacional. No mês anterior à implantação do projeto a escola consumiu 4.160 m<sup>3</sup>, o que resultou em uma conta de R\$ 37.440,00; no mês posterior à implantação, o consumo foi de 250 m<sup>3</sup> e uma conta de R\$ 2.250,00. Ou seja, o PURA resultou em uma economia de R\$ 35.190,00 e 3.910 m<sup>3</sup>/mês ou, ainda, 94% das despesas. Dessa forma, o período de retorno de investimento foi de cinco dias.

### 3.6.2 - Venda de água para Reúso da Sabesp

O programa de reúso visa apresentar ao mercado um novo produto, que pode ser utilizado em diversos processos e atividades que não requeiram a utilização de água potável. A água de reúso pode ser adquirida por um preço mais atrativo pelos clientes e, apesar de inadequada para o consumo humano, pode ser utilizada em processos industriais como resfriamento de caldeiras e ar condicionado, irrigação, lavagem de piso e ruas, desobstruções, etc. A finalidade maior do programa é o de identificar possíveis interessados na aquisição de água não potável para utilização em seus processos e firmar contratos de fornecimento, seja diretamente por rede de clientes próximos as ETES ou através de caminhão tanque. Todo o trabalho desenvolvido pela Sabesp é baseado em experiências internacionais, artigos técnicos e estudos elaborados por empresa especializada, uma vez que ainda não há normas ou diretrizes nacionais que permitam o embasamento do trabalho. (SILVA, 2005).

Segundo Padula Filho (2002), alguns exemplos brasileiros merecem destaque, como a Estação Experimental Jesus Netto, da Sabesp, que ocupa uma área de 12300 m<sup>2</sup> às margens do rio Tamanduateí, no bairro do Ipiranga, no município de São Paulo. Foi inaugurada em 1934, como estação experimental e trata 60 L/s de esgotos sanitários por meio de dois sistemas de tratamento que operam em paralelo, um por lodos ativados e outro por reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA), seguido de filtro biológico. Tratando-se de uma estação experimental e de um verdadeiro centro de treinamento, a estação possui, também, em escala reduzida, os processos de lagoa facultativa, adensador, digestor, tanque de acúmulo de lodo, queimadores de gás, leito de secagem, filtro prensa e um laboratório de esgoto para controle dos parâmetros de tratamento. O reúso de água na Estação de Tratamento de Esgoto Jesus Netto foi a primeira iniciativa da Sabesp nesse campo, desenvolvida em escala piloto, com aplicação em escala real e compromisso de continuidade formalizado com clientes externos.

Esta ETE fornece, segundo o mesmo autor, 20 L/s de água para a indústria Coats Corrente, que se insere dentro do Programa de Reúso de Água da Sabesp. O contrato entre as partes prevê as seguintes características de fornecimento para água de reúso:

- Volume Mensal: 20000 m<sup>3</sup>
- Vigência do Contrato: 3 anos renováveis, ao seu término
- Preço inicial (Agosto 1998): R\$ 0,46/m<sup>3</sup>
- Critério de reajuste: Proporcional à tarifa da Sabesp

Segundo Silva (2005), este projeto foi possível devido à proximidade da planta industrial com a ETE (cerca de 500 m), tornando viável economicamente a instalação da rede. A água é transportada por uma tubulação de ferro fundido de 800 metros de comprimento, com diâmetros de 150 a 200 mm.

Para produção da vazão máxima de 60L/s de água para reúso, foi concebido um novo arranjo entre as unidades existentes na ETE. De modo a utilizá-las parcialmente, é feita a seguinte seqüência:

- Tratamento preliminar:
- Tratamento primário: ocorre num decantador primário retangular com 2,5 horas de tempo de detenção e remoção do lodo de fundo por descarga hidráulica , encaminhada ao adensador
- Tratamento secundário: realizado em dois processos paralelos, um no sistema de lodos ativados e um reator de fluxo ascendente, aeração e filtro biológico, com desnitrificação.
- Tratamento físico e químico
- Tratamento de sólidos.

A água de reúso destina-se a diversos fins: geração de energia, refrigeração de equipamentos, lavagem de ruas e pátios, irrigação e rega de áreas verdes, desobstrução de redes de esgotos e galerias lavagem de veículos e em diversos processos industriais

Após diversos estudos e avaliações, a Sabesp passou a fornecer a água de reúso em maio de 2001, ao município de São Caetano do Sul, que passou a fazer a lavagem de ruas, após as feiras livres e rega de jardins, com o produto retirado na Estação de Tratamento de Esgoto ABC. No início de 2002, os municípios de Barueri e Carapicuíba também começaram a utilizar a água de reúso (SILVA, 2005).

Hoje, entre os principais clientes estão as prefeituras de algumas importantes cidades de São Paulo, entre elas : São Paulo, São Caetano, Barueri, Carapicuíba, Santo André e Diadema

Até mesmo algumas construtoras adquirem água de reúso. Segundo Silva (2005), em julho de 2002, foi assinado contrato para fornecimento de até 172 mil litros por dia de água de reúso a várias construtoras. O produto é retirado nas estações ABC, Barueri e Parque Novo Mundo, com caminhão-pipa das empresas

A Sabesp tem hoje uma grande capacidade de produção de água para reúso, como consta na Tabela 13.

Tabela 13: Capacidade de produção da Sabesp.

ETEs	Capacidade de Produção de esgoto tratado	Capacidade de produção de água de reúso (m <sup>3</sup> /mês)	Fornecimento atual + uso interno (m <sup>3</sup> /mês)	Disponibilidade de Água de Reúso* (m <sup>3</sup> /mês)	Disponibilidade de Efluente Final** (m <sup>3</sup> /mês)
ABC	4.035.706	34.560	8.500	26.060	4.001.146
Barueri	20.215.655	7.776	4.200	3.576	20.207.879
São Miguel	1.711.747	31.104	3.509	27.595	1.680.643
Suzano	-	-	-	-	-
PQ. Novo Mundo	5.506.214	51.840	8.204	43.636	5454.374
Jesus Neto	195.477	100.800	74.800	26.00	94.677
Total	31.664.779	226.080	99.123	126.867	31.438.719

\*Água para uso urbano não potável aplicada em lavagens de ruas, regas de áreas verdes, desobstrução de galerias de esgotos e águas pluviais e perfuração direcional

\*\* esgoto tratado que deverá passar por polimento para adequá-lo aos requisitos do uso a que se destina.

**Fonte: Silva, 2005**

O processo produtivo da água de reúso a partir do efluente final da ETE é realizado por meio de filtração com filtros cesto e filtros de dupla camada (areia e antracitos) com lavagem automáticas. Em seguida, passa pela primeira desinfecção com hipoclorito de sódio e é armazenada em um tanque de contato. Após o tempo de contato, a água é bombeada e encaminhada para um filtro cartucho de 1 micra, que posteriormente recebe nova dosagem de hipoclorito de sódio, sendo encaminhada para reservação, onde os caminhões são abastecidos. (SILVA, 2005).

### 3.6.3 - Pró-Água UNICAMP

Segundo Pedroso (2002), o projeto do Pró-Água/UNICAMP consistiu em um Programa de Uso Racional de Água (PURA), que foi implementado na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) gerando uma redução de consumo considerável e, conseqüentemente, grandes economias. Após a realização do conserto dos vazamentos encontrados, foram obtidas significativas reduções no consumo de água (entre 4% e 77%). O programa teve como principal enfoque o intuito de evitar estas perdas, implantando um sistema de manutenção nos sistemas prediais de água, o que possibilita a permanência da economia adquirida, como também aumentá-la. Para isso, foram contempladas ações de conserto de vazamentos nos sistemas prediais, troca de equipamentos, instalação de sistema de telemedição e gestão de perdas.

O PURA no Campus da UNICAMP foi aplicado em 228 edifícios, 20 unidades de ensino e contemplando uma população superior a 30.000 pessoas/dia.

Durante o período de 1999 a 2002, foram implementadas as seguintes ações:

- Conserto de patologias: onde foram cadastradas 11.483 pontos de consumo, dos quais 1.263 possuíam problemas.
- Instalação de dispositivos economizadores: foram instalados 2.409 componentes;
- Implantação de sistemas de medição remota

Esta implantação envolveu 72 edificações com redução do consumo de água de 24% e uma economia mensal apurada de R\$ 240.000

## 3.7- Tecnologia do Reúso de Água

Existem vários processos e maneiras de recuperação da qualidade da água a fim de tornar-la apta a reúso. Claro que o processo mais adequado irá depender da finalidade requerida pela água. Entre as muitas tecnologias disponíveis podemos citar: Lagoas de estabilização, filtros biológicos, filtros, lodos ativados entre outros. Este item irá abordar o tratamento anaeróbio, o biofiltro aerado submerso e a associação entre ambos, já que este é a configuração da estação utilizada na UO-RNCE da PETROBRÁS

### 3.7.1- Tratamento Anaeróbio

A consciência crescente de que o tratamento de águas residuárias é de vital importância para a saúde pública e para o combate à poluição das águas de

superfície, levou à necessidade de se desenvolver sistemas que combinam uma alta eficiência a custos baixos de construção e de operação. O aumento do preço de energia, nos anos setenta, diminuiu a atratividade de sistemas de tratamento aeróbio e intensificou a pesquisa de sistemas sem demanda de energia. Assim, nas últimas décadas, desenvolveram-se vários sistemas que se baseiam na aplicação da digestão anaeróbia para a remoção do material orgânico de águas residuárias (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

O tratamento anaeróbio necessita integração em um programa de tratamento global, porque para se obter uma completa remoção e recuperação ou reutilização de poluentes, também outros processos de tratamento são requeridos. Uma das principais desvantagens dos processos anaeróbios é a elevada concentração de nitrogênio amoniacal no seu efluente, o que impede a sua descarga direta em um corpo receptor (GODOY, 2007).

A digestão anaeróbia é uma tecnologia que oferece efetiva proteção ao meio ambiente, a baixo custo. Os processos anaeróbios requerem, em geral, menor espaço e tem baixa produção de lodo, estimada como sendo inferior a 20% da apresentada por processos aeróbios convencionais, e também oferecem a possibilidade de recuperação e utilização do gás metano como combustível (CHERNICHARO, 1997).

A digestão anaeróbia é um processo biológico de decomposição de material orgânico que, em principio, não corrige outras características indesejáveis do efluente, como presença de microrganismos patogênicos e nutrientes. Se o objetivo do tratamento for a remoção de carga orgânica, há uma grande vantagem no uso do UASB como um sistema de pré-tratamento, com tratamento complementar em sistemas convencionais. Estes sistemas combinados podem fornecer um efluente de qualidade superior, a um custo muito menor do que os sistemas convencionais (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Nos últimos anos, diversas instituições têm se dedicado a trabalhos de pesquisa fundamental e aplicada, tendo contribuído significativamente para a evolução e para uma maior disseminação da tecnologia de tratamento anaeróbio no Brasil. Em decorrência da ampliação de conhecimento na área, os sistemas anaeróbios de tratamento de efluentes, principalmente os reatores de manta de lodo (UASB), passaram a ocupar uma posição de destaque, não só em nível mundial, mas,

principalmente, em nosso país. Essa trajetória de aceitação passou de um estágio de descrédito, até início dos anos 80, para a fase atual de grande aceitação e foi responsável pelo grande avanço da biotecnologia anaeróbia para tratamento de águas residuárias (CHERNICHARO,1997; ZAIAT,1996).

A aceitação e a disseminação da tecnologia UASB, colocam o Brasil em uma posição de vanguarda em nível mundial.

Os microorganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três grupos de bactérias, com comportamentos fisiológicos distintos (CHERNICHARO, 2001):

**Bactérias Fermentativas:** transformam, por hidrólise, polímeros em monômeros, e estes, em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos, como glicose.

**Bactérias Acetogênicas:** convertem os produtos gerados pelas bactérias fermentativas em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

**Bactérias Metanogênicas:** utilizam como substrato os produtos finais do segundo grupo. Algumas usam o acetato, transformando-o em metano e dióxido de carbono, enquanto outras produzem metano através da redução do dióxido de carbono.

A bioquímica do processo de digestão anaeróbia divide-se em quatro fases principais, conforme descritas por CHERNICHARO (2001) :

1) **HIDRÓLISE:** conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos mais simples pela ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Essa fase é lenta e pode ser afetada por diversos fatores.

2) **ACIDOGÊNESE:** os produtos da hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidas em compostos mais simples, como ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio. Como os ácidos graxos voláteis são os principais produtos dos organismos fermentativos, estes são chamados bactérias fermentativas acidogênicas. A maioria das bactérias acidogênicas é anaeróbia estrita, mas cerca de 1% consiste de bactérias facultativas, que produzem alimento para as bactérias anaeróbias, e eliminam quaisquer traços de oxigênio dissolvido que tenha permanecido no material orgânico.

3) **ACETOGÊNESE:** As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH no meio aquoso decresça. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas. Porém pelo menos 50% da DQO biodegradável é convertida em propionato e butirato, os quais são posteriormente decompostos em acetato e hidrogênio pela ação das bactérias acetogênicas.

4) **METANOGÊNESE:** etapa final do processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono; é efetuada pelas bactérias metanogênicas. As bactérias metanogênicas utilizam apenas um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Elas são divididas em dois grupos principais: um que forma metano a partir de ácido acético ou metanol (bactérias acetoclásticas, responsáveis por 60-70% de toda a produção de metano a partir do grupo metil do ácido acético), e o segundo que produz metano a partir do hidrogênio e dióxido de carbono (hidrogenotróficas, constituída por uma gama bem mais ampla de espécies do que as acetoclásticas). Esses dois grupos de bactérias são responsáveis pelo consumo de hidrogênio das fases anteriores.

Como se percebe, a digestão anaeróbia é um processo que envolve vários microrganismos que convivem em um ambiente em que um produto metabólico de um microrganismo é o substrato de outro, devendo funcionar em perfeita harmonia. Portanto, para otimização do processo os fatores ambientais devem ser apropriados para todas as espécies participantes, sendo as Arqueas metanogênicas as de maior exigência. Condições ambientais de pH em torno de 7, temperatura na faixa mesofílica e ambiente anaeróbio estrito, são condições tidas como ótimas para o processo.

Embora o UASB seja um reator que inclui amplas vantagens, principalmente no que diz respeito a requisitos de área, simplicidade de operação, manutenção e

redução de matéria orgânica, algumas desvantagens ainda são atribuídas a ele: as bactérias anaeróbias são suscetíveis à inibição por um grande número de compostos; a partida do processo pode ser lenta na ausência de lodo de semeadura adaptado; alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária; a bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas; há a possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis; há possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável; a remoção de nitrogênio, fósforo e microorganismos patogênicos é insatisfatória (VON SPERLING,1996).

### **3.7.2- Biofiltro Aerado Submerso**

Os reatores aeróbios de biomassa fixa submersa têm sido uma nova tecnologia utilizada nos processos de tratamento biológico de esgotos. Pesquisadores europeus já estudam desde o final da década de 1980 esses reatores, os quais são utilizados para a remoção de nutrientes ou aumento nas eficiências de estações já existentes (SITÔNIO,2001).

O entendimento dos mecanismos e processos envolvidos na depuração em reatores com biofilme aceleram o surgimento de novos reatores a partir dos anos 70. Melhorias no tocante à mistura de fases, à transferência de oxigênio e à separação de fases foram incorporadas aos processos, melhorando o desempenho através do controle efetivo da espessura do biofilme e do incremento da transferência de massa (GODOY 2007).

Os primeiros BAS, surgido no início dos anos 80, foram concebidos para realizar a remoção de sólidos suspensos e a oxidação da matéria orgânica em esgotos domésticos (GODOY 2007).

Na Prática, o biofiltro aerado submerso é um reator de alta taxa, no qual o tratamento biológico do esgoto é realizado por microorganismos aderidos a um meio suporte inerte e completamente submerso esse reator tem como principal característica a superposição dos processos de eliminação biológica de poluentes e de filtração de partículas em suspensão no esgoto (GONÇALVES *et al.*,1993).

No Brasil, os BAS vêm sendo utilizados basicamente como unidade de pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, com vistas à remoção de matéria orgânica. As maiores ETEs têm capacidade para tratar uma vazão média de 30l/s

de esgotos sendo a mais antiga em operação a ETE Canivete (10l/s), em funcionamento desde o início de 1999, no município de Linhares (ES) (GONÇALVES *et al.*, 2001).

Os biofiltros aerados submersos, que consistem em um processo de biomassa fixa, porém submersa constituem-se hoje em dia numa tecnologia madura originando ETEs compactas, de baixo impacto ambiental, passíveis de serem cobertas e desodorizadas.. Neste tipo de processo é factível a construção em módulos, o sistema permite rápida entrada em regime, não necessitam de clarificação e possuem estabilidade operacional (Silva, 2005).

### **3.7.3- Associação Tratamento Anaeróbio e Aeróbio**

Características favoráveis como baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de sólidos conduzem os processos anaeróbios de tratamento de esgotos a uma posição de destaque no Brasil, particularmente os reatores de manta de lodo (UASB) . Hoje em dia, praticamente todas as análises de alternativas de tratamento incluem esses reatores como uma das principais opções. Em que pese suas grandes vantagens, em muitos casos os reatores UASB têm dificuldades em produzir um efluente que se enquadre dentro da legislação ambiental brasileira. Por esse motivo o pós-tratamento do efluente de reatores UASB assume importância fundamental para a proteção dos corpos d água receptores. (Gonçalves et al 1997).

Por outro lado, a importância da associação de reatores anaeróbios e aeróbios para o tratamento de esgoto sanitário é reconhecida por vários pesquisadores. Compacidade, economia de energia e redução significativa da produção de lodo são algumas das vantagens decorrentes de tal associação quando comparadas a estações de tratamento convencionais (Colleti *et al.*, 1997). Iwai e Kitao (1994) apud Von Sperling (1996) citam a grande quantidade de unidades de tratamento em escala residencial em operação atualmente no Japão, combinando fossas sépticas e reatores aeróbios com biofilme.

Os novos sistemas de tratamento de esgotos apresentam um conceito diferenciado no qual as ETE's do século XXI devem conjugar os seguintes requisitos: adequada eficiência de tratamento, compacidade, economia de energia, produção e processamento de lodo, controle de odores e integração com o

ambiente, automação, redução do impacto visual, sustentabilidade, novos materiais e métodos construtivos e modernas práticas de gestão (Gonçalves & Pinto, 2000).

As características favoráveis dos sistemas anaeróbios, como baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de lodo, aliada às condições ambientais no Brasil, onde há predominância de elevadas temperaturas, têm posicionado esses sistemas como uma opção ideal de tratamento de esgotos, principalmente os reatores UASB (GODOY, 2007).

A utilização de processos anaeróbios para tratamento de águas residuárias teve um grande impulso após a crise energética dos anos 70 (Vieira, 2000) citado por Bauer 2003). Segundo Van Handel e Lettinga (1994) citado por Bof et al (1999), o reator UASB constitui o sistema de tratamento anaeróbio de mais alta aplicação prática, principalmente em regiões de clima tropical e subtropical.

Os reatores UASB nem sempre atendem aos padrões estabelecidos para lançamento de efluentes, tornando-se necessário um a etapa de pós tratamento. Esta unidade, em muitos casos dependendo da capacidade de auto depuração do corpo receptor, torna-se uma obrigatoriedade tendo em vista que a maioria dos corpos d'água receptores no Brasil estão enquadrados na classe 2.

Desta forma, existe hoje no Brasil, uma forte tendência à utilização da combinação em série de processos anaeróbios e aeróbios, para se ter um efluente de qualidade combinado com vantagens desse tipo de associação (Além Sobrinho, 2000).

Essa tendência decorre da necessidade de se manter a qualidade das águas residuárias dos corpos receptores, exigindo a implantação de tratamento de esgotos cada vez mais eficientes (Bof, 1999).

A grande aceitação do sistema anaeróbio-aeróbio para o tratamento de águas residuárias, e o esforço contínuo para o melhoramento da tecnologia na sua aplicação mais eficiente e rentável, têm gerado um interesse por investigar os aspectos que possam simplificar a operação global do processo (Ortega *et al.*, 1996).

No Brasil os reatores UASB são a principal opção tecnológica para o tratamento primário dos esgotos, e a importância da associação de reatores anaeróbios e

aeróbios para o tratamento de esgotos é reconhecida por diversos pesquisadores no âmbito do PROSAB.

Pode-se citar como vantagens da associação: melhor qualidade do efluente tratado, menor custo de energia, menores volumes de lodo, menos unidades a serem implantadas, menos equipamentos e simplicidade operacional ( Von Sperling & Chernicharo, 1998 citado por Veronez, 2001).

Em comparação a uma ETE convencional (decantador primário + tratamento biológico aeróbio+ decantadores+adensador e digestor de lodo, pode-se dizer que uma ETE do tipo UASB seguido de tratamento biológico aeróbio ( com recirculação do lodo aeróbio para o UASB), pode apresentar as seguintes vantagens (ALÉM SOBRINHO, 2000):

- Substituição dos decantadores primários e secundários, inclusive seus equipamentos por reatores UASB;
- Redução do volume dos reatores biológicos aeróbios para cerca da metade do volume dos tanques ou reatores das ETEs convencionais devido a maior eficiência do UASB na remoção de DBO, como etapa de tratamento primário;
- Para o caso de sistemas de lodos ativados, o consumo de energia para a aeração cairá para cerca de 50 a 55% da ETE convencional, quando não se tem nitrificação, e para cerca de 65 a 70% quando se tem nitrificação;
- Custo de implantação da ETE com reator UASB seguido de tratamento biológico aeróbio será no máximo de 80% daquele de uma ETE convencional e o custo operacional, devido à maior simplicidade e menor consumo de energia do sistema combinado anaeróbio-aeróbio, pode representar ainda uma vantagem maior para esse sistema ( Silva, 1993 citado por Além Sobrinho, 2000).

Conforme abordado anteriormente, o emprego de reatores UASB no tratamento de esgotos sanitários predominantemente domésticos vem sendo largamente difundido no Brasil, em função principalmente, da compactidade e baixo custo energético. Porém sua aplicação tem se mostrado insuficiente para isoladamente assegurar atendimento à legislação ambiental fazendo necessário a implantação de etapas de pós tratamento.

Dentre as opções disponíveis para pós-tratamento de reatores UASB destacam-se os processos de reatores com biofilme. No Brasil, a associação em série de reatores do tipo UASB e reatores com biofilme do tipo Biofiltros Aerados submersos

(BFs) vem recentemente sendo utilizada como solução para o tratamento de esgotos em pequenos e médios municípios.

Em relação aos processos similares da Europa, os biofiltros surgidos no Brasil geram ETEs compactas, com baixos custos de implantação, operação e manutenção, que não demandam mão-de-obra qualificada e apresentam baixos consumo energético e produção de lodo (BOF *et al.*, 2001).

### **3.8- Contaminação da água por nutrientes**

#### **3.8.1- Nitrogênio**

O nitrogênio é um componente que entra na composição de duas moléculas orgânicas de considerável importância para os seres vivos: as proteínas e os ácidos nucléicos. Embora presente em grande concentração no ar atmosférico, essencialmente na combinação molecular  $N_2$ , poucos são os organismos que assimilam nessa forma. Apenas certas bactérias e algas cianofíceas podem retirá-lo do ar na forma  $N_2$  e incorporá-lo às suas moléculas orgânicas. Contudo, a maioria dos organismos não consegue reter e aproveitar o nitrogênio na forma molecular, obtendo esse nutriente na forma de íons amônio, bem como íons nitrato (ZUBLENA *et al.*, 2001).

O processo pelo qual o nitrogênio circula através das plantas e do solo pela ação dos organismos vivos é chamado de ciclo do nitrogênio. O principal reservatório de nitrogênio é a atmosfera onde se encontra na forma de gás  $N_2$ . Apesar de extremamente abundante na atmosfera o nitrogênio é freqüentemente o fator limitante de crescimento nas plantas. Isto ocorre porque as plantas conseguem usar o nitrogênio em três formas sólidas: íons de amônio ( $NH_4^+$ ), íon de nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ), cuja existência não é tão abundante. Estes compostos são obtidos por vários processos tais como a fixação e a nitrificação. A maioria das plantas obtém o nitrogênio necessário ao seu crescimento através do nitrato, uma vez que o íon de amônio lhes é tóxico em grandes concentrações. Os animais recebem o nitrogênio que necessitam através das plantas e de outra matéria orgânica, tal como outros animais (MORAES, 2001).

## Contaminação do lençol por nitrogênio

Das diversas formas de nitrogênio presentes na natureza, a amônia ( $\text{NH}_3$ ) e, em especial, o nitrato podem ser causas da perda de qualidade da água. Embora a amônia, quando presente na água em altas concentrações, possa ser letal aos peixes pela toxicidade que representa para esse grupo da fauna, a amônia originada no solo ou aplicada via fertilizantes tende a ser rapidamente convertida em amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e esse, por sua vez, é convertido em nitrato pelo processo microbiano da nitrificação. (DYNIA e CAMARGO, 2002).

Segundo Bhumbla (2001), os principais fatores envolvidos na quantidade de nitrato presente ou adicionado no solo são: a sua permeabilidade, a pluviosidade da região e a profundidade de lençol freático ou aquífero.

Profundidade do lençol freático ou do aquífero: Em princípio, quanto mais próximo o corpo d'água se encontrar em relação ao solo, tanto menor será o caminho a ser percorrido pelo íon nitrato até atingir a água. A ocorrência de perfis profundos reduz ou retarda o risco de contaminação. Camadas rochosas ou de adensamento forçam o deslocamento horizontal, mas podem existir fraturas ou falhas nessas camadas que permitem a passagem dos íons;

Permeabilidade: A probabilidade de lixiviação de nitrato é, em geral, tanto maior quanto maior a permeabilidade do solo. Todos os atributos do solo (notadamente a textura arenosa) que favorecem a infiltração tornam a área mais vulnerável à contaminação subterrânea.

Pluviosidade: Em regra geral, quanto maior for a pluviosidade de uma região maior será o risco de contaminação.

Segundo Zublena *et al.* (2001), Pessoas adultas podem ingerir quantidades relativamente altas de nitrato, por meio de alimentos e da água, e excretá-lo pela urina sem maiores prejuízos à saúde. Contudo, bebês menores de seis meses de idade possuem bactérias no trato digestivo que reduzem o nitrato a nitrito, podendo haver envenenamento. Quando o nitrito alcança a corrente sanguínea, ocorre reação com a hemoglobina, formando o composto metahemoglobina o qual diminui a capacidade do sangue transportar oxigênio. Nessa situação, a criança pode sofrer asfixia ficando com a pele azulada, especialmente ao redor dos olhos e da boca,

sintomas típicos da metahemoglobinemia ou síndrome do bebê azul. A doença é letal quando 70% da hemoglobina do corpo é convertida em metahemoglobina.

Altas concentrações de nitrato têm sido associadas à ocorrência de câncer estomacal ou de esôfago pela formação de N-nitrosaminas, potente agente carcinogênico derivado da interação do nitrito com aminas secundárias.

### **Medidas de controle do excesso de nitrato na água**

Uma vez constatados níveis excessivos de nitrato na água de consumo, métodos específicos para remoção desse contaminante podem ser utilizados, haja vista que os sistemas de tratamento convencionais, fervura e desinfecção não conseguem realizar tal remoção. Processos de deionização, destilação ou osmose reversa permitem a purificação da água contaminada por nitrato a custos muito elevados (MORAES, 2001).

O abandono das fontes contaminadas pode ser a melhor solução nesse caso. Outra possibilidade é promover a mistura da água imprópria com água de boa qualidade a fim de se diluir o nitrato até conseguir níveis aceitáveis determinados em legislação específica.

O nitrato, oriundo do nitrogênio oxidado do esgoto, é praticamente estável em solos pobres em matéria orgânica. Esta estabilização acontece porque a nitrificação ocorre nas camadas superiores do solo. A desnitrificação, por seu turno, não é possível uma vez que, nestes solos pobres, não há matéria orgânica para a troca de elétrons. Como o nitrato é estável e solúvel em água, ele acaba atingindo o aquífero quando o esgoto ou efluentes de fossas são lançados ou infiltrados no solo. Por isso, em regiões arenosas situadas sobre aquíferos utilizados para captação de água para abastecimento humano, a infiltração de esgoto ou efluentes de fossas no solo causa grave problema. Por exemplo, a cidade de Natal tem cerca de 50% do seu abastecimento de água de poços localizado no meio urbano, e capta esta água do excelente aquífero local. Por falta de sistemas de esgoto em muitas áreas da cidade, a água de abastecimento tem apresentado altas concentrações de nitrato, uma vez que o esgoto é infiltrado no solo através de fossas rudimentares ou sumidouros após tanques sépticos. Esta contaminação já obrigou o fechamento ou retirada de operação de quase metade dos poços construídos, com grande custo para a população. Mesmo assim, e apesar do esforço para diluir a água de poços

com águas de superfície, algumas áreas ainda recebem água com concentrações de nitrato acima de 10 mg N-NO<sub>3</sub>-/L enquanto esperam a construção do sistema de esgotamento sanitário. (VON SPERLING *et al.*, 1996).

### **3.8.2- Fósforo**

#### **Contaminação por fósforo**

Em virtude da forte retenção do fósforo pelas partículas do solo, o processo de poluição da água subterrânea por lixiviação de fosfatos é de magnitude desprezível, especialmente, em solos tropicais. Ademais, analisando os inúmeros casos de acréscimo de fósforo nas águas superficiais, verifica-se que o escoamento superficial de água e a erosão dos solos são os principais agentes de contaminação em áreas agrícolas (EMBRAPA, 2001).

### **3.8.3-Potássio**

O potássio é o segundo macronutriente em teor contido nas plantas. É depois do fósforo, o nutriente mais consumido como fertilizantes pela agricultura brasileira. O comportamento do nutriente em solos tropicais aparenta ser muito mais simples do que em solos de clima temperado. Além disso, só há praticamente um adubo potássico de grande importância. Por essas razões, o interesse pela pesquisa de potássio, em solos e para culturas não tem sido dos maiores restringindo-se, em geral, a trabalhos básicos em casa de vegetação e à experimentação de doses no campo (Embrapa, 2001).

## **3.9 – Categorias de reúso e suas limitações sanitárias e ambientais de aplicação.**

As águas servidas poder ser usadas também na irrigação e na recarga de aquíferos. Porém, conforme Beekman (1998), grandes volumes dessas águas podem ser utilizadas em categorias de reúso (como agricultura irrigada e recarga de aquíferos), devendo atentar para suas limitações de aplicação, como por exemplo:

Na categoria de reúso de águas servidas para a agricultura irrigada de culturas e olericultura, as limitações se referem ao efeito da qualidade da água, principalmente a salinização dos solos, e a preocupação patogênica (bactérias, vírus e parasitas) na saúde pública.

Na categoria para irrigação de ambientes urbanos (parques, jardins, clubes, áreas residenciais, cemitérios, cinturões verdes e gramados), a limitação está relacionada com a contaminação das águas de superfície e subterrânea devido à gestão ineficiente e com restrições na comercialização dos produtos agrícolas e aceitação de mercados.

Na categoria de reúso para recarga de aquíferos (águas subterrâneas, intrusão salina e controle da subsidência), a limitação na aplicação diz respeito a traços de toxicidade e seus efeitos nas águas de reúso, além da possibilidade de existência de sólidos dissolvidos totais, metais pesados e patógenos nas águas de reúso.

## 4 - MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 - Caracterização Da Área em Estudo

O projeto de reúso desenvolveu-se na sede administrativa da PETROBRAS, localizada no bairro de Cidade da Esperança, na cidade do Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte. O bairro tem como limites: ao norte, o bairro de Nossa Senhora de Nazaré, ao sul, os bairros de Candelária e Cidade Nova, a leste, os bairros de Lagoa Nova e Candelária e a oeste, o Bairro de Felipe Camarão (Figura 13).

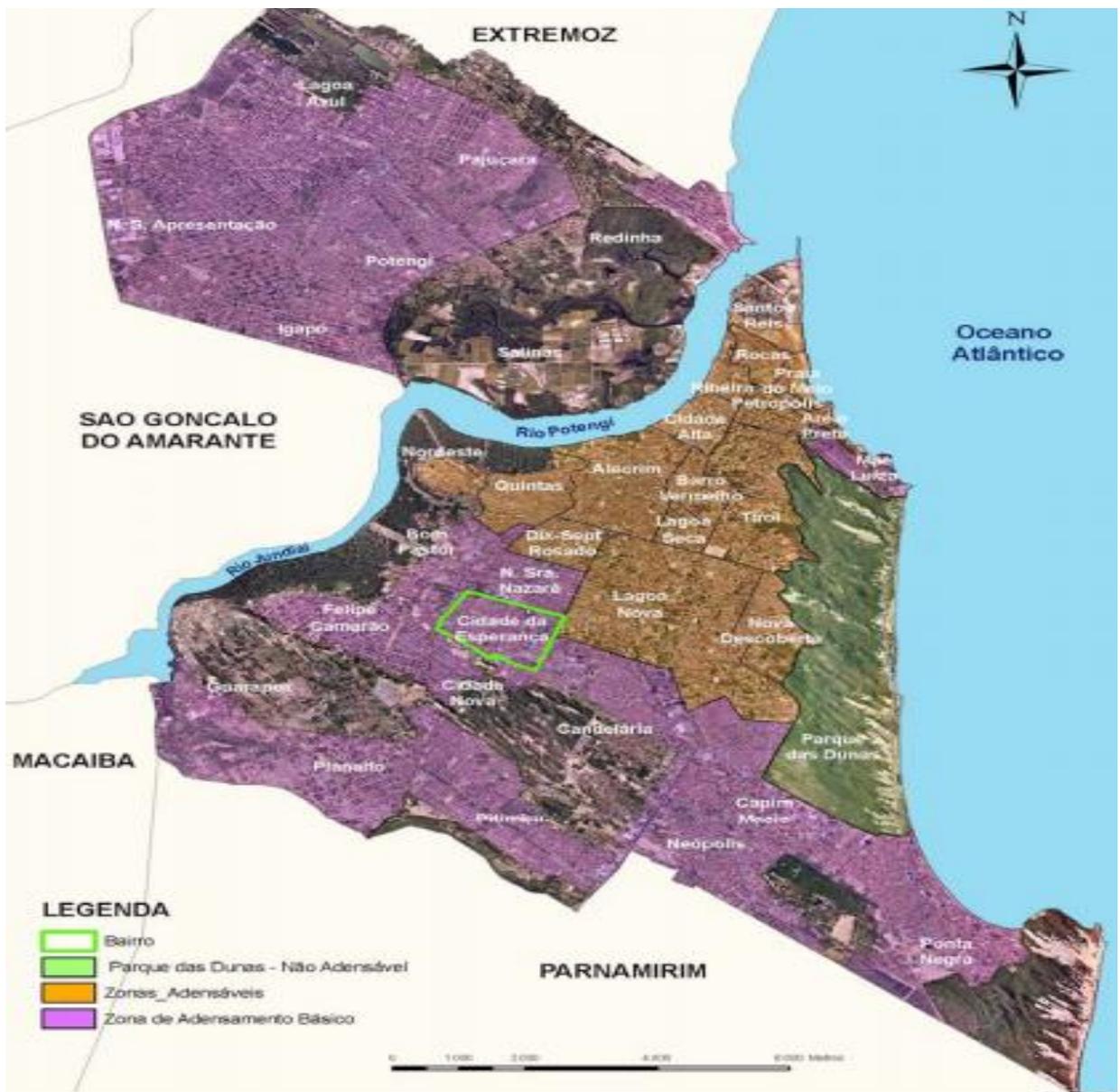


Figura 13: Mapa da cidade de Natal com o bairro de Cidade da Esperança em destaque

A sede administrativa da PETROBRAS é constituída por 14 blocos principais (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N) e uma série de outras edificações: Manutenção, CPD, Recepção, Gerência geral, Banco do Brasil, Banco Real, GP testemunho, GP Protocolo, Galpão Eventos, Guarita, Vestiário, Atran, CPD, Copa, Seg. empresarial, Rh-am/ahr-mas. Como pode ser visto nas Figuras 14,15 e 16.



Figura: 14 Vista aérea da área de estudo



Figura 15: Vista aérea da sede da PETROBRAS em destaque

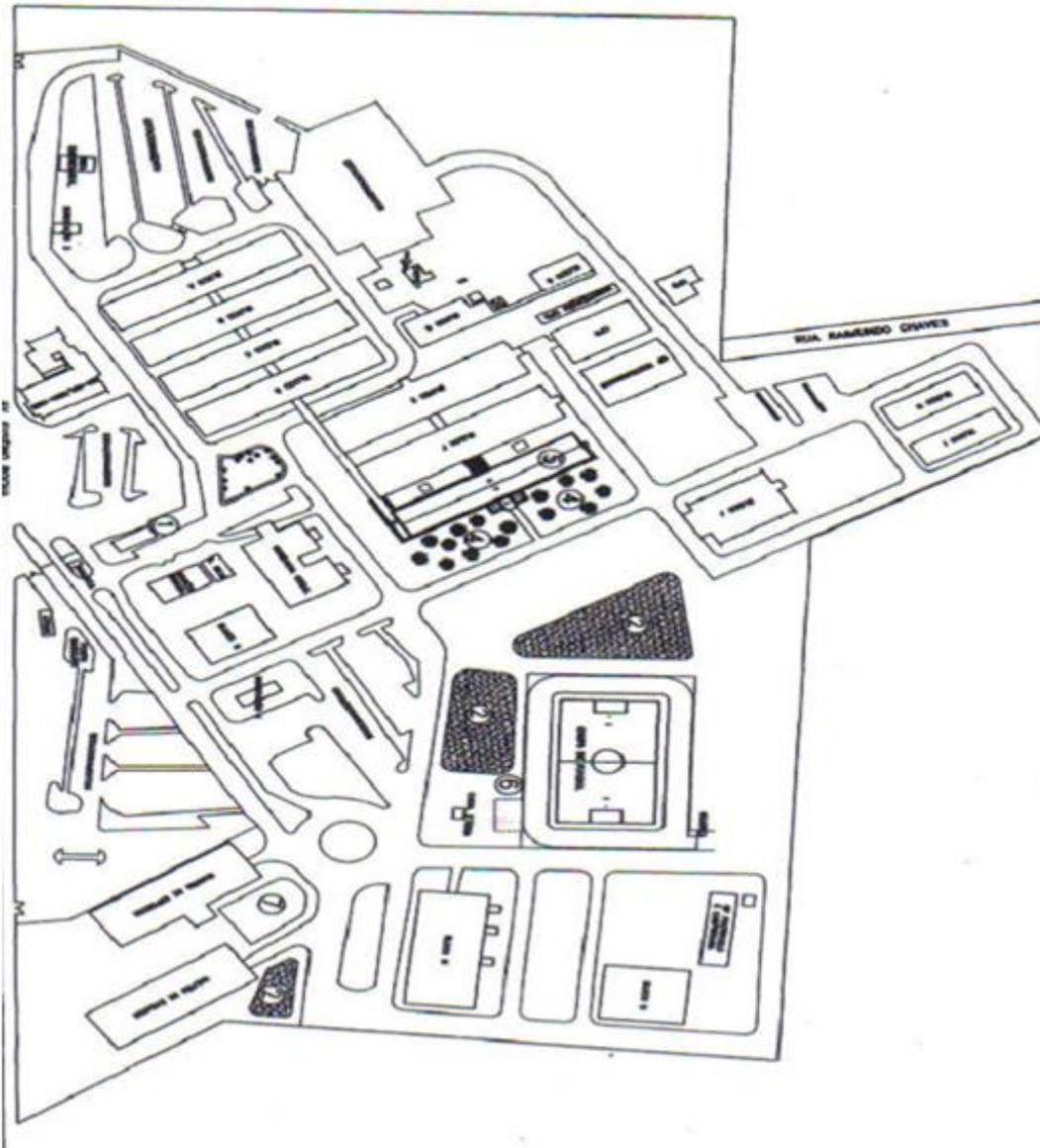


Figura 16: Planta da sede da PETROBRAS

A força de trabalho lotada na sede de Natal da PETROBRAS, segundo levantamento da própria empresa, é de 1092 pessoas.

#### 4.2 Instrumentos de Controle Sanitário e Ambiental

Os principais instrumentos de controle sanitário e ambiental propostos foram:

- 1) Adequação da estação de tratamento de esgotos e controle da qualidade do efluente tratado
- 2) Análise da interação nitrogênio-solo da área onde será efetuado o reúso,

3) Conhecimento da hidrogeologia do local, principalmente no que diz respeito à direção do fluxo subterrâneo e localização dos poços da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) situados no entorno da área do projeto.

Os níveis de controle propostos e estudados foram:

1) Qualidade da água na saída da ETE e na saída da cisterna da água de irrigação.

2) Qualidade da água no solo subsuperficialmente nas profundidades de 30, 60 e 90 cm .

3) Evolução do nitrogênio no solo.

4) Qualidade da água no aquífero.

Com estes instrumentos pretende-se avaliar a qualidade da água de reúso na saída da ETE, na saída do reservatório de irrigação (cisterna), no solo, e no aquífero

#### **4.3 - Descrição da Estação de Tratamento de Esgotos Existente**

Já havia no local uma estação de tratamento de esgotos, adquirida anteriormente pela PETROBRÁS, da marca “Mizumo” da linha “Mizumo Tower”, porém ela não estava funcionando porque não havia sido licenciada junto à Secretária de Meio Ambiente e Urbanismo de Natal (SEMURB) e também não havia certeza se o seu efluente atenderia aos requisitos para reúso. Uma das etapas da pesquisa consistiu no estudo da eficiência desta estação e sua adequação aos critérios para reúso.

A ETE implantada na sede da UO-RNCE da PETROBRAS é do tipo compacta, sendo constituída por um reator anaeróbio, um reator aeróbio composto por um filtro biológico e um decantador secundário, e um tanque de contato para desinfecção. O tempo de detenção no reator anaeróbio é de 8 horas e no aeróbio também de 8 horas. O meio suporte do reator aeróbio é constituído de anéis do tipo Pall, compreendendo um volume de 30% do reator, e são fixados por meio de tela em fibra de vidro reforçada.

O sistema contém uma fase inicial baseada em tecnologia UASB-Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente em Manta de Lodo, uma fase aeróbia com zonas de decantação do efluente final.

A passagem do efluente de um compartimento ao outro durante as etapas do tratamento contínuo se dá exclusivamente por gravidade e os desníveis necessários do sistema são previstos em projeto (MIZUMO, 2007).

O soprador é fabricado basicamente em ferro fundido com motor de tensão de 220/380/440 V trifásica e potência instalada de 3,0 kW, o qual permanece ligado ininterruptamente.

O retorno de lodo gerado no tanque decantador é feito automaticamente através de uma válvula solenóide (sistema "air lift") em intervalos de tempo pré-programados através de um controlador temporário monitorado pelo painel de comando elétrico.

A etapa inicial corresponde ao reator anaeróbio, ou seja, onde se dá início o processo de tratamento. Sua principal função é digerir a matéria orgânica. Nesta etapa o reator funciona também como um decantador primário retendo grande parte dos sólidos não digeríveis pelos microorganismos.

Para dimensionamento do Reator Anaeróbio foi considerado um tempo de detenção hidráulica de oito horas e remoção do lodo a cada 6 meses. A taxa de aplicação hidráulica no compartimento de decantação é de  $0,62 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  e a velocidade de entrada no mesmo compartimento é de  $0,11 \text{ m/h}$ . (MIZUMO, 2007).

A etapa seguinte é aeróbia. Nesta divisão do tanque existem aeradores (difusores de ar) que são responsáveis pela formação de micro bolhas de ar que percorrem o meio suporte (formado por um conjunto de anéis Pall em polietileno) responsável pela fixação da colônia de microorganismos.

Posteriormente, acontece a sedimentação das colônias de microorganismos que se desprendem do meio suporte devido ao processo de aeração. Após a decantação, este lodo é retornado para o início do processo de tratamento (etapa anaeróbia) para que se mantenha sempre uma concentração de microorganismos no sistema. Para remover o lodo depositado no decantador, executa-se o processo de retorno de lodo. Sua ação se dá por meio de acionamento de um dispositivo situado no fundo do decantador, que recalca o material sedimentado para o início do reator anaeróbio.

Por fim, há ainda uma etapa de desinfecção. Tal etapa consiste em um tanque acoplado ao sistema, onde se encontram tubos cloradores com pastilhas de

hipoclorito de cálcio. As Figuras 17 e 18 mostram a configuração original da ETE instalada na UO-RNCE da PETROBRAS em Natal.



Figura 17: Configuração original da estação de tratamento de esgoto UO-RNCE da PETROBRAS em Natal, em agosto de 2008.



Figura 18: Desenhos esquemáticos do modelo de estação de tratamento de esgoto utilizada na UO-RNCE da PETROBRÁS.

Fonte: [www.mizumo.com.br](http://www.mizumo.com.br)

#### 4.4 - Controle da Qualidade do Efluente Tratado

Para a avaliação qualitativa da ETE, foram escolhidos cinco pontos para coleta de amostras, como indicam as Figuras 19 a 22:

- Entrada do esgoto bruto ( $P_1$ )
- Saída do UASB ( $P_2$ )
- Saída do reator aeróbio ( $P_3$ )
- Saída do filtro ( $P_4$ )
- Após a desinfecção ( $P_5$ )



Figura 19: Entrada do esgoto bruto ( $P_1$ ).



Figura 20: Saída do UASB ( $P_2$ ).



Figura 21: Ponto de coleta na saída do reator aeróbio ( $P_3$ ) e após o filtro ( $P_4$ )



Figura 22: Ponto de coleta de efluente após desinfecção (P5).

As coletas aconteceram de junho de 2008 até novembro de 2010, no entanto, devido a vários problemas mecânicos do veículo que transportava as amostras da sede da PETROBRÁS até o laboratório e também de problemas no próprio laboratório que ficou interdito por aproximadamente 3 meses ( de março/2010 até maio/2010) aconteceram algumas interrupções nas análises. O plano inicial de monitoramento pode ser visto na Tabela 14. Porém devido aos problemas não foi possível seguir o plano.

**Tabela 14: Plano inicial de monitoramento.**

<b>semanal</b>	<b>quinzenal</b>	<b>mensal</b>
Condutividade elétrica	Alcalinidade	AGV
DQO	amônia	DBO
Oxigênio dissolvido	Cloro residual	Fósforo solúvel
ph	Coliformes fecais	Ovos de helmintos
Sólidos suspensos totais	nitrato	Sólidos suspensos fixos
turbidez	nitrito	Sólidos suspensos totais
temperatura	NTK	
	Sólidos sedimentáveis	

Foram analisados os seguintes parâmetros: condutividade elétrica, DQO, oxigênio dissolvido, pH, sólidos suspensos totais, turbidez, temperatura, alcalinidade, amônia, cloro residual, coliformes fecais, nitrato, nitrito, NTK, sólidos sedimentáveis, ovos de helmintos, sólidos suspensos fixos.

Para medir os parâmetros de campo: pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e temperatura, foi utilizado o aparelho multifunção da marca HACH, modelo SENSION 156 (Figura 23).



Figura 23: Multifunção portátil utilizada para medir os parâmetros em campo.

Os demais parâmetros foram determinados em laboratório, seguindo metodologias e procedimentos descritos pelo “Standard Methods for examination of Water and Wastewater”, 20ª edição

Na Tabela 15, são apresentados os horários e as datas das coletas realizadas.

**Tabela 15: Datas e horários das coletas realizadas**

<b>Coleta Nº</b>	<b>Data</b>	<b>Dia da semana</b>	<b>Hora</b>
<b>1</b>	25/06/2009	Quinta Feira	09:35
<b>2</b>	27/07/2009	Segunda Feira	08:45
<b>3</b>	06/08/2009	Quinta Feira	14:00
<b>4</b>	20/08/2009	Quinta Feira	14:10
<b>5</b>	27/08/2009	Quinta Feira	14:25
<b>6</b>	24/09/2009	Quinta Feira	14:25
<b>7</b>	15/10/2009	Quinta Feira	14:20
<b>8</b>	22/10/2009	Quinta Feira	14:15
<b>9</b>	29/10/2009	Quinta Feira	14:15
<b>10</b>	10/11/2009	Terça feira	14:00
<b>11</b>	20/11/2009	Sexta feira	09:00
<b>12</b>	22/12/2009	Terça feira	09:00
<b>13</b>	20/01/2010	Quarta Feira	09:00
<b>14</b>	10/02/2010	Quarta Feira	14:05
<b>15</b>	10/03/2010	Quarta Feira	14:00
<b>16</b>	01/06/2010	Terça feira	09:30
<b>17</b>	16/06/2010	Quarta Feira	09:10
<b>18</b>	06/07/2010	Terça feira	14:05
<b>19</b>	22/07/2010	Quinta Feira	14:00
<b>20</b>	19/08/2010	Quinta Feira	14:30
<b>21</b>	29/09/2010	Quarta Feira	14:20
<b>22</b>	06/10/2010	Quarta Feira	14:00
<b>23</b>	13/10/2010	Quarta Feira	14:00
<b>24</b>	28/10/2010	Quinta Feira	14:00
<b>25</b>	03/11/2010	Quarta Feira	14:00
<b>26</b>	01/12/2010	Quarta Feira	14:00
<b>27</b>	15/12/2010	Quarta Feira	14:00

#### 4.5 - Interação Nitrogênio-Solo

Como o destino do efluente final da ETE na UO RNCE da PETROBRAS era a irrigação, a pesquisa se deteve a estudar a interação entre o nitrogênio e o solo. Como o fósforo não apresenta maiores problemas em relação a aquíferos, e possui uma maior retenção por parte solo, não proporciona maiores problemas pra esse tipo de reúso.

A capacidade de absorção de água pelo solo e de nitrogênio pela grama foi conhecida através da coleta da água infiltrada através do solo para posterior análise. Esta coleta foi feita através coletores desenvolvidos para o projeto pelo professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dinarte Aéda da Silva. Os coletores foram construídos a partir de materiais simples como tubos de PVC de 100 mm, tela e brita. Cada tubo foi seccionado, formando uma espécie de calha, que, em seguida, foi preenchida com brita e coberta com a tela. Os coletores foram colocados em três profundidades diferentes: 30, 60 e 90 centímetros de profundidade. Ao todo, foram elaborados três conjuntos com três coletores em cada conjunto. Os materiais utilizados bem como a instalação dos coletores podem ser visualizados nas Figuras 24 a 30.



Figura 24: Tubo seccionado



Figura 25: Escavação nas profundidades de 30,60 e 90 cm



Figura 26: Preenchimento do tubo seccionado com brita



Figura 27: Colação da tela em um dos coletores de 90 cm



Figura 28: Instalação de um dos coletores de 60 cm



Figura 29: Instalação de um dos coletores de 30 cm



Figura 30: Conclusão da instalação de um dos conjuntos de coletores.

Estes conjuntos foram instalados em frente ao bloco L (Figura. 35). Este local foi escolhido por ser irrigado por uma única rede e também porque apresentava poucas árvores. Tal medida teve o intuito de garantir que os coletores seriam irrigados com a mesma quantidade de água e também para evitar-se a interferência das raízes das árvores no experimento.

Foi verificado que o dispositivo não estava funcionando adequadamente, devido a sua área de captação ser muito pequena (0,1 m<sup>2</sup>). Para ampliar a área de captação, acoplou-se aos coletores uma espécie de bandeja com dimensões de 14 x 21,5 cm com a finalidade de aumentar a área de captação, que ficou sendo: 0,1m<sup>2</sup> + 0,14m x 0,215m = 0,13, ou seja, um aumento de 30 %. A instalação das bandejas pode ser observada nas Figuras 31 a 34.



Figura 31: Bandeja utilizada para aumentar a área de captação dos coletores



Figura 32: Acoplamento do tubo à bandeja



Figura 33: Preenchimento da bandeja com brita



Figura 34: Instalação das bandejas em um dos conjuntos de coletores



Figura 35: Bloco L. Local onde foram Instalados os coletores descritos no item 4.5

Antes da implantação do projeto de reúso, em outubro de 2008, foram retiradas amostras de solos e realizadas análises a fim de se conhecer as suas características

Após iniciado o reúso, em outubro de 2010, foram coletadas amostras dos dispositivos descritos no item 4.5, para conhecimento da absorção de nitrogênio pelo solo e pela grama. Foram analisados os seguintes parâmetros: nitrato, pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos e turbidez.

#### **4.6 - Reconhecimento da hidrogeologia local**

Verificou-se a direção do fluxo subterrâneo de água da área onde está localizada a sede da UO RNCE da PETROBRAS. Isso foi necessário para logo em seguida determinar-se quais poços da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) seriam monitorados. Segundo a CAERN (1993), na cidade de Natal, as águas seguem o seu curso nos estrados sedimentares seguindo três vertentes principais de escoamento em setores de diferentes características hidrogeológicas: a frente Costeira no setor oriental, com descarga para o mar, cujas águas escoam com gradiente da ordem de 0,66%; a frente Potengi, no setor ocidental, no qual os escoamentos são em direção ao rio de mesmo nome com gradientes hidráulicos da ordem de 1,2% em média, e a frente Pitimbú com gradiente médio de 0,66%.

Para determinar a qual vertente pertencia à área de interesse, o primeiro passo foi georeferenciar o terreno em estudo. Para determinação das coordenadas do contorno da área do complexo corporativo da sede da UO-RNCE da PETROBRAS foi utilizado o aparelho de GPS Garmin Etrex Legend. Em seguida, utilizando o software Auto-Cad, estas coordenadas foram lançadas em um mapa potenciométrico georeferenciado.

Foram identificados os poços da Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) presentes nas proximidades da área do projeto.

Para se ter conhecimentos do estado da água dos poços antes de ser iniciado o reúso, foram solicitados à CAERN, os resultados das análises feitas pela empresa dos diversos poços na vizinhança da PETROBRAS. Foram fornecidos pela CAERN os seguintes resultados: Condutividade, Dureza, Magnésio, nitrato, Sulfato, Potássio, pH, Turbidez e alcalinidade.

## **4.7 - Balanço Hídrico**

O projeto previa inicialmente três fontes distintas de água para a irrigação das áreas verdes: água de poços próprios da empresa; aproveitamento de água de chuva; e uso do efluente proveniente da estação de tratamento de esgoto. Nesta etapa foi determinada a quantidade de água proveniente de cada uma destas alternativas.

A demanda de água diária pra irrigação é de 300 m<sup>3</sup>. Verificou-se a disponibilidade de água de cada fonte inicialmente prevista para o projeto.

### **4.7.1- Água de Chuva**

Para coleta da água de chuva seria utilizada como superfície de coleta a área de cobertura das diferentes edificações que compõem a área da sede da PETROBRAS. Desta forma, o primeiro passo para determinação da quantidade da água de chuva disponível para o projeto foi fazer o levantamento da área de cobertura destas edificações. O levantamento foi a partir da planta arquitetônica do local, fornecida pela própria empresa.

A série histórica com os dados pluviométricos da cidade foram obtidos na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), no site [www.emparn.rn.gov.br](http://www.emparn.rn.gov.br).

### **4.7.2 - Efluente da Estação de Tratamento**

Para determinação da quantidade exata de água de reúso, optou-se pela instalação de um hidrômetro (Figura 36). O ponto escolhido para a instalação do aparelho foi na entrada do esgoto bruto, uma vez que o dispositivo, por ser do tipo molinete, necessitava trabalhar em um tubo pressurizado. As leituras eram realizadas de segunda à sexta, às 7:00 horas. Foram feitas leituras durante o mês de agosto de 2010.



Figura 36: Hidrômetro Instalado na estação

#### 4.7.3- Poços

Originalmente, a irrigação das áreas verdes na sede da UO-RNCE da PETROBRAS era feita por dois poços próprios da PETROBRAS, existentes no local (Figuras 37 e 38). A Vazão de cada poço é de  $25\text{m}^3/\text{h}$



Figura 37: Poço 2 da PETROBRAS



Figura 38: poço 3 da PETROBRAS

## 5- RESULTADOS

### 5.1- Adequação da Estação de Tratamento de Esgotos

#### 5.1.1- Adequação do Tratamento Preliminar

O objetivo do tratamento preliminar está relacionado com a necessidade de proteção das unidades subseqüentes da ETE, das bombas e tubulações. Um tratamento preliminar eficiente facilita o transporte do esgoto, evitando eventuais entupimentos das tubulações.

Foi observado que o tratamento preliminar da estação era ineficiente. Uma vez que este consistia apenas em gradeamento, com espaçamento muito grande entre as barras (Figura 39) como os funcionários jogavam toda sorte de objetos dentro dos sanitários, alguns destes objetos acabavam chegando até a estação.



Figura 39: Grande espaço entre as barras do gradeamento. ETE da UO RNCE PETROBRAS (2010).

Para solução do problema foi adotada uma espécie de peneiramento, usando uma tela com malha de 5 mm. As Figuras 40 e 41 ilustram a tela escolhida e a instalação da tela no poço.

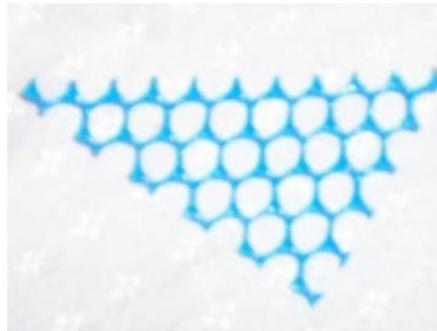


Figura 40: Tela com malha de 5 mm utilizada no tratamento preliminar



Figura 41: Instalação da tela no poço mais próximo a ETE da UO RNCE PETROBRAS (2010)

A instalação da tela com malha de 5 mm mostrou-se eficiente, uma vez que após a sua instalação não foram mais constatados problemas de vazamentos ou transbordamentos na estação. Também esta etapa mostrou-se decisiva, já que possibilitou a instalação do hidrômetro. Foi tentada a instalação do hidrômetro antes desta adequação, mas não foi possível, uma vez que por ser do tipo molinete muitos objetos que vinham no esgoto bruto ficavam presos às hélices do hidrômetro, obstruindo a passagem do esgoto e inviabilizando o funcionamento do hidrômetro.

#### **5.1.2 - Adequação da vazão da estação**

A vazão de projeto foi estimada para uma população de 1000 pessoas. Foi adotada uma contribuição de 50 l/funcionário x dia, conforme norma da ABNT 7229/93, o que totaliza uma vazão de 50 m<sup>3</sup>/dia (MIZUMO,2007). Contudo, o projetista da estação adotou uma vazão de 60 m<sup>3</sup>/dia. Uma das etapas necessárias para o controle do projeto foi verificar se esta vazão se aproximava da vazão real.

## Estimativa da vazão da estação

A rede coletora instalada na sede da PETROBRAS se caracteriza pelo uso de várias estações elevatórias. Essas estações são automatizadas e responsáveis pela coleta de resíduos de pequenas regiões e, no instante em que é atingido um certo nível máximo no poço, o volume é bombeado para o poço seguinte, até chegar à Estação de Tratamento de Esgoto.

A primeira medida para se saber a real vazão da ETE foi determinar o volume do poço mais próximo a estação (Figura 42), verificar o tempo que a bomba permanecia acionada e o número de bombeamentos durante um dia.



Figura 42: Poço próximo a ETE da UO RNCE PETROBRAS

Para tanto, primeiramente foi aferido o diâmetro como sendo de 1,5 metro. Logo depois, com auxílio de uma régua de madeira, foram medidos os níveis máximo e mínimo do poço. Os resultados foram:

- Nível Máximo: 94 cm
- Nível Mínimo 65 cm

Desta forma, o volume armazenado entre um bombeamento e outro é:

$$V = \frac{3,14 \times 1,50^2 \times (0,94 - 0,65)}{4} \times 1000 \rightarrow V=512,21 \text{ litros}$$

No dia 19/08/2009 foi verificado o número de acionamentos da bomba e cronometrados quantos segundos esta bomba permanecia ligada até esvaziar este poço mais próximo à estação. Neste dia foram verificados, ao todo, 25 acionamentos

da bomba. O tempo de acionamento foi, em média, de 76,71 segundos, variando de 89 até 59 segundos de acionamento.

Desta forma, o volume de efluente que chegou na estação nesse dia foi:

$$25 \times 512,21 \text{ L} = 12805,25 \text{ L}$$

E o tempo em que a bomba permaneceu ligada foi:1925 segundos. E a vazão estimada foi:

$$Q=V/T= 12.805,25 \text{ L}/1925 \text{ S} \rightarrow Q=6,652 \text{ L/S}$$

Esta vazão mostrou-se muito grande para a estação. Foi verificado que esta vazão muito superior à vazão de projeto era causada pela bomba do poço que estava superdimensionada. Este superdimensionamento provocou o transbordamento do UASB e carregamento de lodo, como pode ser visto na Figura 43.



Figura 43: Transbordamento da ETE da UO RNCE PETROBRAS

Para solução do problema foi adotada uma bomba da marca “Dancor” para uma vazão de  $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$  e uma altura manométrica de até 24 metros (Figura 44). Assim o tempo em que a bomba permanece ligada que antes era em média de 76,71 segundos por acionamento ficou sendo por volta de 2,5 horas por acionamento, o que garante um fluxo mais contínuo de esgoto na estação.



Figura 44: Bomba adotada

A equalização da vazão pode ser vista claramente nas Figuras 45 e 46 que mostram a evolução dos Sólidos Suspensos Totais no esgoto bruto (Figura 45) e nas outras etapas do tratamento (Figura 46).

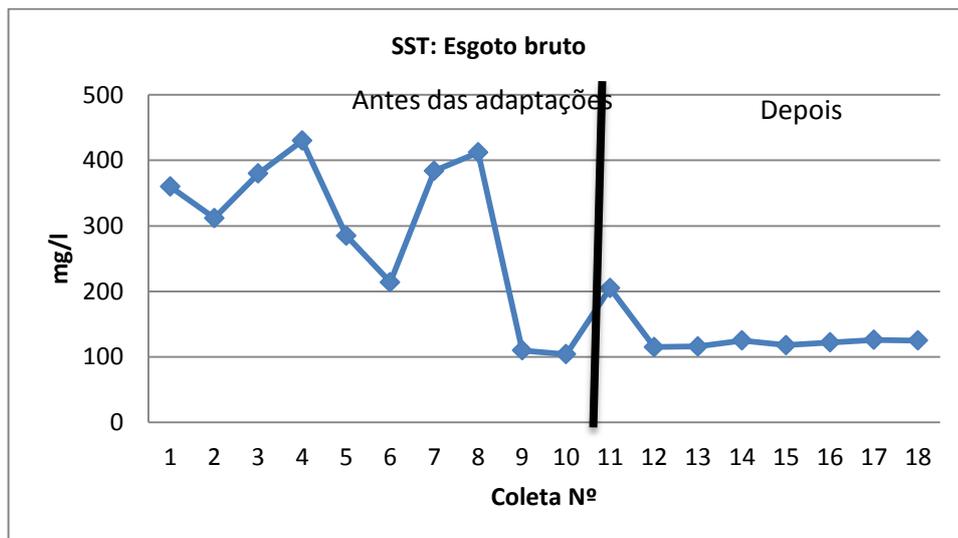


Figura 45: Evolução dos SST no esgoto bruto

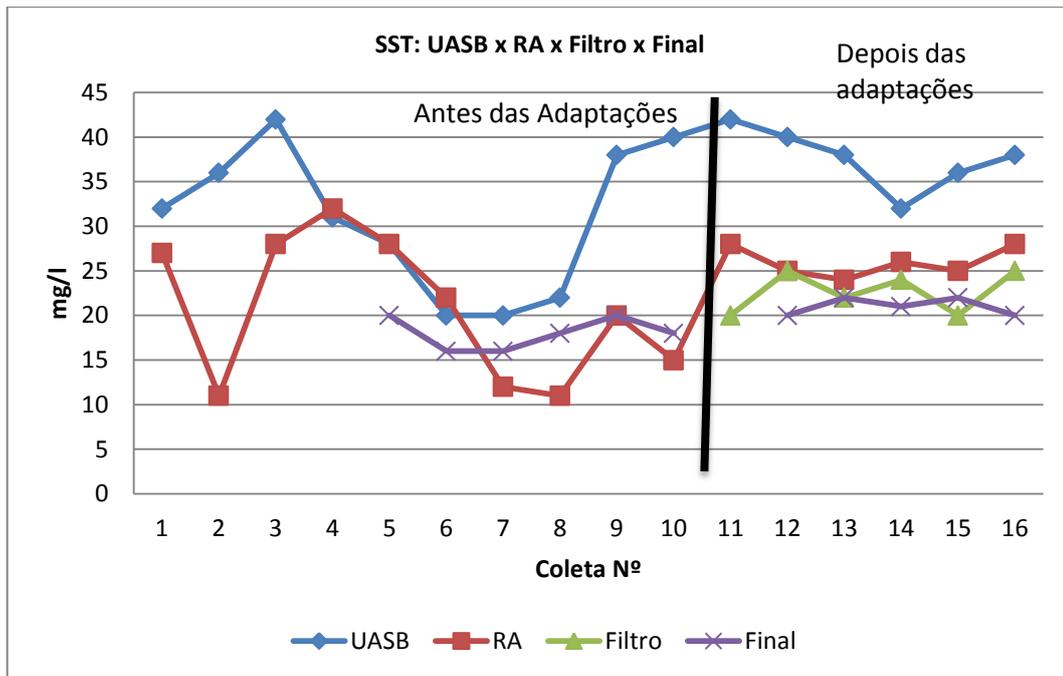


Figura 46: Evolução dos SST no UASB, Reator Aeróbio, Filtros e no efluente final

Antes da troca da bomba é possível notar a grande variação entre os resultados em todas as etapas do tratamento. Após a troca da bomba houve muito menos variações nos resultados. Além disso, após a adequação do tratamento preliminar e da adequação da bomba não foram mais verificados transbordamentos da estação.

Depois das adequações no pré tratamento e do superdimensionamento da bomba foi possível a instalação do hidrômetro na estação. Os resultados obtidos para o mês de agosto/2010 podem ser vistos na Tabela 16.

O volume médio diário ( $28,47 \text{ m}^3$ ) de efluente da estação mostrou-se muito pequeno em relação à demanda diária para irrigação e também ao volume projetado para a estação. Dessa forma, optou-se por utilizar todo o efluente e completar o volume restante com água dos poços.

Comparando o volume médio obtido pela leitura do hidrômetro com a estimativa inicial ( $12,8 \text{ m}^3$ ) percebe-se uma significativa diferença. Isto se deve ao fato de que na época da primeira tentativa de avaliação do volume diário de esgoto da estação, alguns blocos da sede da PETROBRAS não estavam ligados a estação, mas sim à rede coletora da CAERN. Além disso, percebe-se que o volume médio diário aferido pelo hidrômetro ( $28,47 \text{ m}^3$ ) é inferior ao adotado pelo projetista da estação ( $60,00 \text{ m}^3$ ), o que indica que a contribuição “per capita” diária naquele complexo de prédios

corporativo é consideravelmente menor do que o adotado. Para uma população aproximada de 1000, pessoas o valor real é 28,5 l/ funcionário x dia, enquanto o valor adotado é foi de 60 l/ funcionário x dia.

Tabela 16: Valores lidos no hidrômetro

Data	Leitura	Volume (M <sup>3</sup> )	Data	Leitura	Volume (M <sup>3</sup> )
01/ago	Domingo	-	17/ago	332806	22
02/ago	332616	-	18/ago	332829	23
03/ago	332635	19	19/ago	332863	34
04/ago	332647	12	20/ago	332906	43
05/ago	-	-	21/ago	Sábado	-
06/ago	-	-	22/ago	Domingo	-
07/ago	Sábado	-	23/ago	332953	47
08/ago	Domingo	-	24/ago	332983	30
09/ago	332692	45	25/ago	-	-
10/ago	-	-	26/ago	333017	34
11/ago	332712	20	27/ago	333043	26
12/ago	332730	18	28/ago	Sábado	-
13/ago	332749	19	29/ago	Domingo	-
14/ago	Sábado	-	30/ago	333077	34
15/ago	Domingo	-	31/ago	333100	23
16/ago	332784	35			

### 5.1.3 - Unidades de Filtração

Para aumentar a eficiência da ETE, principalmente na remoção de sólidos suspensos totais, inclusive para facilitar a desinfecção foi proposta a instalação de unidades de filtração entre o reator aeróbio e a unidade de cloração.

Foram analisadas três alternativas de filtro equivalentes à PETROBRAS

- Filtros da “Hemfibra”- filtração ascendente em meio granular
- Filtros “Bag”- filtração com membranas
- Filtros “Azud”- filtração com membranas

A opção adotada foi os filtros da marca “Azud”, filtração por membranas funcionando em paralelo, com as seguintes características:

- Tipo modular (2 filtros em paralelo)
- Processo: filtro AZUD modular 300-2n (Sistema Azud, S.A)

- Vazão Máxima: 30 m<sup>3</sup>/h
- Tubos e conexões 2"
- Perda de carga máxima: 2,3 m

São apresentadas nas Figuras 47 e 48 ilustrações do filtro especificado e dos elementos filtrantes. Enquanto as Figuras 49 e 50 mostram a instalação dos filtros na ETE.



Figura 47: Filtro "Azud"



Figura 48: Elementos filtrantes



Figura 49: ETE sem os filtros.



Figura 50: ETE com os filtros

Conforme pode ser observado na Tabela 17 e na Figura 51 os filtros removeram, em média, 14% de sólidos suspensos .

Tabela 17: Valores obtidos para Sólidos Suspensos na ETE da UO-RNCE PETROBRÁS.

<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/l): Antes das Adaptações</b>						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
1	25/06/2009	360,00	32,00	27,00	-	-
2	27/07/2009	312,00	36,00	11,00	-	-
3	06/08/2009	380,00	42,00	28,00	-	-
4	27/08/2009	430,00	31,00	32,00	-	-
5	22/12/2009	285,00	28,00	28,00	-	20,00
6	20/01/2010	214,00	20,00	22,00	-	16,00
7	01/06/2010	384,00	20,00	12,00	-	16,00
8	16/06/2010	412,00	22,00	11,00	-	18,00
9	06/07/2010	110,00	38,00	20,00	-	20,00
10	22/07/2010	104,00	40,00	15,00	-	18,00
Média		299,10	30,90	20,60	-	18,00
SD		119,62	8,23	7,97	-	1,63
<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/l): Depois das Adaptações</b>						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
11	19/08/2010	205,0	42,0	28,0	20,0	
12	29/09/2010	115,0	40,0	25,0	25,0	20,0
13	06/10/2010	116,0	38,0	24,0	22,0	22,0
14	13/10/2010	125,0	32,0	26,0	24,0	21,0
15	28/10/2010	118,0	36,0	25,0	20,0	22,0
16	03/11/2010	122,0	38,0	28,0	25,0	20,0
17	01/12/2010	126,0	22,0	20,0	18,0	18,0
18	15/12/2010	125,0	30,0	26,0	20,0	15,0
Média		131,50	34,75	25,25	21,75	19,71
SD		30,00	6,50	2,55	-	2,49

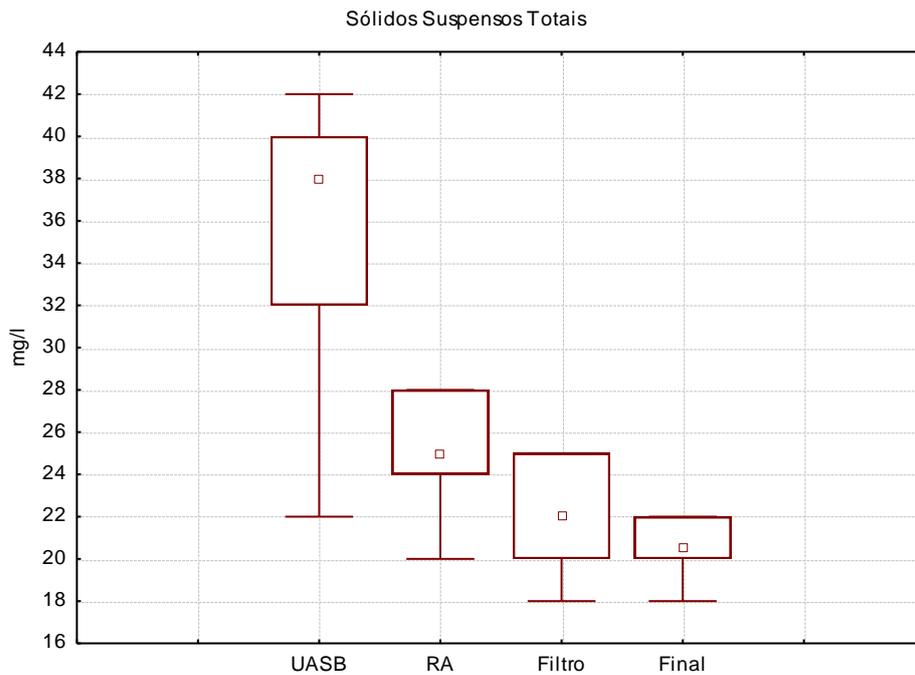


Figura 51: Valores de SST ao longo do tratamento depois das adaptações na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

Os filtros também auxiliaram na remoção de matéria orgânica como pode ser visto na Tabela 18 e na Figura 52.

Pode-se concluir que os filtros aumentaram a eficiência da estação, removendo sólidos e, por conseqüência, facilitando a desinfecção e, até mesmo, removendo coliformes fecais, como mostra a Tabela 19. Quanto à remoção de ovos de helmintos, não foi possível verificar a eficiência, já que não foram encontrados ovos nesta etapa do tratamento, como pode ser visto na Tabela 22.

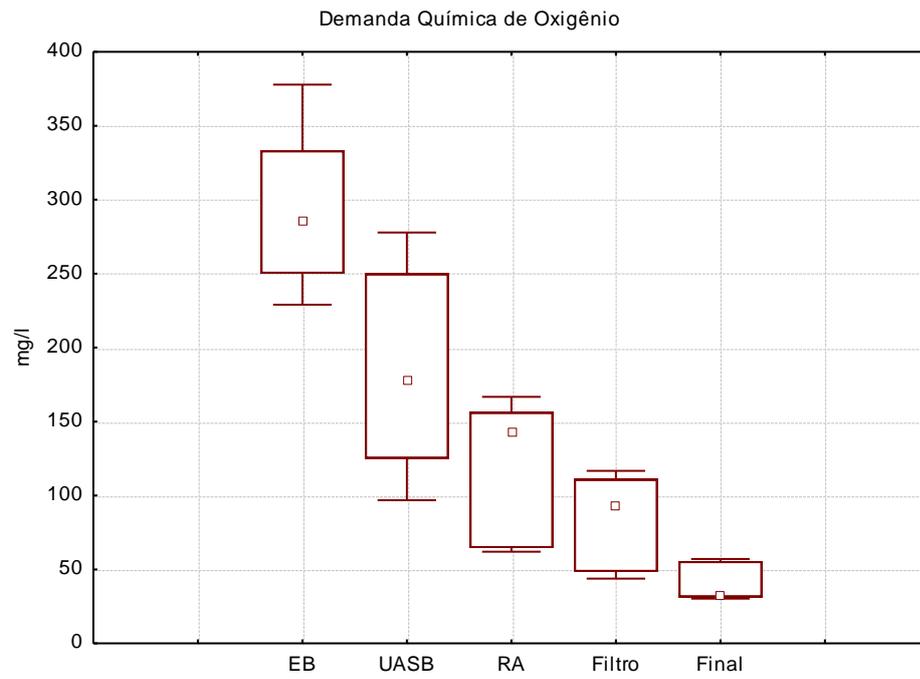


Figura 52: Valores de DQO ao longo do tratamento depois das adaptações na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

Tabela 18: Valores Obtidos para DQO na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

<b>Demanda Química de Oxigênio (mg/l): Antes das Adaptações</b>						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
1	25/06/2009	215,7	117,6	58,8	-	-
2	27/07/2009	436,9	145,6	68	-	-
3	06/08/2009	317,2	230,8	96,2	-	-
4	20/08/2009	274,5	98	58,8	-	-
5	27/08/2009	346,2	153,8	57,7	-	-
6	24/09/2009	283,3	100	83,3	-	-
7	15/10/2009	306,5	129	112,9	-	-
8	29/10/2009	333,3	116,7	66,7	-	-
9	10/11/2009	482,8	86	51,7	-	-
10	22/12/2009	238,8	149,3	111,9	-	74,6
11	20/01/2010	281,7	169	56,3	-	28,2
12	10/02/2010	225,4	140,8	49,3	-	42,3
13	10/03/2010	428,6	157,1	100	-	28,6
14	01/06/2010	421,1	118,4	105,3	-	65,8
15	16/06/2010	257,1	200	42,9	-	28,6
Média		323,27	140,81	74,65	-	44,68
SD		83,81	38,9	24,47	-	20,67
Coeficiente de Variação		0,26	0,28	0,33	-	0,46
<b>Demanda Química de Oxigênio (mg/l): Depois das Adaptações</b>						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
16	29/09/2010	312,5	250	156,3	93,7	32,5
17	06/10.2010	250	125	62	43,8	31,3
18	13/10/2010	229	96,8	64,5	48,4	32,3
19	28/10/2010	272,7	151,5	90,9	60,6	30,3
20	03/11/2010	285,7	200	142,9	97,1	57,1
Média		269,98	164,66	103,32	68,72	36,7
SD		32,18	61	43,99	25,15	11,44
Coeficiente de Variação		0,12	0,37	0,43	0,37	0,31

Tabela 19: Valores Obtidos para coliformes fecais na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

<b>Coliformes: Antes Das Adaptações</b>						
Nº	Data	EB	UASB	R.A	Filtro	Final
1	25/06/2009	7,00E+07	4,60E+06	2,20E+06		
2	06/08/2009	5,00E+07	3,20E+06	4,50E+05		
3	27/08/2009	8,00E+07	2,00E+07	3,00E+06		
4	24/09/2009	7,00E+07	1,50E+07	3,80E+05		
5	15/10/2009	6,00E+07	3,50E+06	2,50E+05		
6	29/10/2009	3,00E+07	3,00E+06	2,00E+06		
7	10/11/2009	2,00E+07	2,20E+06	2,00E+06		
8	22/12/2009	5,00E+06	6,00E+05	3,00E+04		
9	20/01/2010	1,00E+06	2,00E+05	2,00E+03		0,00E+00
10	10/02/2010	5,00E+05	3,20E+05	6,00E+04		5,00E+02
11	16/06/2010	2,10E+07	2,00E+05	3,20E+05		2,00E+02
12	06/07/2010	1,10E+07	4,00E+05	3,80E+05		2,50E+02
<b>Coliformes: Depois Das Adaptações</b>						
Nº	Data	EB	UASB	R.A	Filtro	Final
13	19/08/2010	5,50E+06	4,20E+05	2,00E+05	1,80E+02	
14	03/11/2010	6,50E+06	3,00E+05	1,50E+05	4,50E+04	1,20E+01
15	15/12/2010	6,00E+06	3,10E+05	1,30E+05	5,70E+04	1,50E+01

Por motivos burocráticos relativos à aquisição das pastilhas de cloro, a desinfecção só começou a ser realizada em dezembro de 2009. Antes disso, só eram feitas análises referentes a três pontos: O esgoto bruto, o UASB e o Reator Aeróbio. Pelo mesmo motivo não foi realizada análise do efluente final no dia 19/08/2010, pois as pastilhas acabaram e não puderam ser repostas.

A manutenção, principalmente a questão da limpeza, mostrou-se fundamental. A deficiência na limpeza dos filtros chega a comprometer a eficiência dos mesmos como é possível comprovar nos resultados da turbidez (Tabela 20), já que o excesso de lodo pode se desprender dos próprios filtros e comprometer os resultados do efluente. E também a remoção de sólidos suspensos totais. No dia 28/12/2010 foram feitas 4 coletas e analisados os seguintes parâmetros: DQO, SST, turbidez, STD e condutividade. Nesse dia, os filtros foram limpos antes da primeira coleta (Figura 53) e os resultados obtidos na remoção de sólidos suspensos são bem melhores do que quando comparados aos resultados da Tabela 17. Os resultados destas coletas para Sólidos Suspensos e DQO podem ser vistas nas Tabelas 21 e 22.

Tabela 20: Resultados Obtidos para Turbidez na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

<b>Turbidez (UT): Antes das Adaptações</b>						
Coleta N°	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
1	25/06/2009	62,60	31,80	16,70		
2	27/07/2009	289,00	58,90	18,90		
3	06/08/2009	194,90	65,90	19,60		
4	20/08/2009	432,00	50,10	44,00		
5	27/08/2009	324,00	63,50	25,80		
6	22/10/2009	574,00	18,10	9,71		
7	10/11/2009	445,00	19,40	10,50		
8	22/12/2009	424,00	25,00	17,30		17,20
9	20/01/2010	191,00	20,20	4,31		6,56
10	10/02/2010	181,00	23,90	10,90		11,30
11	10/03/2010	168,00	24,70	4,30		4,10
12	06/07/2010	90,30	30,90	23,60		13,40
13	22/07/2010	89,00	42,50	10,70		14,00
<b>Turbidez (UT): Depois das Adaptações</b>						
Coleta N°	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
14	19/08/2010	169,00	42,40	28,80	19,50	
15	29/09/2010	378	42,2	15,9	15,8	19,7
16	06/10.2010	189	44,0	17,3	21,2	20,1
17	13/10/2010	181	31,2	10,1	10,9	11,5
18	28/10/2010	112	35,1	15,2	19,8	18,5
19	03/11/2010	212	57,0	23,1	20,8	19,7
20	01/12/2010	260	16,3	14,9	12,0	18,8



Figura 53: Comparação entre os filtros, antes e depois da limpeza

Tabela 21: Resultados do dia 28/12/2010 para Sólidos Suspensos na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

SST (mg/l)			
	Ra	Filtro	Final
08:00	28,00	18,00	16,00
11:00	26,00	18,00	12,00
14:00	18,00	16,00	12,00
16:00	24,00	10,00	8,00
Média	24,00	15,50	12,00
SD	4,32	3,79	3,27

Tabela 22: Resultados do dia 28/12/2010 para DQO na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

DQO (mg/l)			
	Ra	Filtro	Final
08:00	222,20	180,60	120,00
11:00	138,90	127,80	111,10
14:00	138,90	97,20	83,30
16:00	133,30	93,20	82,10
Média	158,33	124,70	99,13
SD	42,67	40,34	19,32

Os filtros devem ser limpos pelo menos uma vez ao dia, de preferência, no início do expediente da empresa.

## 5.2 - Controle da Qualidade do Efluente Tratado

### 5.2.1 – Ovos de Helmintos

Como pode ser observado na Tabela 23, só foi detectado ovo de helminto em uma única coleta, mesmo assim, no efluente bruto. O principal fator para esse fato é que, como já foi dito, a rede coletora da PETROBRAS é formada por uma série de estações elevatórias e em cada uma destas estações há um poço. Cada poço funciona como um decantador e a grande maioria dos ovos sedimenta no fundo destes poços. E também deve-se considerar as características da própria população que trabalha na UO-RNCE da PETROBRÁS.

Como a OMS recomenda o máximo de 1 ovo de helminto por litro no efluente final destinado a irrigação irrestrita pode-se concluir que esse parâmetro se

encontra totalmente atendido, já em nenhuma análise foi detectado ovo de helminto no efluente final.

Tabela 23: Resultados obtidos para ovos de helmintos na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

Ovos de Helmintos		
Data	EB	UASB
25/06/2009	0	0
27/08/2009	1	0
15/10/2009	0	0
20/11/2009	0	0
06/07/2010	0	0
03/11/2010	0	0
15/12/2010	0	0

### 5.2.2- Coliformes Fecais

A concentração de coliformes foi reduzida durante as várias etapas de tratamento, atingindo uma eficiência global média de 99,99%. As concentrações médias em cada etapa do tratamento foram: 6,00E+06 no esgoto bruto; 3,43E+05 na saída do UASB; 1,60E+05 na saída do RA; 3,41E+04 após o filtro e 1,35E+01 no efluente final.

Apesar da falta adequada de manutenção, principalmente no que diz respeito ao melhor planejamento de compra das pastilhas de cloro, o número de coliformes no efluente final se manteve relativamente baixo, Como o padrão da OMS para este parâmetro, para uso em irrigação irrestrita é de até 1000 CF/100 ml pode-se considerar que o efluente está sob controle.

### 5.2.3 - Matéria Orgânica

Nesta pesquisa, a remoção de matéria orgânica foi expressa em termos de DQO. Como pode ser visto nas Figuras 54 e 55, na fase anterior às adaptações havia grandes variações em todas as etapas do tratamento. Isso ocorria devido ao super dimensionamento da bomba, que muitas vezes fazia com que o esgoto ficasse pouco tempo dentro do reator. Esse fato pode ser visto através do coeficiente de variação na entrada do esgoto bruto. Antes das adaptações o valor do coeficiente de variação era de 0,26 enquanto que depois das adaptações passou para 0,12.

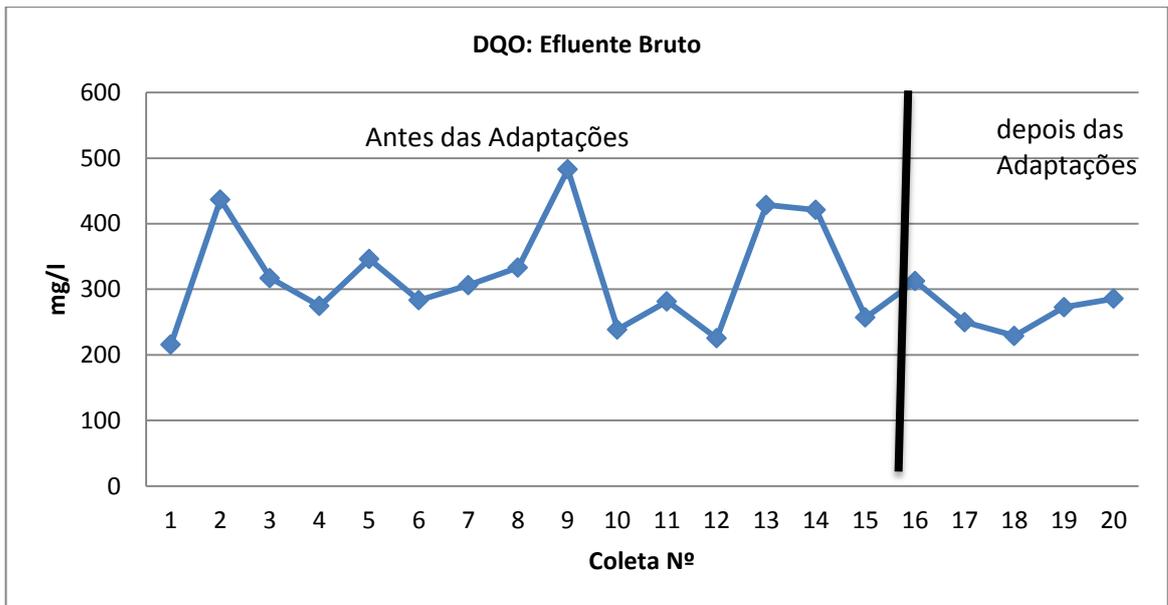


Figura 54: Evolução da DQO no Esgoto Bruto na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS. 2009 a 2010

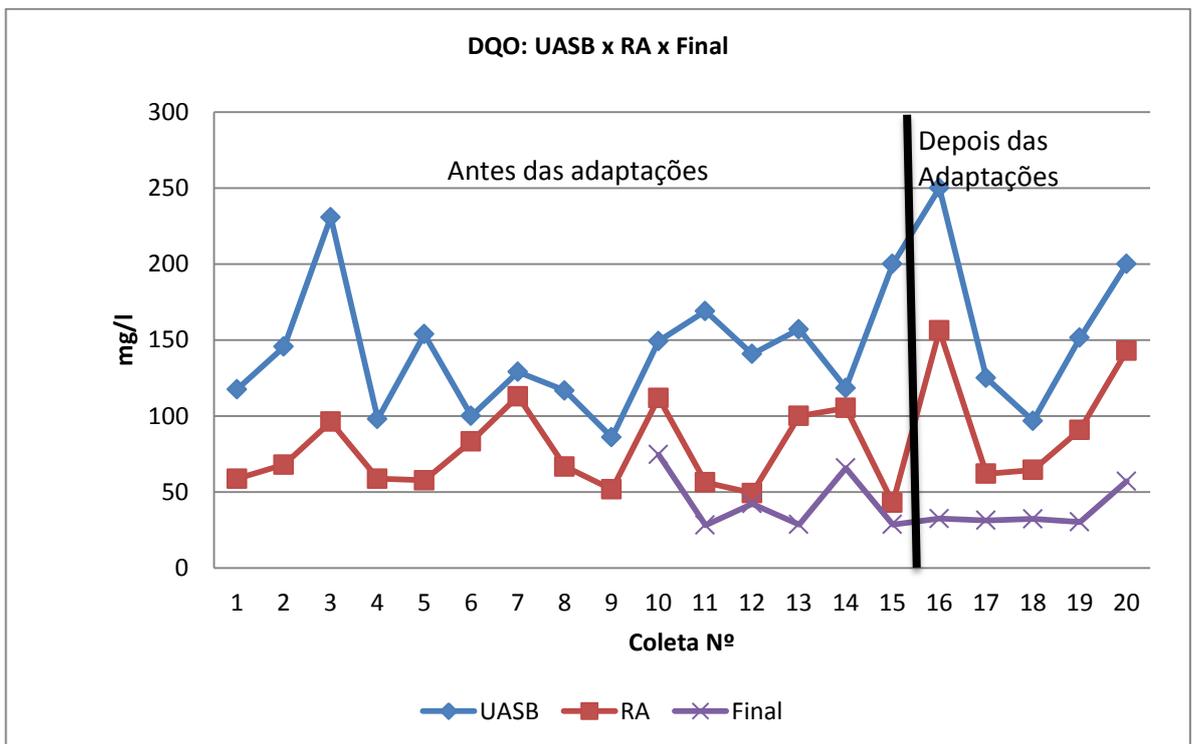


Figura 55: Evolução da DQO no UASB, Reator aeróbio e no efluente final tratamento na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS. 2009 a 2010.

Apesar dessa grande variação, principalmente na fase inicial da pesquisa, as faixas de DQO no efluente final se encontram em um nível que pode ser considerado baixo, sendo, em média, 45 mg/L antes das adaptações e 37 mg/L após as adaptações. A remoção total após as adaptações foi de 86 %.

#### 5.2.4 - Sólidos Suspensos Totais

Como a irrigação é feita por aspersão seria fundamental que os sólidos do efluente final saíssem em um patamar baixo, o que efetivamente foi alcançado. A OMS não se refere a este parâmetro. A Sabesp adota um valor de até 35 mg/L em 95% das amostras. Como pode ser visto na Tabela 17, 100% das amostras ficaram abaixo desse valor. Logo após as adaptações a media de SST no efluente final foi de 20 mg/L, com um valor máximo de 22 mg/L.

#### 5.2.5 – Nitrogênio

Como o efluente da estação é destinado à irrigação seria de fundamental importância que houvesse o processo de nitrificação na estação. O que pode ser comprovado nas Figuras 56 a 61 e nas Tabelas 24 a 29, de fato ocorre.

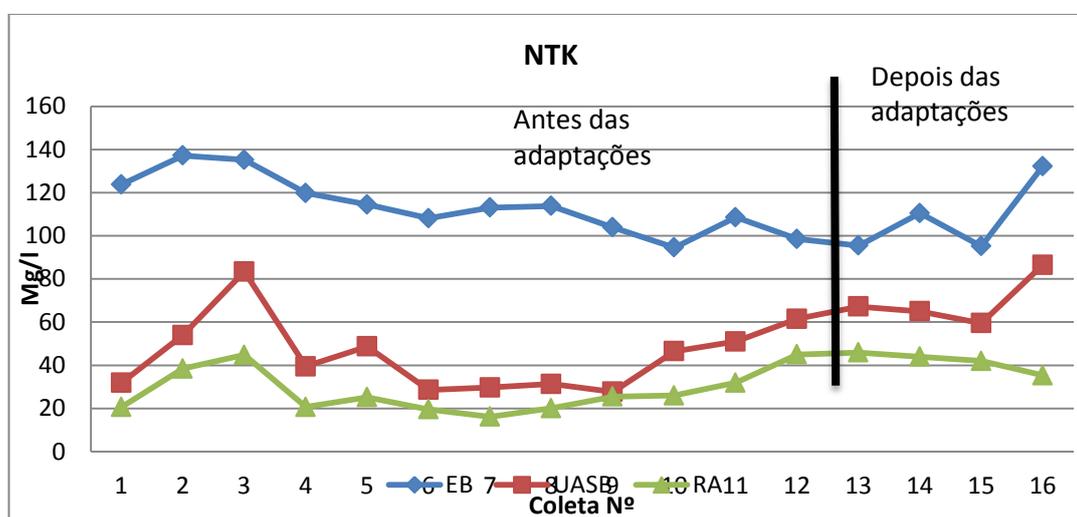


Figura 56: Evolução do NTK ao longo do tratamento na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS. 2009 a 2010.

Tabela 24: Valores Obtidos para NTK na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

NTK (mg/l): Antes das Adaptações						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
1	25/06/2009	123,80	31,90	20,70		
2	06/08/2009	137,20	54,00	38,40	-	
3	27/08/2009	135,20	83,40	44,80	-	
4	24/09/2009	119,80	39,50	20,70	-	
5	15/10/2009	114,50	48,70	25,20	-	
6	29/10/2009	108,10	28,60	19,60	-	
7	10/11/2009	113,10	29,70	16,20	-	
8	22/12/2009	113,80	31,30	20,10	-	23,00
9	20/01/2010	103,90	27,70	25,50	-	30,50
10	10/02/2010	94,60	46,50	26,00	-	24,10
11	16/06/2010	108,60	51,00	31,90	-	28,60
12	06/07/2010	98,50	61,50	45,00	-	41,00
Média		114,26	44,48	27,84	-	29,44
SD		13,14	16,70	9,96	-	7,17
NTK (mg/l): Depois das Adaptações						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
13	19/08/2010	95,50	67,20	45,90	42,80	-
14	29/09/2010	110,50	65,00	44,00	40,00	38,00
15	13/10/2010	95,20	59,50	42,00	39,00	37,50
16	03/11/2010	132,20	86,50	35,30	30,80	38,90
Média		108,35	69,55	41,80	38,15	38,13
SD		17,43	11,75	4,62	5,16	0,71

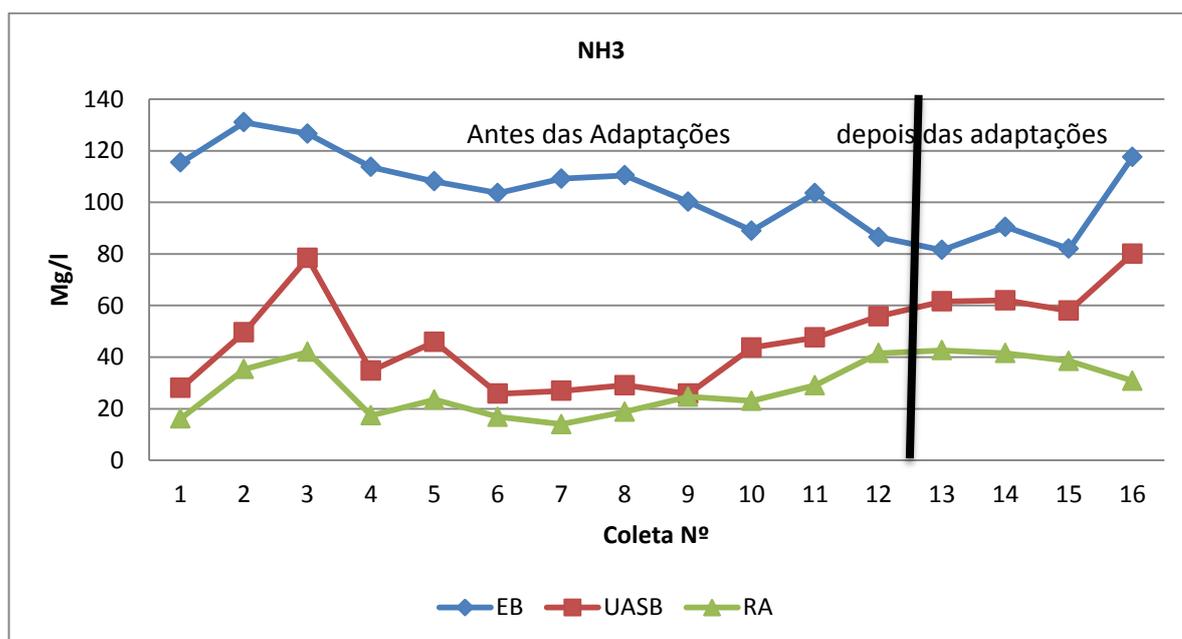


Figura 57: Evolução da amônia ao longo do tratamento na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS 2009 a 2010.

Tabela 25: Resultados obtidos para a Amônia na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

NH3 (mg/l): Antes das Adaptações						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
1	25/06/2009	115,40	28,00	16,20	-	-
2	06/08/2009	131,00	49,60	35,30	-	-
3	27/08/2009	126,60	78,40	42,00	-	-
4	24/09/2009	113,70	34,70	17,40	-	-
5	15/10/2009	108,10	45,90	23,50	-	-
6	29/10/2009	103,60	25,80	16,80	-	-
7	10/11/2009	109,20	26,90	14,00	-	-
8	22/12/2009	110,50	29,10	18,80	-	21,50
9	20/01/2010	100,20	25,80	24,60	-	29,70
10	10/02/2010	89,00	43,70	23,00	-	21,80
11	16/06/2010	103,60	47,60	29,10	-	26,30
12	06/07/2010	86,50	55,80	41,50	-	38,50
Média		108,12	40,94	25,18	-	27,56
SD		13,12	15,89	9,78	-	7,00
NH3 (mg/l): Depois das Adaptações						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
13	19/08/2010	81,5	61,6	42,6	40,0	-
14	29/09/2010	90,5	62,0	41,5	38,0	36,7
15	13/10/2010	82,0	58,0	38,5	37,5	36,0
16	03/11/2010	117,6	80,1	30,8	28,0	37,0
Média		92,90	65,43	38,35	35,88	36,57
SD		16,98	9,95	5,32	5,36	0,51

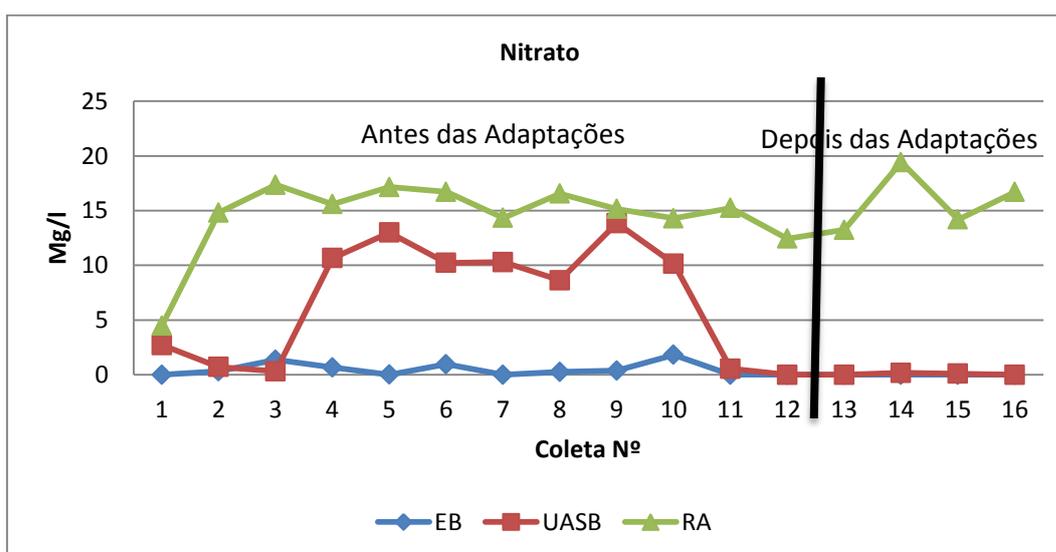


Figura 58: Evolução do nitrato ao longo do tratamento na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS. 2009 a 2010.

Tabela 26: Valores Obtidos para o nitrato na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

NO <sub>3</sub> (mg/l): Antes das Adaptações						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
1	25/06/2009	0,00	2,72	4,50	-	-
2	06/08/2009	0,33	0,72	14,82	-	-
3	27/08/2009	1,37	0,33	17,36	-	-
4	24/09/2009	0,68	10,67	15,59	-	-
5	15/10/2009	0,01	12,99	17,16	-	-
6	29/10/2009	0,96	10,23	16,72	-	-
7	10/11/2009	0,00	10,30	14,34	-	-
8	22/12/2009	0,27	8,63	16,56	-	16,99
9	20/01/2010	0,38	13,85	15,16	-	11,33
10	10/02/2010	1,83	10,16	14,29	-	16,12
11	16/06/2010	0,00	0,55	15,25	-	16,28
12	06/07/2010	0,00	0,00	12,44	-	12,39
Média		0,49	6,76	14,52	-	14,62
SD		0,61	5,41	3,45	-	2,57
NO <sub>3</sub> (mg/l): Depois das Adaptações						
Nº	Data	EB	UASB	RA	Filtro	Final
13	19/08/2010	0	0,00	13,24	8,95	
14	29/09/2010	0	0,18	19,43	17,42	19,32
15	13/10/2010	0	0,10	14,20	16,85	17,31
16	03/11/2010	0	0,00	16,70	15,37	10,20
Média		0,00	0,07	15,89	14,65	15,61
SD		0,00	0,09	2,77	3,90	4,79

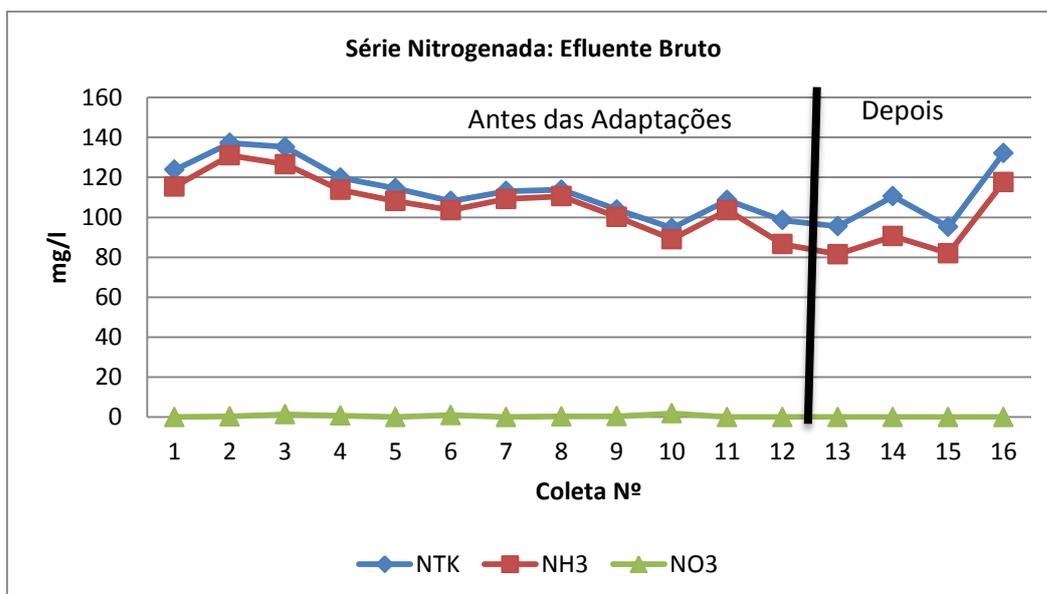


Figura 59: Série Nitrogenada no efluente bruto na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.2009 a 2010.

Tabela 27: Série nitrogenada Efluente Bruto na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

<b>Série Nitrogenada: Efluente Bruto ( antes das Adaptações)</b>				
Nº	Data	NTK	NH3	NO3
1	25/06/2009	123,80	115,40	0,00
2	06/08/2009	137,20	131,00	0,33
3	27/08/2009	135,20	126,60	1,37
4	24/09/2009	119,80	113,70	0,68
5	15/10/2009	114,50	108,10	0,01
6	29/10/2009	108,10	103,60	0,96
7	10/11/2009	113,10	109,20	0,00
8	22/12/2009	113,80	110,50	0,27
9	20/01/2010	103,90	100,20	0,38
10	10/02/2010	94,60	89,00	1,83
11	16/06/2010	108,60	103,60	0,00
12	06/07/2010	98,50	86,50	0,00
Média		114,26	108,12	0,49
SD		13,14	13,12	0,61
<b>Série Nitrogenada: Efluente Bruto ( Depois das Adaptações)</b>				
Nº	Data	NTK	NH3	NO3
13	19/08/2010	95,50	81,50	0,00
14	29/09/2010	110,50	90,50	0,00
15	13/10/2010	95,20	82,00	0,00
16	03/11/2010	132,20	117,60	0,00
Média		108,35	92,90	0,00
SD		17,43	16,98	0,00

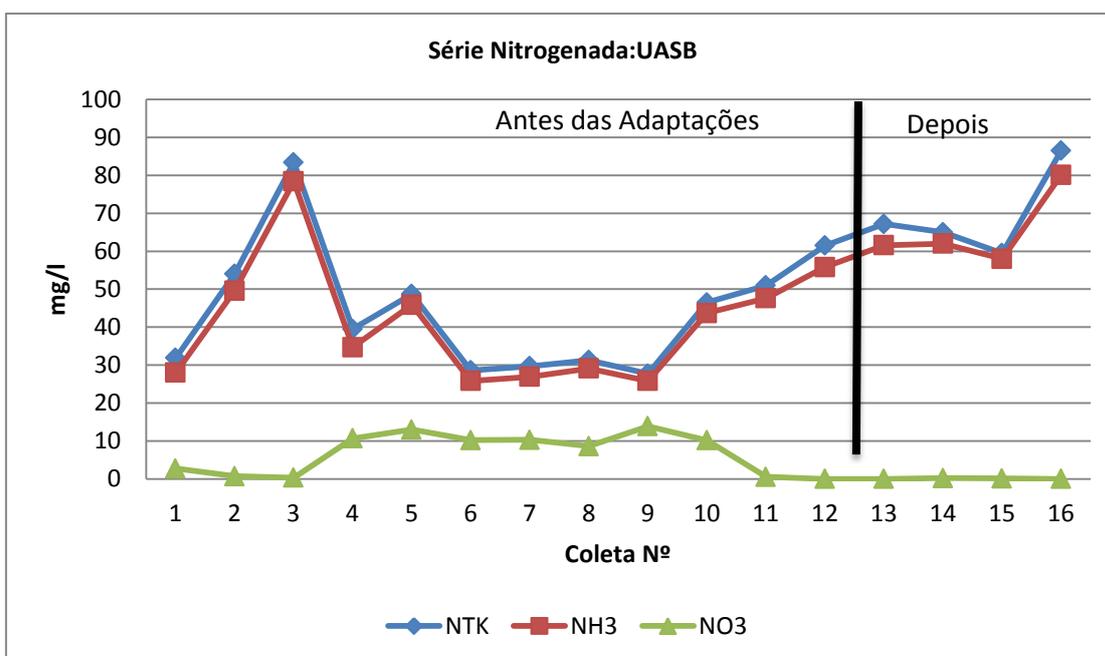


Figura 60: Série Nitrogenada UASB na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS. 2009 a 2010.

Tabela 28: Série Nitrogenada UASB na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

Série Nitrogenada: UASB ( antes das Adaptações)				
Nº	Data	NTK	NH3	NO3
1	25/06/2009	31,9	28	2,72
2	06/08/2009	54	49,6	0,72
3	27/08/2009	83,4	78,4	0,33
4	24/09/2009	39,5	34,7	10,67
5	15/10/2009	48,7	45,9	12,99
6	29/10/2009	28,6	25,8	10,23
7	10/11/2009	29,7	26,9	10,3
8	22/12/2009	31,3	29,1	8,63
9	20/01/2010	27,7	25,8	13,85
10	10/02/2010	46,5	43,7	10,16
11	16/06/2010	51,0	47,6	0,55
12	06/07/2010	61,5	55,8	0,00
Média		44,5	40,9	6,8
SD		16,7	15,9	5,4
Série Nitrogenada: UASB ( Depois das Adaptações)				
Nº	Data	NTK	NH3	NO3
13	19/08/2010	67,2	61,6	0,00
14	29/09/2010	65,0	62,0	0,18
15	13/10/2010	59,5	58,0	0,10
16	03/11/2010	86,5	80,1	0,00
Média		69,6	65,4	0,1
SD		10,2	8,6	0,1

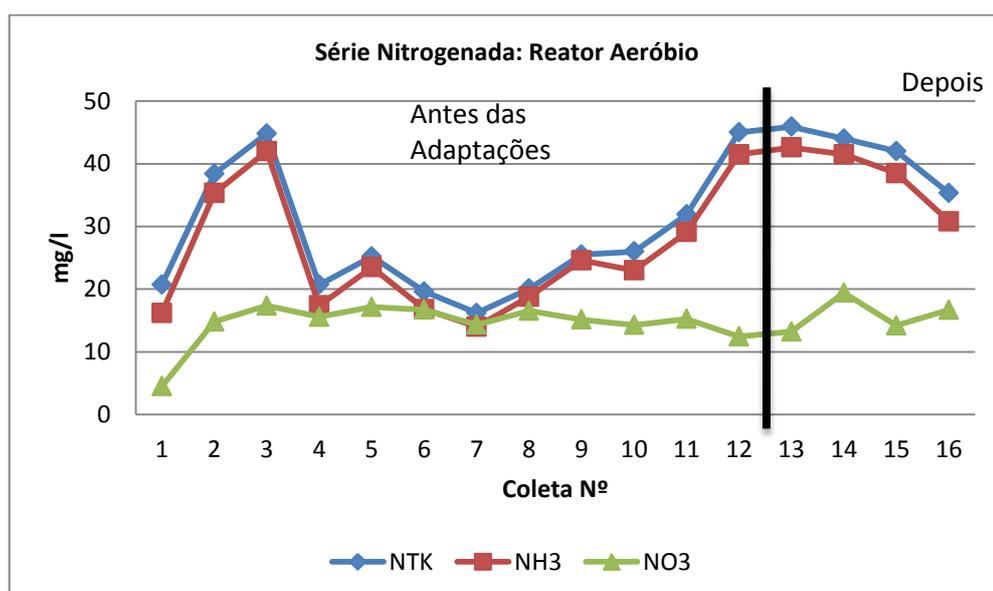


Figura 61: Série Nitrogenada R.A na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS. 2009 a 2010.

Tabela 29: Série Nitrogenada no R.A na ETE DA UO-RNCE PETROBRÁS.

<b>Série Nitrogenada: R. A (Antes das Adaptações)</b>				
Nº	Data	NTK	NH3	NO3
1	25/06/2009	20,7	16,2	4,5
2	06/08/2009	38,4	35,3	14,82
3	27/08/2009	44,8	42	17,36
4	24/09/2009	20,7	17,4	15,59
5	15/10/2009	25,2	23,5	17,16
6	29/10/2009	19,6	16,8	16,72
7	10/11/2009	16,2	14	14,34
8	22/12/2009	20,1	18,8	16,56
9	20/01/2010	25,5	24,6	15,16
10	10/02/2010	26	23	14,29
11	16/06/2010	31,9	29,1	15,25
12	06/07/2010	45,0	41,5	12,44
Média		27,8	25,2	14,5
SD		10,0	9,8	3,5
<b>Série Nitrogenada: R. A (Depois das Adaptações)</b>				
Nº	Data	NTK	NH3	NO3
13	19/08/2010	45,9	42,6	13,24
14	29/09/2010	44,0	41,5	19,43
15	13/10/2010	42,0	38,5	14,20
16	03/11/2010	35,3	30,8	16,70
Média		41,8	38,4	15,9
SD		4,6	5,3	2,8

Nas coletas de número 4 até a de número 10 pode ser observado certa quantidade de nitrato no reator UASB. Esse fato deveu-se a um erro de laboratório, já que como a estação não possui recirculação de efluente do reator aeróbio para o reator anaeróbio não há possibilidade de haver nitrato no UASB.

De forma geral, observou-se um pequeno aumento da série nitrogenada após as adaptações.

A estação foi capaz de produzir, sem alterações no processo, conversão de amônia para nitrato (nitrificação). Neste caso, há a remoção de amônia, mas não do nitrogênio, pois há apenas uma conversão de forma de nitrogênio. Em regiões de clima quente, a nitrificação ocorre quase que sistematicamente, a menos que haja algum problema no reator biológico, como falta de oxigênio dissolvido, baixo pH, pouca biomassa ou a presença de substâncias tóxicas ou inibidoras. Como constatado nas análises do efluente percolado através do solo e coletado a partir

dos dispositivos descritos no item 4.5, o nível de nitrogênio ficou um pouco acima do permitido pela legislação. Nesse projeto específico de reúso, isso não se tornou um problema tão grave, já que a diluição do efluente da estação com a água dos poços é grande. Contudo, em outros casos de reúso pode ser necessária uma ETE que remova nitrogênio, e este tipo de ETE não seria suficiente e adequada.

### 5.3 - Interação Nitrogênio-Solo

A Tabela 30 mostra os resultados das amostras do solo antes de começar o reúso, em outubro de 2008.

**Tabela 30: Resultados das amostras de solo coletadas na UO RNCE da PETROBRAS em outubro de 2008**

Resultados Analíticos				
Parâmetros/Amostras	850/08 (P1-0 a 20)	851/08 (P1-20 a 40)	852/08 (P2-0 a 20)	853/08 (P220 a 40)
pH em água (1:2,5)	6,640	6,440	7,440	7,200
Cálcio (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,540	0,390	1,020	0,570
magnésio (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,290	0,270	0,120	0,110
Alumínio (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,000	0,000	0,000	0,000
Hidrogênio+Alumínio (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,810	0,970	0,570	0,570
Fósforo(mgkg <sup>-1</sup> P)	3,000	2,000	1,000	1,000
Potássio(mgkg <sup>-1</sup> K)	16,000	11,000	28,000	25,000
Sódio(mgkg <sup>-1</sup> Na)	16,000	9,000	47,000	7,000
Matéria Orgânica (g/kg)	16,000	16,440	11,030	6,600
Ferro(g/kg)	17,900	16,850	13,900	2,120
Zinco (g/kg)	13,900	6,000	0,400	0,600
Cobre (g/kg)	0,500	0,400	0,300	3,600
Manganês(g/kg)	1,800	1,400	0,300	0,600
Densidade Global (kg/dm <sup>3</sup> )	1,510	1,490	1,470	1,440
Condutividade Elétrica no Extrato(1:5 dS/m)	0,013	0,013	0,025	0,019
Retenção de umidade (1/3 de atmosfera)	3,000	3,100	2,200	2,480
Saturação c/sódio,% (PST)	4,000	2,350	10,100	2,240

Fonte: EMPARN, 2008.

A Tabela 31 mostra os resultados de análise feita a partir da água percolada pelo solo e coletada nos dispositivos descritos no item 4.5. Não foi observado acúmulo de água nos coletores de 60 e 90 cm de profundidade. Desta forma, os dados contidos na Tabela 30 são referentes aos três coletores com 30 cm de profundidade.

Tabela 31: resultado da análise da água coletada a partir dos dispositivos propostos para o projeto na profundidade de 30 cm.

Coletor	Datas	Características							
		T (°C)	TURB (NTU)	pH	COND (µS/cm)	STD (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mgN/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mgN/L)
1	10/11/2010	28,4	2,18	6,37	173,4	77,2	5,6	0	11,38
2	10/11/2010	28,9	3,51	6,49	198,3	88	6,16	0	10,81
3	10/11/2010	28,9	1,48	6,6	182,4	80,6	6,75	0	11,59
	Média	28,73	2,39	6,49	184,7	81,93	6,17	0	11,26
	SD	0,29	1,03	0,12	12,61	5,52	0,58	0	0,4

A Tabela 32 mostra os dados da cisterna, local onde ocorre a mistura da água dos poços e o efluente da estação de tratamento de esgoto, e as Tabelas 33 e 34 mostram os valores das análises dos poços próprios da PETROBRAS.

Tabela 32: resultados da análise da cisterna.

Datas	Características							
	T (°C)	TURB (NTU)	pH	COND (µS/cm)	STD (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mgN/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mgN/L)
10/11/2010	29,2	3,72	6,29	197,3	86,8	6,75	0	13,31

Tabela 33: Resultados das análises da água do poço 2.

Amostra	Datas	Características							
		T (°C)	TURB (NTU)	pH	COND (µS/cm)	STD (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mgN/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mgN/L)
1	18/09/2008	26,3	0,1	3,9	88,3	37,5	0,18	0	8,65
2	30/10/2008	30,6	0,33	4,98	93,7	39,4	0,23	0	9,25
3	12/12/2008	29,9	0,15	4,59	95,7	41,1	0,09	0	9,16
4	10/11/2010	29,5	0,35	7,33	101,5	43,8	0,24	0	12,5
	Média	29,08	0,23	5,2	94,8	40,45	0,18	0	9,89
	SD	1,91	0,13	1,49	5,45	2,67	0,07	0	1,76

Tabela 34: Resultados das análises da água do poço 3.

Amostra	Datas	Características							
		T (°C)	TURB (NTU)	pH	COND (µS/cm)	STD (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mgN/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mgN/L)
1	18/09/2008	25,8	0,16	4	112,1	52,4	0,251	0	13,42
2	30/10/2008	30,5	0,27	4,85	112,9	48,4	0,284	0	11,93
3	12/12/2008	29,2	0,02	3,98	112,8	49,3	0,106	0	11,2
4	10/11/2010	29,3	0,04	6,4	119,3	52,1	0,332	0	13,9
Média		28,7	0,1225	4,81	114,3	50,6	0,2	0	12,6111
SD		2,02155	0,11615	1,14	3,4	2	0,1	0	1,25979

Apesar de não ter sido possível a coleta de muitas amostras a partir dos dispositivos descritos no item 4.5, os coletores desenvolvidos para a pesquisa se mostraram eficientes, ou seja, funcionaram perfeitamente para aquilo a que foram propostos, coletar a água percolada através do solo para posterior análise.

Não foi verificado acúmulo de água em nenhum dos coletores de 60 e 90 cm de profundidade, mas nos três coletores de 30 cm de profundidade foi verificada a presença de água. Isso significa que a irrigação está sendo feita de forma apropriada e que a água de reúso não está atingindo o aquífero.

Os níveis de nitrato na água nos coletores se mostraram um pouco acima do máximo permitido pela resolução 357/2005 do CONAMA, para corpos d'água receptores enquadrados na classe 2 que é de 10 mgN/L. No entanto, deve-se considerar que o valor médio, que foi de 11,26 mgN/L, é relativamente próximo ao valor máximo permitido pela legislação e outro fato que deve ser levado em consideração é que a concentração de nitrato no poço 3 apresenta valor médio de 12,61 mgN/L, variando entre 13,42 mgN/L e 11,20 mgN/L. Como a demanda de água para irrigação foi estimada como sendo de 300 m<sup>3</sup>/dia e o volume médio da estação é menos de 10% desse valor, conclui-se que os 90% restantes são complementados em partes iguais pelos dois poços ( já que os dois possuem a mesma vazão: 25m<sup>3</sup>/h). Pode-se afirmar que a contribuição da estação para esse valor acima do permitido para nitrato é mínimo, e além disso, como já foi dito, só foi detectada água até 30 cm de profundidade.

Contudo, é possível observar que houve uma redução nos níveis de nitrato encontrados na cisterna em relação aos níveis encontrados nos coletores, o que indica absorção de nitrato pelo solo e pela grama.

A ETE na UO RNCE da PETROBRAS não remove nitrogênio, ou seja, não desnitrifica. Nesse caso específico, como a diluição do efluente antes do reúso é grande, isso não se torna um problema tão grave, no entanto, em outros casos apenas esta estação não será suficiente.

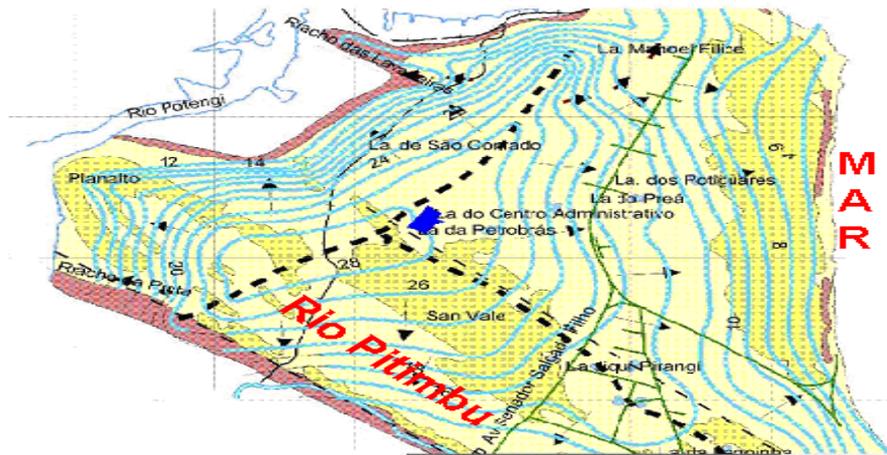
#### 5.4 Reconhecimento da Hidrogeologia

As coordenadas obtidas para o contorno da área de estudo podem ser vistas na Tabela 35:

Tabela 35: Dados obtidos no georeferenciamento do contorno do terreno da UO-RNCE da PETROBRAS.

	X	Y
P1	253060	9355122
P2	253246	9355470
P3	253254	9355422
P4	253319	9355386
P5	253333	9355382
P6	253077	9355138

Com as coordenadas obtidas (Tabela 34), utilizou-se o software “Auto CAD” a lançou-se os pontos (x e y) no mapa. A área azul, na Figura 62, representa a área em estudo.



**Legenda:**

- Terreno em estudo
- Divisores de água subterrâneos

Figura 62: Localização da área de estudo dentro do mapa potenciométrico  
Fonte dado de base: Pereira (2001).

Desta forma, conclui-se que o terreno fica praticamente no alto potenciométrico, embora voltado um pouco mais para a vertente costeira, no setor oriental com descarga no mar.

A Figura 63 mostra os poços da CAERN no entorno da área de estudo e a Figura 64 mostra os poços lançados no mapa potenciométrico.

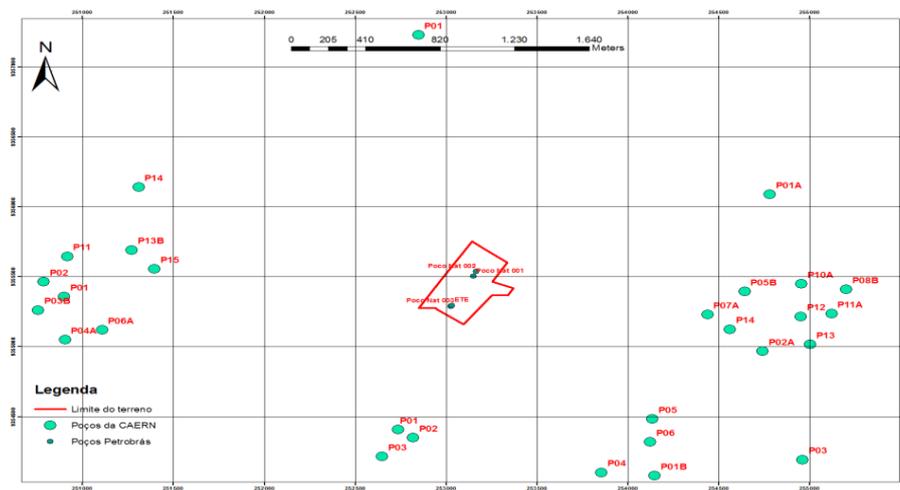


Figura 63: Poços da CAERN no entorno da área de estudo

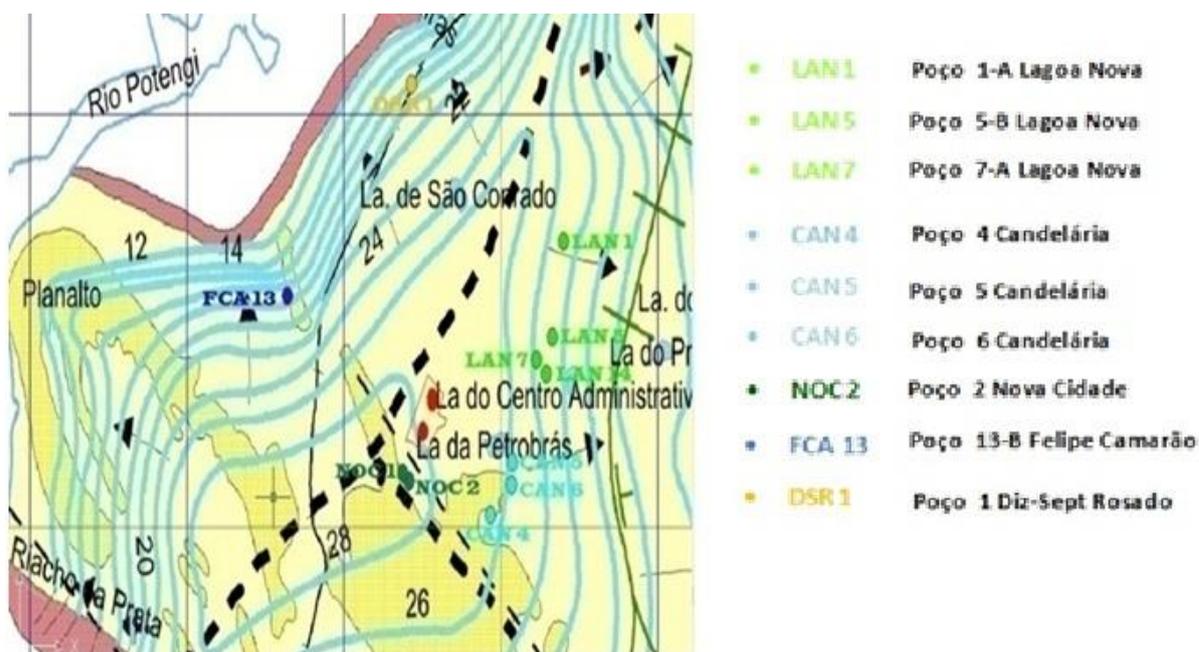


Figura 64: Poços ao redor da PETROBRAS no mapa Potenciométrico

Fonte dado de base: Pereira (2001).

Como a área de interesse deste projeto ficou muito próxima ao divisor de fluxo subterrâneo de água, optou-se por selecionar poços da CAERN das três vertentes de escoamento. Os poços selecionados foram: Poço 01-A Lagoa Nova 1, Poço 05-B Lagoa Nova 1, Poço 04 Candelária, Poço 05 Candelária, Poço-06 Candelária, Poço 07-A Candelária, Poço-13-B- Felipe Camarão, Poço-02-Nova Cidade e Poço-01 Dix-Sept Rosado. Como tem-se os dados anteriores ao início do reúso (Tabela 36), estes dados podem ser utilizados como informações de controle e deve-se solicitar a CAERN novos dados (pelo menos duas vezes ao ano) para monitoramento da evolução da qualidade da água desses poços. Na Tabela 37 são apresentados os endereços dos poços selecionados.

Tabela 36: dados fornecidos pela CAERN antes de iniciado o reúso em janeiro de 2010

Ponto de Coleta/Parâmetros	Alcalinidade Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Condutividade (µS/cm)	Cloretos (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Dureza Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Magnésio (mg/L Mg <sup>++</sup> )	Nitrato (mg/L N)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Sulfatos (mg/SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	pH	Turbidez (Ut)
Poço-01-A/Lagoa Nova	24,08	216,00	22,50	50,57	6,50	10,60	146,88	0,00	5,10	0,78
Poço-05-B/Lagoa Nova	6,11	198,00	22,30	43,56	7,99	9,70	134,64	0,00	4,72	0,54
Poço-07-A/ Lagoa Nova	6,11	200,00	22,20	33,84	5,72	10,10	136,00	0,00	4,72	0,61
Poço-04/ Candelária	6,99	209,00	24,99	29,19	6,12	12,50	142,12	0,00	5,06	0,50
Poço-05/ Candelária	6,61	170,00	20,79	23,35	4,50	9,00	115,60	1,40	4,99	0,60
Poço-06/ Candelária	8,36	165,00	19,79	25,49	4,50	0,30	112,20	0,00	5,25	0,50
Poço-13-B- Felipe Camarão	9,11	133,00	17,09	17,90	2,60	7,10	90,44	0,80	6,20	0,02
Poço-02-Nova Cidade	9,48	289,00	37,79	40,48	7,71	16,20	-	<1,00	5,55	0,43
Poço-01-Dix-Sept Rosado	3,74	228,00	32,89	29,38	5,72	12,70	155,04	1,04	5,14	0,16

Fonte: CAERN

Tabela 37: Localização dos poços selecionados para monitoramento

Poço	Endereço	X	Y
Poço 01-A/Lagoa Nova	Rua Marcilio Furtado esquina com a Av. Miguel Castro, 1284	254782	9356089
Poço 05-B/Lagoa Nova	Centro Administrativo	254643	9355395
Poço 07-A/Lagoa Nova	Centro Administrativo	254563	9355126
Poço-04/ Candelária	Av. Presidente Pamplona esquina com Rua do Rosário	253855	9354102
Poço-05/ Candelária	Rua Domingos Amado esquina com Rua Cruz Sousa	254135	9354484
Poço-06/ Candelária	Rua Cruz e Sousa esquina com a Rua Alamanda	254123	9354319
Poço-13-B/ Felipe Camarão	Rua São José da Barra	251271	9355692
Poço 02/ Nova Cidade	Rua da Tamarineira	252818	9354350
Poço 01/Dix-Sept Rosado	Rua Araguari esquina com a Rua Interventor Mario Câmara	252848	9357229

## 6- Conclusões e recomendações

Os três instrumentos de controle sanitário e ambiental propostos, implementados e avaliados – 1) adequação da ETE e controle da qualidade do efluente tratado; 2) análise da interação água-nutrientes-solo na área irrigada; 3) conhecimento da hidrogeologia local e análise da qualidade da água do aquífero – mostraram-se suficientes e adequados para assegurar os níveis de controle sanitário e ambiental propostos e estudados, que foram: a) controle da qualidade da água na saída da ETE e na saída do reservatório de irrigação; b) controle da qualidade da água no solo sub superficialmente e avaliação da evolução da composição do solo; c) avaliação da qualidade da água no aquífero.

Quanto à adequação da ETE algumas questões se mostraram decisivas para o bom funcionamento da mesma como, por exemplo, o controle da vazão, o gradeamento (tratamento preliminar) e também o efetivo controle operacional, principalmente no que diz respeito à manutenção adequada, a limpeza dos filtros e a reposição das pastilhas de cloro de forma mais bem programada.

Os filtros propostos, implantados a custo relativamente baixo, aumentaram a eficiência da estação significativamente.

Os coletores idealizados e desenvolvidos especialmente para coleta de amostras da água percolada subsuperficialmente mostraram-se eficientes. Foi possível realizar a coletar amostras de água como previsto, fundamental para a análise das interações água-nutrientes-solo na área irrigada.

O efluente coletado apresentou nível médio de nitrato de 11,26 mgN/L , enquanto a resolução 357/2005 do CONAMA permite concentração máxima de 10 mgN/L, no entanto este valor se encontra relativamente próximo do valor máximo permitido, e ainda deve-se considerar que o poço 3 da PETROBRAS apresentou uma concentração média de 12,61 mgN/L. Como solução poderia-se desativar o poço 3 e usar somente o poço 2 que apresenta concentração de nitrato de 9,89 mgN/L, ou ainda estudar a possibilidade de uso de água de chuva para diluição.

Constatou-se que parte do nitrogênio foi absorvido pela grama e retido no solo, já que a concentração de nitrato nos coletores foi inferior a concentração no reservatório de irrigação (cisterna).

A ETE da Mizumo na UO RNCE da PETROBRAS não removeu nitrogênio significativamente, ou seja, não desnitrifica. Nesse caso específico, como a diluição do efluente antes do reúso é grande, isso não se torna um problema grave, no entanto, em outros casos de reúso pode ser necessário uma ETE que remova nitrogênio, e este tipo de ETE não seria suficiente.

O estudo da hidrogeologia mostrou-se importante porque possibilitou a definição da direção do fluxo subterrâneo da área de estudo para posterior acompanhamento da evolução da qualidade da água dos poços em seu entorno.

Desta forma, pode-se concluir que o objetivo desta pesquisa foi alcançado, já que conseguiu estabelecer uma metodologia que pode servir de base para outros projetos de reúso de águas semelhantes.

## Referências

ÁLEM SOBRINHO, Pedro. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: Impacto ambiental do uso agrícola de lodo de esgoto. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap 1, p. 11-24.

ANDRADE NETO, C. O. de. Proteção sanitária das cisternas rurais. In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004, Natal. **Anais...** Natal: ABES/APESB/APRH. 2004.

ANDRADE NETO, Cícero O. de. Influência do Início da Precipitação na Qualidade da Água de Chuva. In: 14º Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto, Portugal, 26 a 28 de outubro de 2010. **Anais...** Porto, Portugal: APESB/APRH/ABES. 2010.

ANDREOLI, Cleverson; PEGORINI, Eduardo; TAMANINI, Crsitina Rincon. Parâmetros para normatização do reúso agrícola. In: GHEYI, Hans Raj; MEDEIROS, Salomão de Souza; SOARES, Frederico Antônio Loureiro. *Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior -Realidades e perspectivas*. Campina Grande: UFCG, 2005. Cap. 7, p. 127-161. CD-ROM.

ANNECCHINI, K. P. V. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES). Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Vitória: 2005.

APHA, AWWA; WPCF. (1999). *Standard Methods for examination of Water and Wastewater*. 20th ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control, Washington DC, USA.

BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier (Coordenador) et al. *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

BAUER, Danyelle Grecco. *Nitrificação do Efluente de um Reator Anaeróbio do Tipo UASB e de um Decantador Primário em um Sistema de Biofiltros Aerados Submersos*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

BEEKMAN, G.B. Water conservation, recycling and reuse. In: BISWAS, A.K, *international journal of water resources development*. Oxfordshire: Carfax, 1998. vol. 14, p. 353-364

BHUMBLA, D.K. Agriculture practices and nitrate pollution of water. Disponível em: [md.usgs.gov/publications/wirir-974139](http://md.usgs.gov/publications/wirir-974139). Acesso em: 18 de nov. 2010.

BOF, V.S; CASTRO, M.S.M; GONÇALVES, R.F.. ETE UASB + Biofiltro aerado submerso: desempenho operacional com retorno do lodo aeróbio para o UASB. In:

20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.1999. Rio de Janeiro. Anais..Rio de Janeiro ABES 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 8 de Janeiro de 1997.

BREGA FILHO, Darcy; MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos (Eds). reúso de águas. 1 ed. Barueri: Manole, 2003. cap. 2, p.21-36.

CAERN- Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. Mapa Potenciométrico do Aquífero Dunas/Barreira em Natal/RN. Relatório Interno. 1993

CARDOSO, Manuelle Cardoso Prado; PÁDUA, Valter Lúcio; BARCELOS, Henrique PEREIRA. Viabilidade Técnica do Aproveitamento de Água de Chuva em Zona Urbana: Estudo de caso no Município de Belo Horizonte/ MG in:25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009,Recife.Anais... Recife: ABES. 2009

CAVALINNI, Júlio Moscoso ; YOUNG,Luís Egocheaga.. Tratamiento y Uso de Águas Residuales Domésticas em Latino América.In Ghey, H.R.;Medeiros,S.de S.;Soares, F. A. L. (Organizadores). Workshop “Uso e reúso de Águas de Qualidade Inferior-realidade e perspectivas”..Cap 5, p.79- 96. Campina Grande 2005

CHAHIN, Ricardo Reis; FIGUEIRA NETTO Carlos Alberto de Moya; MESUTI, Esteban et al Sistema de Reaproveitamento de Água para Edificações.in 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.1999, Rio de Janeiro.Anais..Rio de Janeiro ABES 1999

CHAVES, J. F. C.; BALARIM, C. R. Avaliação da Utilização da Água de Chuva Em Edificações Residenciais Em Ponta Grossa/PR 3º Encontro de Engenharia e Técnicos dos Campos Gerais 27 a 31 de agosto de 2007. Ponta Grossa

CHERNICHARO, C.A.L. (1997). Reatores Anaeróbios. Coleção “principios do tratamento biológico de águas residuárias”, volume 5, depto. De Eng.Sanitária e Ambiental (DESA) UFMG. 246p.

CHERNICHARO, C.A.L. (2001). Reatores Anaeróbios. Coleção “principios do tratamento biológico de águas residuárias”, volume 5, depto. De Eng.Sanitária e Ambiental (DESA) UFMG. 246p.Pós-Tratamento de Efluentes de reatores Anaeróbios. Programa de Pesquisasem Saneamento básico-PROSAB, Belo Horizonte,544p.

COLLETI, F. J.; POLVINELLI, J.; DANIEL, L. A.. Pós-tratamento por lodos ativados de efluentes provenientes de processos anaeróbios de tratamento de esgoto sanitário: Determinação de constantes cinéticas. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu, ABES. Anais.Tomo I, Trabalho técnico I-118, p. 660-670. 1997

CRACIUN, Gecielma Pinto. Conservação e uso Racional de Água nos Sistemas prediais: Efetividade do Programa de Nacional de Combate ao Disperdício de Água. 2007. 99 f. Monografia (Especialista) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

Dynia,J.F; CAMARGO,O.A. Retenção de nitrato num solo de carga variável influenciada por adubação fosfatada e calagem. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília,v.34,n.1,p141-144,jan 2002.

EMBRAPA. Projeto Aquifero Guarani. Centro Nacional de Pesquisa do meio Ambiente. Disponível em: [WWW.cnpma.embrapa.br/projetos/aguasub](http://WWW.cnpma.embrapa.br/projetos/aguasub)

EUSTÁQUIO; H. M. B; SANTOS, J. L. P. dos. Uso Racional de Água em Edificações. Trabalho Final da Disciplina Engenharia Sanitária e Ambiental 2008. 31p Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

FERNANDES, Alexsander Jadison.; SILVA, Joel Dias da. Gerenciamento das Águas de Chuva para Uso Não-Potável em uma Edificação Residencial em Blumenau-SC: Estudo de Caso in:25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009,Recife.Anais.. Recife: ABES.2009.

FINK, Daniel Roberto; SANTOS, Hilton Felício Dos. A Legislação do Reúso de Água. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício Dos (Editores). Reúso de Água. Barueri: Manole, 2003. Cap. 8, p. 261-290.

FIORI, Simoni; FERNANDES, Vera Maria Cartana; PIZZO, Henrique. Avaliação Qualitativa e Quantitativa do Reúso de Águas cinzas em Edificações. Ambiente Construído, Porto Alegre, n. , p.19-30, 16 abr. 2006.

FLORÊNCIO, Lourdinha; BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; AISSE, Miguel Mansur (Coordenadores.). Reúso das Águas de Esgoto Sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologia para esse fim. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FORESTI,E. (1997). Sistemas de tratamento anaeróbio. In: III Curso de Tratamento Biológico de Resíduos. Santa Catarina, Florianópolis:UFSC.

Fundação Nacional de Saúde. Aplicação Controlada de Água Residuária e Lodo de Esgoto no Solo, Para Melhorar e Incrementar a Agricultura do Semi Árido Nordeste. Brasília 2007.

GODOY, Thaiz Gorga. Biofiltro Aerado Submerso Aplicado ao Pós-Tratamento de Reator UASB, Sob Condições hidráulicas desfavoráveis-Estudo em Escala Real.2007.177f. Dissertação (Mestrado).Universidade de São Paulo, São Carlos,2007.

GONÇALVES, R.F. Elimination Biologique Du Phosphore dès eaux Résiduares Urbaines Par Dês Biofiltres Immergés.1993.169f. Tese (doutorado) INSA\_Toulouse, França.1993.

GONÇALVES, Ricardo Franci; Araújo, Vera de Lúcia; Chernicharo, Carlos Augusto.Tratamento secundário de Esgoto Sanitário Através da associação em série de reatores UASB e Biofiltros Aerados Submersos.in 19º Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e Ambiental.1999.Contagem.Anias. Contagem 1997.

GONÇALVES, Ricardo Franci; PINTO, Marcelo Teixeira. Opções tecnológicas no início do século XXI para tratamento de esgotos sanitários doas grandes Regiões Metropolitanas Brasileiras. Anais do IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.Porto Seguro: ABES,2000.

GONGALVES, Ricardo Franci (Coodenador). *Et al* Uso Racional da Água e Energia: Conservação de Água e Energia em Sistemas Prediaias e Públicos de Abastecimento de Água. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

GONGALVES, Ricardo Franci (Coordenador.) *et al* . Uso Racional da Água em edificações. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GREGORY, J. D., LUGG, R., SANDERS, B. (1996) - Revision of the national reclaimed water guidelines. Desalination. v. 106, n. 1-3, p. 263-268. water guidelines. Desalination. v. 106, n. 1-3, p. 263-268, 1996.

HESPANHOI, Ivanildo . Água e Saneamento Básico. Uma visão realista. In: A.C (coord). Águas doces no Brasil, São Paulo, escrituras,1999.

JÚLIO, Marcelo de; FERREIRA, Diego Fiuza; BARBUR, Luiz Gustavo et al- Racionalização do Uso da Água no Barbur Plaza Hotel, Ponta Grossa/PR, Por meio do Aproveitamento da Água de Chuva e do Reúso da Água da Lavanderia in:25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009,Recife.Anais.. Recife: ABES.2009

LEITE, Alice. Reúso de Água na Gestão integrada de Recursos Hídricos.2003.120 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica de Brasília. Brasília ,2003.

LETTINGA,G., VAN NELSEN,A.F.M, HOBMA,S.W.,DE ZEEUW,W.; KLAPWIJK,A. (1980). Use of the upflow Sludge blanket (USB) reactor Concept for Biological Wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. Biotechnology and Bioengineeringv.22,p. 699-734.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício Dos (Ed.). Reúso de Água. Barueri: Manole, 2003.

MARINOSKI, Ana Kelly. Aproveitamento de Água Pluvial para Fins Não Potáveis em Instituição de Ensino: Estudo de Caso em Florianópolis/SC. 2007. 107 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MÁXIMO, Camila Corrêa. Avaliação do Emprego de Efluentes Sanitários Tratados em Irrigação Ornamental no Distrito Federal. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

MAY, Simoni. Estudo de viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004. 159 p. Dissertação (mestrado) Escola politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

MELO, Luciano. R.C; ANDRADE NETO, C. O. de. Um Amostrador Automático Simples para Captação de Água da Chuva em Seus Diferentes Estágios in 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.2007,Belo Horizonte.Anais... Belo Horizonte:ABES 2007.

MENEZES, André Vaz. Estudo do Impacto da Inclusão de Sistemas de Conservação de Água na Qualidade do Investimento para Edifícios Residenciais na Cidade de São Paulo. 2006. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MI, Ministério da Integração Nacional. Disponível em <http://www.mi.gov.br/saofrancisco/revitalizacao/reuso/index.asp>. Acessado em 27 de outubro de 2010

MIZUMO. Manual de instruções da ETE (2007)

MORAES, J.F.V. Movimento de nutrientes em latossolo Vermelho-Escuro. Pesquisa Agropecuária brasileira, Brasília,v.23,n.1,p.85-97,jan 2001.

MUFFAREG, Marcos Roberto. Análise e Discussão dos conceitos e Legislação Sobre Reúso de Águas Residuárias. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

NUNES, Riane Torres Santiago. Conservação da Água em Edifícios Residenciais: Potencial de Uso Racional e Reúso em Shopping Center. 2006. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, Lúcia Helena de; CAMPOS, Luiza Cintra; SIQUEIRA, Eduardo Queija et al. Tecnologias para otimização do uso da água no domicílio in:Fundação Nacional de saúde. 4º Caderno de Pesquisa em Engenharia de Saúde Pública.Cap.6.p.171-218.Brasília 2010.

ORTEGA, Luis Charlestone; NOYOLA, Adalberto Robles; SAVAL, Susana Bohórques. Efecto de lodos activados de purga sobre el funcionamiento de um reator UASB piloto y las características del lecho de lodo granular. XXV Congreso Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México: AIDIS, 1996.

PADULA FILHO, Hélio et al. Sistemas de Reúso de Água: Projetos e Estudos de Caso. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício Dos (Editores). Reúso de Água. Barueri: Manole, 2003. Cap. 14, p. 479-499.

PEDROSO, Luís Paulo. Subsídios para a implementação de sistema de manutenção em campus universitário, com ênfase em conservação de água. 2002. 168 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002

PEREIRA, R. Caracterização hidrológica do sistema lacustre Bonfim - RN, Brasil. 2001. 226 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PNCDA, Desenvolvido pelo Ministério das Cidades. Disponível em <<http://www2.cidades.gov.br/pncda>> Acesso: 09 de maio de 2008.

SANTOS, Celso Augusto Guimarães; MAGNO, Klyssia ;PALMEIRA, Melina et al. Captação de Água de Chuva em Condomínios Horizontais in: VI Seminário Interamericano Sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa.2004.

SCHATZMANN, A. P. M. Avaliação Da Possibilidade de Uso da Água de Chuva no Campus Barigui da Universidade Tuiuti do Paraná. in:25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009,Recife.Anais.. Recife: ABES.2009

SILVA, Antônio César da Costa e; FLORIO, Eliane Rodrigues de Almeida. Experiência da Sabesp em Reúso. In: GHEYI, Hans Raj; MEDEIROS, Salomão de Souza; SOARES, Frederico Antônio Loureiro. Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior-Realidades e perspectivas. Campina Grande: UFCG, 2005. p. 79-91. CD-ROM.

SITÔNIO, C.P . Pós-Tratamento de Efluentes de reatores Anaeróbios Utilizando Biofiltro Aerado Submerso. 2001.105f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

VAN HAANDEL,A.C & LETTNGA, G (1994). Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate. John Wilwy and Sons,222p.

VERONEZ, Fernanda Aparecida. Desempenho de um Reator UASB Tratando Esgoto Sanitário e Realizando Concomitantemente o Adensamento e a Digestão do Lodo de Descarte de Biofiltros Aerados Submersos. 2001 Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Desa (ufmg), 1996. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias).

WHO - World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. Disponível em: [http://www.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/wastreusexecsum.pdf](http://www.int/water_sanitation_health/wastewater/wastreusexecsum.pdf). Acesso em abr 2011

YWASHIMA, Laís Aparecida. Avaliação do uso de água em edifícios escolares públicos e análise de viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas, 2005.

ZAIAT, M. Desenvolvimento de reator anaeróbio Horizontal de leito Fixo para Tratamento de Águas Residuárias.1996. 156 f. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, São Carlos.1996

Zublena,J.P;COOK,M.G; ST Clair,M.B. Polutants in groundwater health effects. Disponível em: [ces.soil.ncsu.edu/soilscience/publications/soilfacts](http://ces.soil.ncsu.edu/soilscience/publications/soilfacts). Acesso em 10/out 2010.