

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS
QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS**

Diagnóstico da composição dos efluentes gerados em setor de lavagem na produção de vacina bacteriana com vistas ao reúso

Dissertação de Mestrado

Jorge Alexandre Silveira da Cunha

Orientadora:

Juacyara Carbonelli Campos, D Sc

Rio de Janeiro
2013

Cunha, Jorge Alexandre Silveira da.

Diagnóstico da composição dos efluentes gerados em setor de lavagem na produção de vacina bacteriana com vistas ao reúso / Jorge Alexandre Silveira da Cunha. – 2013.

118 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Rio de Janeiro, 2013.

Orientadora: Juacyara Carbonelli Campos

1. Efluente Industrial. 2. Indústria Farmacêutica. 3. Reúso de Água – Teses. 4. Remoção de matéria orgânica - Teses. I. Campos, Juacyara C. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química. III. Título.

Diagnóstico da composição dos efluentes gerados em setor de lavagem na produção de vacina bacteriana com vistas ao reúso

Jorge Alexandre Silveira da Cunha

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.).

Rio de Janeiro, 27 de agosto de 2013

Juacyara Carbonelli Campos, D.Sc. – EQ/UFRJ (Orientadora)

Andréa Azevedo Veiga, D. Sc. – PETROBRAS

Thaís Delazare, D.Sc. – IQ/UFRJ

Selma Gomes Ferreira Leite, D.Sc. – EQ/UFRJ

AGRADECIMENTOS

- À minha orientadora Dr^a Juacyara Carbonelli Campos, pela paciência e dedicação.
- À Gerente de Departamento Maria do Carmo Gonçalves Medeiros, por permitir este estudo e pelo incentivo.
- Ao Supervisor do Setor de lavagem Edson Rodrigues Soares pelas idéias, apoio e amizade e à sua equipe, principalmente o Luiz Octávio que me ajudou com as amostras.
- Ao técnico responsável pela Central de Tratamento de Águas Marcelo Allemand Mancebo pelas informações e apoio.
- Ao Gerente da Baltar Química Ltda Ricardo da Cunha, pelo grande apoio e amizade.
- À Erica Roque, pela disponibilidade em fazer as análises de DBO.
- Ao pessoal do LABTARE pela força e companheirismo.
- Um especial agradecimento à minha esposa Adriana e filhos Ana Beatriz e Philipe, pela força, paciência, carinho e tudo o que uma Verdadeira Família pode oferecer.
- Aos meus saudosos pais, que me fizeram ser tudo o que sou hoje.

RESUMO

Cunha, Jorge Alexandre Silveira da. **Diagnóstico da composição dos efluentes gerados em setor de lavagem na produção de vacina bacteriana com vistas ao reúso.** Orientadora: Juacyara Carbonelli Campos. Rio de Janeiro: EQ/UFRJ, 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos).

A questão ambiental, em especial a gestão de recursos hídricos, é um tema abordado mundialmente inclusive nas indústrias, onde novas tecnologias são criadas para mitigar este problema. É cada vez mais comum nestas a utilização de efluente tratado em operações de suporte como torres de refrigeração, caldeiras, irrigação de jardins, lavagem de pisos e fachadas e em bacias sanitárias. Este trabalho teve como objetivo avaliar possibilidades de reúso do efluente gerado em setor de lavagem na produção de vacinas bacterianas em indústria farmacêutica. O efluente foi caracterizado para ser enquadrado em uma das classes determinadas pela NBR 13.969/1997 e aos parâmetros americanos para água de reúso aplicada em irrigação, além de se buscar suporte em normas e literatura nacionais e internacionais a fim poder ser reutilizado em rega de jardins, lavagem de ruas e pátios ou em torres de refrigeração. A unidade do estudo de caso usa água potável nestas finalidades menos nobres e apresenta um alto custo com obtenção de água para a produção de imunobiológicos. Os resultados mostraram que a água oriunda da confluência do efluente gerado na lavagem automática de tanques e frascos (P1) com o efluente gerado nas cubas de lavagem manual de frascos (P2), do setor de lavagem do departamento de produção de vacinas bacterianas, poderá ser adequada ao reúso em rega de jardins, lavagem de pisos, combate a incêndio e uso em vasos sanitários, assim como em torres de resfriamento, após tratamento por ultrafiltração e desinfecção por ácido peracético, para os primeiros casos, e nanofiltração ou osmose inversa, para o último caso, com a finalidade de reduzir matéria orgânica e fosfato.

ABSTRACT

Cunha, Jorge Alexandre Silveira da. **Diagnóstico da composição dos efluentes gerados em setor de lavagem na produção de vacina bacteriana com vistas ao reúso.** Orientadora: Juacyara Carbonelli Campos. Rio de Janeiro: EQ/UFRJ, 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos).

Environmental issues, particularly water resources management is a topic discussed worldwide including in industries where new technologies are designed to mitigate this problem. It is increasingly common in the use of treated effluent in support operations such as cooling towers, boilers, irrigation of gardens, washing of floors and facades and in toilets. This work aimed to evaluate possibilities for reuse of the wastewater generated in the wash sector in the production of bacterial vaccines in pharmaceutical industry. The effluent was characterized to be framed in one of the classes determined by the NBR 13.969/1997 and American water reuse parameters applied in irrigation, as well as seek support in national and international literature and standards in order to be able to be reused in irrigation of gardens, washing of streets and patios or in cooling towers. The unity of the case study uses drinking water in these less noble purposes and has a high cost of obtaining water for immunobiological production. The results showed that the water from the confluence of the wastewater generated in the automatic washing of tanks and bottles (P1) with the effluent generated in manual washing tubs of bottles (P2), washing sector production Department of bacterial vaccines, may be appropriate for reuse in irrigation of gardens, washing floors, fire fighting and use in toilets as well as in cooling towers, after treatment by ultrafiltration and peracetic acid disinfection, to the first cases, and nanofiltration or reverse osmosis, for the latter case, in order to reduce organic matter and phosphate.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema básico de tratamento de efluente para lançamento e para reúso	39
Figura 2: Esquema de filtro de areia e antracito.....	43
Figura 3: Esquema de filtração tangencial.....	47
Figura 4: Unidade de osmose inversa para produção de AP.....	57
Figura 5: Gráfico do consumo médio mensal de AP no departamento em 2012..	58
Figura 6: Gráfico do consumo médio mensal de AP no departamento até junho de 2013.....	59
Figura 7: Destilador múltiplo efeito para produção de API.....	60
Figura 8: Gráfico do consumo médio mensal de API no departamento em 2012.	61
Figura 9: Gráfico do consumo médio mensal de API no departamento até junho de 2013.....	62
Figura 10: Fluxograma do desenvolvimento do estudo.....	64
Figura 11: Esquema de amostragem.....	67
Figura 12: Ponto 1 com tanque acoplado à CIP/SIP em operação de lavagem automática.....	68
Figura 13: Ponto 1 de amostragem (lavadoras automáticas).....	68
Figura 14: Ponto 2 - Cubas para lavagem manual.....	69
Figura 15: Ponto 2 – Adaptação para coleta de amostra antes de confluir com outros efluentes.....	69
Figura 16: Ponto 2 de amostragem – Cuba de lavagem manual e descarga no ralo.....	70
Figura 17: Mudança de coloração.....	75
Figura 18: Gráfico do consumo médio mensal de água potável na unidade em 2012.....	78
Figura 19: Gráfico do consumo médio mensal de água potável na unidade até	

junho de 2013.....	79
Figura 20: Kit para Contagem de Heterotróficas em Placa (HPC) Millipore.....	84
Figura 21: Kit Colilert indicando presença de Coliformes Totais.....	85
Figura 22: Kit Colilert indicando ausência de <i>E. coli</i>	85
Figura 23: Gráfico de linha de SDT, Condutividade e Cloreto.....	87
Figura 24: Diagrama de caixa de SDT, Condutividade e Cloreto.....	87
Figura 25: Gráfico de linha de COT, DQO e DBO.....	89
Figura 26: Diagrama de caixa de COT, DQO e DBO.....	89
Figura 27: Gráfico de linha de PO_4^{3-} e N-NH_3	92
Figura 28: Diagrama de caixa de PO_4^{3-} e N-NH_3	92
Figura 29: Gráfico de linha de pH, Alc.T e Alc.OH.....	93
Figura 30: Diagrama de caixa de pH, Alc.T e Alc.OH.....	94
Figura 31: Gráfico de linha de Turbidez e Heterotróficos.....	95
Figura 32: Diagrama de caixa de Turbidez e Heterotróficos.....	95
Figura 33: Esquema de tratamento do efluente gerado em P1 e P2.....	101
Figura 33: Esquema de tratamento do efluente gerado em P1 para reúso aplicado em rega de jardins e em torres de resfriamento.....	102

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros para AP e API.	24
Tabela 2: Classes e parâmetros para efluentes conforme reúso NBR 13969/97.	34
Tabela 3: Limites recomendados para água de reúso em irrigação agrícola e paisagística.....	35
Tabela 4: Limites recomendados para água de reúso em agricultura, rega de jardins e lavagem de pisos.....	36
Tabela 5: Critérios de proteção contra microrganismos patogênicos em reúso de águas.....	37
Tabela 6: Limites recomendados para água de alimentação ou reposição para sistemas semi-abertos de resfriamento segundo USEPA (1992), Semura (2005), Kurita (2011) e Ludwig (1997).....	38
Tabela 7: Exemplos de agentes oxidantes e suas aplicações em efluentes.....	46
Tabela 8: Características de processos de separação por membrana.....	47
Tabela 9: Comparação de membranas na remoção de poluentes.....	52
Tabela 10: Resultados de caracterização físico-química das amostras coletadas.....	82
Tabela 11: Resultados de caracterização microbiológica das amostras coletadas.....	83
Tabela 12: Tratamentos estatísticos dos resultados.....	83
Tabela 13: Comparação dos resultados com parâmetros recomendados para reúso em irrigação agrícola não-alimentar, paisagística, incluindo rega de jardins, lavagem de pátios e fachadas.....	97
Tabela 14: Comparação dos resultados com limites recomendados para água de alimentação em sistemas semi-abertos de resfriamento.....	98

SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ANA	Agencia Nacional de Águas
ANVISA	Agencia Nacional de Vigilância Sanitária
AP	Água purificada
API	Água para injetáveis
AUP	Água ultrapura
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
CIP/SIP	Cleaning in place / Sterilization in place
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
CTA	Central de Tratamento de Águas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EU	Unidade de Endotoxina
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
LABTARE	Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Panamericana de Saúde

PNRH	Programa Nacional de Recursos Hídricos
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
COT	Carbono Orgânico Total
UFC	Unidade Formadora de Colônia
USP	United States Pharmacopeia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	14
1.1. INTRODUÇÃO	14
1.2. OBJETIVO GERAL.....	16
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Falta de água: um problema mundial	17
2.2. Água na produção farmacêutica	20
2.3. Reúso de águas	24
2.3.1. Classificação de água para reúso segundo a OMS	27
2.3.2. Classificação de águas para reúso segundo a ABES	29
2.3.3. Classificação de águas para reúso segundo a Resolução nº54/2005	31
2.3.4. Classificação de águas para reúso segundo a NBR 13.969/1997	32
2.4. Parâmetros usados como indicadores de qualidade da água de reúso	33
2.5. Métodos de tratamento de efluente para reúso	39
2.5.1. Tecnologias para tratamento terciário	41
2.5.1.1. Ozonização e POA	47
2.5.2. Casos nacionais e internacionais bem sucedidos de reúso	49
2.6. Descrição da unidade do estudo de caso	54
2.6.1. Descrição dos tipos de água produzidas na unidade de estudo	55
3. MATERIAIS E MÉTODOS	64
3.1. Coleta de amostras	65
3.2 Análises realizadas	70
3.3. Metodologia analítica	71
3.4. Análise dos dados	75
3.5. Cálculo da vazão do efluente gerado no setor de lavagem	75

3.6. Cálculo do consumo de água potável em irrigação de jardins	76
3.7. Custo estimado com água pela unidade em estudo	77
3.8. Estudo de casos avaliados	78
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1. Parâmetros avaliados para água de reúso	81
4.1.1. Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Condutividade e Cloreto.....	86
4.1.2. DQO, COT e DBO	88
4.1.3. PO_4^{3-} e $N-NH_3$	91
4.1.4. pH, Alcalinidade T e Alcalinidade OH	93
4.1.5. Turbidez, Heterotróficos, Coliformes Totais e E. coli	94
4.2. Comparação dos resultados com parâmetros recomendados	96
4.2.1. Efluente gerado em semana com produção e experimentos	96
4.2.2. Efluente gerado em semana de produção sem experimento	99
4.3. Proposta de tratamento do efluente gerado em P1 e P2 para reúso	100
4.4. Proposta de tratamento do efluente gerado em P1 para reúso	101
4.5. Proposta de tratamento do efluente gerado em P2 para reúso	102
4.6. Considerações sobre vazão do efluente e consumo e custo de água	103
5. CONCLUSÕES.....	105
6. SUGESTÕES	107
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
8. ANEXOS.....	115

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 INTRODUÇÃO

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente (CMMAD) da Organização das Nações Unidas em 1987 definiu que desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades presentes, sem comprometer a satisfação das necessidades das gerações futuras (DEZOTTI, 2008p.14).

A questão ambiental, em especial a gestão de recursos hídricos, não é um assunto recente. Em 1918, o Departamento de Saúde Pública do Estado da Califórnia estabelece os primeiros regulamentos para utilização de esgotos com propósito de irrigação neste estado (HESPANHOL, 2003 p.98).

O Conselho Econômico e Social das Nações Unidas, em 1958, estabelece uma política de gestão para recursos hídricos afirmando que nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que tolerem águas de qualidade inferior, a menos que exista grande disponibilidade (OMS, 1973). Ainda segundo este mesmo artigo, a Organização Mundial de Saúde, no início da década de 1970, salientou a necessidade de reúso de água, além de desenvolvimento de métodos avançados de tratamento de efluentes como meios de suplementar a escassez dos recursos hídricos e de evitar sua contaminação.

Nos últimos tempos, devido ao crescimento populacional e industrial, o estresse hídrico dos reservatórios de países da Europa vem crescendo, acentuando-se os casos de Chipre, Bulgária, Malta e Bélgica (BIXIO *et al*, 2006, DO MONTE *et al*, 2007).

Uma produção limpa, alinhada a políticas ambientais, faz parte da realidade das indústrias atuais que almejam fortalecer sua imagem, além de reduzir custos, implementando projetos de racionamento e reúso de recursos hídricos (HESPANHOL, 2012).

A unidade em estudo foi ampliada para receber novas transferências tecnológicas de vacinas em fins da década de 1990, o que propiciou a construção de um novo departamento de produção de vacinas bacterianas. Esta unidade consome atualmente em torno de 19.400 m³/mês de água potável para uso industrial, para fins sanitários, na irrigação de jardins e em outros usos, sendo que o consumo industrial se divide em água destinada a utilidades, tais como produção de vapor e torres de resfriamento, e água destinada à produção.

Devido à natureza dos produtos, principalmente imunobiológicos injetáveis, o grau de pureza e os grandes volumes desta água utilizada em processos de lavagem de tanques e de materiais, se tornam necessários para que sejam atingidos os parâmetros exigidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), elevando muito o gasto de água de alto grau de pureza e gerando, conseqüentemente, um efluente bastante diluído com grandes possibilidades para reúso não potável, sendo que para isso, se possa utilizar tecnologias de tratamento que vão desde uma simples desinfecção até processos de filtração por membranas, tais como ultrafiltração, nanofiltração ou osmose inversa.

O presente estudo foi realizado considerando-se um cenário mundial cada vez mais voltado para políticas de gestão sustentável de recursos hídricos, os avanços institucionais, com a construção de novas unidades de produção buscando a certificação internacional verde LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Considerou-se também o gasto com água potável pela empresa em estudo, usada na irrigação de jardins, em torres de resfriamento e em outras finalidades menos nobres, bem como o alto custo com obtenção de águas específicas para a produção de imunobiológicos.

Este trabalho foi motivado pela questão ambiental, buscando-se reduzir a emissão de efluentes no corpo receptor adjacente às instalações da unidade, substituindo-se água potável utilizada na irrigação de jardins e em torres de refrigeração por água de reúso. Além desta, também teve-se como foco o viés econômico gerencial, em função do conseqüente aumento de disponibilidade de água potável para operações industriais e para consumo humano, objetivando-se a uma redução nos custos dos processos produtivos, onde os valores agregados da água utilizada e do produto obtido com ela são significativamente altos. Somado a

isso, tem-se o fortalecimento da imagem institucional, harmonizando-a com as tendências atuais de uma política de gestão sócio ambiental sustentável.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo avaliar possibilidades de reúso do efluente gerado no setor de lavagem da produção de vacinas bacterianas, de indústria farmacêutica da área de imunobiológicos, em rega de jardim e em torres de resfriamento.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o efluente gerado no setor de lavagem da produção de vacinas bacterianas;
- Avaliar o consumo e custo de água potável utilizada nas atividades de rega de jardim e torres de resfriamento da indústria produtora de vacinas;
- Avaliar diferentes cenários para reúso do efluente gerado;
- Avaliar a diminuição de custos com a substituição de água potável por água de reúso em operações de rega de jardim e em reposição de torres de resfriamento;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Falta de água: um problema mundial

A indisponibilidade de água foi e ainda é uma preocupação para vários países, em especial para aqueles cuja oferta de recursos hídricos é restrita, como é o caso de vários países europeus e africanos. Por este motivo, o reúso da água servida não é um conceito novo no mundo civilizado. Povos antigos já usavam efluente para irrigação. Com a expansão industrial e conseqüente aumento populacional, adicionando-se ao limite hidrológico e à baixa qualidade de alguns mananciais, reduzindo ainda mais os recursos hídricos dos países, a preocupação com reúso de água vem aumentando (DO MONTE, 2007; BIXIO, 2006; FATTA, 2005; ANGELAKIS *et al*, 1999).

De toda água do planeta, 97,3% forma os oceanos, 2,1% fica retida nas geleiras e apenas 0,6% é de água doce, sendo que desta 97,73% é subterrânea, 0,02% formam os rios, 1,48% formam os lagos e 0,77% correspondem à umidade do solo (DEZOTTI, 2009 p.9). Em torno de 12% da reserva mundial de água doce está no Brasil e 80% destes estão na Região Amazônica, sendo que os 20% restantes estão em regiões onde vivem 95% da população do Brasil (BRASIL, 2002). Para abastecimento industrial e doméstico, devido à facilidade, as águas superficiais (rios e lagos) são as mais usadas e por isso se deve ter maior cuidado com estes corpos de recepção e captação.

De acordo com Mancuso & Santos (2003, p.3), 65% de toda água consumida no mundo é direcionada à agricultura, 25% para as indústrias e 10% para fins urbanos e, se pelo menos esta última fração fosse reutilizada na agricultura, teríamos um aumento na produção mundial de alimentos. Mancuso & Santos (2003, p.3), ainda se referem a problemas tais como a captação excessiva do aquífero subterrâneo no Oriente Médio, permitindo sua contaminação pela intrusão de salinidade marinha e a possível falência ecológica do Parque Nacional de Everglades, na Flórida, em aproximadamente 20 anos devido à poluição e captação de água com finalidade agrícola e urbana.

Segundo Hespanhol (2012), por possuir 12% das reservas de água doce do mundo, a questão da água não era um problema para o Brasil, excetuando-se as regiões semi-áridas. Além disso, não setinha a visão da água como um recurso econômico finito, necessitando ser preservado para garantir sustentabilidade. O autor comenta que, somente nos últimos anos, é que esta preocupação cresceu concomitante aos problemas de escassez, consequentes ao aumento da demanda e do custo da cobrança pelo uso das águas e da poluição dos mananciais instituído pela Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997 (HESPANHOL, 2012).

“[...]é importante a criação de estratégias que compatibilizem o uso da água nas atividades humanas à ideia de que os recursos hídricos não são abundantes no País. Isto significa que os atuais conceitos sobre uso da água, tratamento e descarte dos efluentes gerados devem ser reformulados. Assim sendo, a racionalização do uso e reuso da água tornam-se elementos essenciais de garantia à continuidade das atividades humanas, diante desse cenário de escassez.” (MIERZWA & HESPANHOL, 2005, p.10).

O ciclo hidrológico, com sua evaporação e sua precipitação, é uma forma de reúso da água. As cidades e suas indústrias retiram água de mananciais e retornam para estes mesmos mananciais com seus efluentes que se purificam naturalmente para então serem usados. A diluição e a purificação natural eram normalmente suficientes no passado, mas nos últimos anos, o crescimento populacional e industrial têm tornado evidente que o efluente deve ser tratado antes de ser descarregado para manter a qualidade do manancial (WHO, 1973).

A demanda de água na Europa aumentou 600% durante a segunda metade do século vinte e 75% da água potável usada é obtida de águas superficiais (DO MONTE, 2007).

Os efluentes líquidos, domésticos ou industriais, são tipos de rejeitos muito comuns. Estes são responsáveis por uma parte significativa da carga de poluentes gerados em nosso planeta e, deste modo, merecem uma atenção especial por parte dos órgãos de Legislação Ambiental de todas as nações.

A preocupação com o meio ambiente e o conceito de desenvolvimento sustentável tiveram um marco na Eco/92, no Rio de Janeiro. Neste encontro de Nações foi criada a Agenda 21, onde foram propostas metas socioambientais a

serem atingidas pelos países participantes que se comprometeram. Na Agenda 21 brasileira, o capítulo 18 – Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos, mostra a crescente preocupação em âmbito mundial neste tema, reafirmado durante as discussões na Rio+20 em 2012 (BRASIL, 2004a).

Em estudo realizado na Região Metropolitana de São Paulo, indústrias que projetam, constroem e operam sistemas de reúso gastam menos produzindo água (entre R\$ 0,80 a R\$ 1,20/m³) que as que compram água de reúso (aproximadamente R\$ 1,80/m³) para fins industriais não potáveis, como água de reposição para torres, fornecidas pelas Companhias Municipais e Estaduais de Saneamento (MIERZWA & HESPANHOL, 2005, p.6).

Em uma pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2007 com indústrias situadas na região do Rio Paraíba do Sul, no Rio de Janeiro, os resultados sugerem que a implementação da cobrança pelo uso da água pode ser um eficaz instrumento para incentivar práticas de reúso e também na redução de captação de água na região, onde o custo da água de reúso fica em torno de R\$ 0,88/m³, representando 1/3 do custo de uso da água captada, de R\$ 2,46/m³ (FÉRES *et al*, 2007).

Uma pesquisa feita pela Associação Brasileira de Indústrias Químicas em 2007, com as indústrias associadas, mostra que entre 2001 e 2007 as medidas tomadas em relação à gestão de recursos hídricos resultaram numa correspondente redução da ordem de 24% no consumo de água e uma conseqüente redução na emissão de efluentes de aproximadamente 55% (ABIQUIM, 2008).

Em relação ao problema: demanda versus oferta de água para as gerações futuras, uma das ferramentas alternativas para este enfrentamento é o reúso de água, importante instrumento de gestão ambiental deste precioso recurso.

2.2. Água na produção farmacêutica

A água é considerada insumo essencial na maioria dos processos produtivos. Na indústria farmacêutica, é usada em utilidades, na produção de vapor industrial, como água de torres de resfriamento e água gelada, como águas de processo (purificada e para injetáveis) bem como para a produção de vapor puro, utilizado nos processos de esterilização, além dos usos sanitários e de manutenção paisagística. As exigências das agências regulatórias nacionais e internacionais em relação a produtos para consumo humano são rigorosas, especialmente em se tratando de fármacos e imunobiológicos, acentuando-se este último, cuja maioria dos produtos é de natureza injetável, exigindo um alto grau de pureza da água para evitar contaminação e consequentes reações adversas do sistema imunológico que podem, em casos extremos, levar a óbito. Sabendo que uma grande parte das vacinas existentes é destinada à faixa etária de 0 a 2 anos, este cenário se agrava consideravelmente, uma vez que nesta idade o indivíduo se encontra mais indefeso.

Para garantir a qualidade da água utilizada na produção de medicamentos no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), elaborou na Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº17, de 16 de abril de 2010, que dispõe sobre Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos, um capítulo para tratar apenas deste tema, como pode ser visto a seguir.

TÍTULO VI
ÁGUA PARA USO FARMACÊUTICO
CAPÍTULO I
EXIGÊNCIAS GERAIS PARA SISTEMAS DE ÁGUA PARA USO FARMACÊUTICO
Art. 527. Os sistemas de produção, armazenamento e distribuição de água para uso farmacêutico devem ser planejados, instalados, validados e mantidos de forma a garantir a produção de água de qualidade apropriada (BRASIL, 2010a).

Neste mesmo ano é aprovada pela ANVISA a Farmacopéia Brasileira, 5ª edição, através da RDC nº 49, de 23 de novembro de 2010, contendo as classificações e parâmetros das águas utilizadas na indústria farmacêutica, além de tecnologias de obtenção e sugestões de aplicação.

De acordo com a Farmacopéia Brasileira (BRASIL, 2010c), há basicamente três tipos de água para uso farmacêutico: água purificada (AP); água para injetáveis (API) e água ultrapurificada (AUP), sendo que compêndios oficiais de outros países ou internacionais especificam, além desses, outros tipos de água, como: acondicionadas em frascos, estéreis ou bacteriostáticas, para irrigação ou inalação. Entretanto, todas possuem características de pureza semelhantes aos tipos fundamentais mencionados. Esta Farmacopéia comenta também sobre a água potável e a água reagente, que são amplamente utilizadas e têm aplicação direta em instalações farmacêuticas, principalmente em procedimentos gerais de limpeza, considerando assim, cinco tipos de água aplicadas nesta área, conforme descritas a seguir:

Água potável

Esta água, que apresenta legislação específica (Resolução 2914 do Ministério da Saúde - BRASIL, 2011), é considerada o ponto de partida para qualquer processo de purificação de água para fins farmacêuticos. É empregada normalmente, nas etapas iniciais de procedimentos de limpeza e como fonte de obtenção de água de mais alto grau de pureza, também podendo ser utilizada, na climatização térmica de alguns aparatos e na síntese de ingredientes intermediários (BRASIL,2010b).

Água reagente

Esta água é obtida por um ou mais processos, tais como destilação simples, deionização, filtração, descloração ou outro, adequados às características específicas de seu uso, sendo geralmente empregada na limpeza de materiais e de alguns equipamentos, bem como na fase final da síntese de ingredientes ativos e de excipientes no abastecimento de equipamentos, autoclaves, banho-maria e em histologia, devendo ser adotadas medidas para evitar proliferação microbiana em pontos de circulação, distribuição e armazenamento. Seus principais parâmetros

são: condutividade de 1,0 a 5,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e carbono orgânico total (COT) menor que 0,20 mg/L (BRASIL, 2010c).

Água purificada (AP)

Esta água é produzida a partir da água potável ou da água reagente, por uma combinação de sistemas de purificação em sequência, tais como múltipla destilação; troca iônica; osmose reversa; eletrodeionização; ultra filtração, ou outro processo capaz de atender aos limites especificados. É empregada como excipiente na produção de formas farmacêuticas não parenterais e em formulações magistrais, desde que não haja nenhuma recomendação de pureza superior no seu uso ou que não necessite ser apirogênica, sendo também utilizada na lavagem de materiais, preparo de soluções reagentes, meios de cultura, tampões, diluições diversas, microbiologia em geral, análises clínicas, técnicas por Elisa ou radioimunoensaio, aplicações diversas na maioria dos laboratórios, principalmente em análises qualitativas ou quantitativas menos exigentes (BRASIL, 2010c).

Esta água necessita monitoramento de contagem do total de organismos aeróbicos viáveis, na produção e estocagem, sendo caracterizada por condutividade de 0,1 a 1,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25,0 $^{\circ}\text{C}$ e COT menor que 0,50 mg/L, endotoxinas menor que 0,25 UI de endotoxina/mL e contagem total de bactérias menor que 100 UFC/mL, devendo também, todo o sistema de obtenção; armazenamento e distribuição ser validado e monitorado quanto aos parâmetros de condutividade e contagem microbiana (BRASIL, 2010c).

Água ultrapurificada (AUP)

Esta água é usada em aplicações mais exigentes, principalmente em laboratórios de ensaios que exijam mínima interferência e máxima precisão e exatidão, para diluição de substâncias de referência, em controle de qualidade e na limpeza final de equipamentos e utensílios utilizados em processos que entrem em contato direto com a amostra. Caracteriza-se por condutividade de 0,055 a 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$

a $25,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, COT menor que $0,05\text{ mg/L}$, endotoxinas menor que $0,03\text{ UI}$ de endotoxina/mL e contagem total de bactérias $< 1\text{ UFC}/100\text{ mL}$ (BRASIL, 2010c).

Água para Injetáveis (API)

Esta água é utilizada como excipiente na preparação de produtos farmacêuticos parenterais de pequeno e grande volume, na produção de princípios ativos de uso parenteral, de produtos estéreis, injetáveis como vacinas e alguns fármacos e produtos que necessitem do controle de endotoxinas, assim como em limpeza e preparação de processos, equipamentos e componentes que entram em contato com formas parenterais (BRASIL, 2010c).

A destilação é o processo de purificação de primeira escolha, em equipamento cujas paredes internas sejam fabricadas em metal apropriado, como o aço inox AISI 316L, vidro neutro ou quartzo, podendo ser obtida por processo equivalente ou superior a este, sendo que o sistema de obtenção, distribuição e armazenamento da água deve ser validado, de forma a impedir a contaminação microbiana e a formação de endotoxinas bacterianas. Deve atender aos ensaios físico químicos preconizados para a água purificada, além dos testes de contagem total de bactérias, que deve ser menor que $10\text{ UFC}/100\text{ mL}$, esterilidade, particulados e de endotoxinas bacterianas, cujo valor máximo é de $0,25\text{ UI}$ de endotoxina/mL (BRASIL, 2010c).

As águas AP e API são as mais usadas pelas indústrias e normalmente são conhecidas por suas siglas na versão em língua inglesa, PW (purified water) e WFI (water for injection), respectivamente.

Os parâmetros de controle de qualidade para AP e API recomendados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA na RDC nº17, de 16 de abril de 2010, têm como referência as Farmacopéias Americana (USP 33), Européia (EP 6.3), Japonesa (JP XV) e Brasileira (FB 5ª Ed.) (MORETTO, 2011 p.76). A Tabela 1 apresenta os parâmetros segundo a Farmacopéia Brasileira.

Tabela 1: Parâmetros para AP e API

Parâmetro	AP	API
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$ à 25°C)	< 1,3	< 1,3
COT (mg/L)	< 0,5	< 0,5
Heterotróficos	< 100 UFC/mL	< 10 UFC/100 mL
Endotoxina(UI/mL)	< 0,25	< 0,25

Fonte: BRASIL, 2010c.

É importante salientar que, em relação às características físico-químicas, as exigências para a água para injetáveis não diferem das exigências para a água purificada. Entretanto, ocorrerá diferença nos parâmetros microbiológicos de contagem de bactérias Heterotróficas Totais.

2.3. Reúso de águas

Reúso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Podendo ser direto ou indireto, assim como ser obtido por ações planejadas ou não planejadas (LAVRADOR FILHO, 1987). Outra boa definição para reúso seria, segundo MIERZWA & HESPANHOL (2005, p.110) a utilização dos efluentes tratados ou o uso direto de efluentes em substituição à fonte de água normalmente explorada, contribuindo com a redução do volume de água captado no manancial e do efluente gerado pela indústria.

No que se refere ao uso racional da água nas plantas industriais, será preciso investirem pesquisa e desenvolvimento tecnológico, na implantação de sistemas de tratamento avançado de efluentes, em sistemas de conservação, em redução de perdas e no reúso da água. Isto levará a significativos ganhos ambientais, sociais e econômicos. (FIESP-CIESP, 2004, p.6).

Num cenário que se estende por décadas de escassez de água de qualidade em determinadas partes do planeta, onde a demanda já superou ou está próxima de superar a oferta, o reúso de águas é uma opção ecológica e socialmente correta, pois reduz o gasto de água potável, desviando esse insumo para uso humano e para operações industriais nas quais é imprescindível o uso de água de melhor qualidade (ADROVER, 2012; PEDRAZA, 2010; DO MONTE, 2007; BIXIO, 2006; FATTA, 2005; ANGELAKIS *et al*, 1999). Aplicações de água de reúso em tarefas com menor restrição de qualidade tais como irrigação, lavagem de ruas e pátios, uso em sanitários e como água de torres de refrigeração devem ser incentivadas, assim como a conservação e a racionalização da água em operações agropecuárias e industriais. Neste último caso, Alvarez e colaboradores (2004) afirmam que operações relativamente simples podem ser aplicadas para a minimização e otimização do uso da água em processos de limpeza de reatores, tanques e *containers* para determinadas indústrias, podendo alcançar redução de 60 a 90% em economia de água.

Embora a água doce disponível se mantenha em quantidade pela ação do ciclo hidrológico, não pode-se afirmar o mesmo em relação à qualidade, uma vez que a população mundial aumenta a cada ano, aumentando com ela os problemas que atingem os corpos hídricos, tais como derrubadas de matas ciliares, eutrofização e construção de represas. A população urbana brasileira aumentou de 52.000.000 de habitantes em 1970 para 166.700.000 de habitantes em 2000 enquanto que a disponibilidade hídrica passou de 105.000 m³/habitante/ano em 1950 para 28.200 m³/habitante/ano em 2000 (OPAS, 2001 *apud* RAPOPORT, 2004).

No Brasil, a preocupação com o abastecimento de água, a conservação dos mananciais e tratamento de efluentes, assim como a criação de leis e normas sobre estes temas, teve um marco inicial com o Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, Código de Águas, definindo os vários tipos de água do território nacional, critérios de

aproveitamento, requisitos para autorizações, abordando a contaminação de corpos hídricos, seguido pela Lei 6938/1981 que trata da Política Nacional do Meio Ambiente e pela Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986, que classifica os corpos hídricos e seus usos.

Na constituição de 1988 a água é estabelecida como um bem da União ou dos estados, salientando que seu aproveitamento econômico e social deve buscar a redução de desigualdades (FIRJAN, 2007 p.6). Mais tarde foi elaborada a Lei 9.433 de 1997, que define a água como um bem de domínio público dotado de valor econômico e institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, estabelecendo a outorga pelo direito ao uso de recursos hídricos e sua cobrança entre outros e, ainda em setembro de 1997, foi criada a primeira norma técnica brasileira, a NBR-13.969 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre tanques sépticos, unidade de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, onde, apesar de não ser específica para reúso de água, este tema é abordado em um item, como opção à destinação de esgotos domésticos ou com características similares, definindo quatro classes de reúso e seus respectivos padrões de qualidade (FIRJAN, 2007; BRASIL, 1997; ABNT, 1997).

Em 2000 foi criada a Agência Nacional das Águas (ANA), responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e, mais recentemente, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 que revogou a Resolução CONAMA nº 20/1986, classificando as águas em: doces, salobras e salinas, de acordo com suas utilizações e padrões de qualidade (FIRJAN, 2007; BRASIL, 2005a).

A Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, Ministério do Meio Ambiente, estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentam e estimulam a prática de reúso direto não potável de água. Entretanto, deixa a cargo dos órgãos de fiscalização estaduais e municipais a criação de normas e diretrizes que determinassem parâmetros para as modalidades de reúso descritas (BRASIL, 2005b).

Mais recentemente, foi elaborada a Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010, que estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso

direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005 (BRASIL, 2010).

O emprego de efluente secundário pós tratado para regas de jardins, lavagem de ruas, praças, pátios de prédios e outras funções menos nobres nas quais se possa substituir água potável é praticado há muitos anos na Europa e nos Estados Unidos (DO MONTE, 2007; NSW, 1992).

Nas indústrias, o reúso de águas já vem sendo largamente praticado em água de reposição de torres de refrigeração, caldeiras, construção civil, irrigação de áreas verdes e em alguns processos industriais, onde a utilização de água com menor padrão de qualidade não ocasione maiores problemas, de modo que a primeira opção para reúso deve ser para fins não potáveis (MIERZWA & HESPANHOL, 2005 p.20).

A prática de reúso de águas no Brasil ainda carece de uma legislação específica que se adeque à nossa realidade, orientando e definindo os tipos de reúso, padrões e controle de qualidade que garantam a qualidade necessária para cada uso específico (HESPANHOL, 2012).

O fato de não existirem no país, normas de reúso para suprir a necessidade crescente das indústrias, faz com que estas busquem normas de outros países (ABES, 2013).

2.3.1. Classificação de águas para reuso segundo a OMS

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, a classificação das águas para reuso se daria segundo a destinação, conforme descrito abaixo (OMS, 1973).

Reúso indireto não planejado da água:

Ocorre quando a água, após utilização em atividade humana, é descarregada em um corpo receptor e novamente utilizada à jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada, sendo captada por novo usuário. Para este caso estará sujeita apenas à diluição e à depuração natural do ciclo hidrológico.

Reúso indireto planejado da água:

Quando após tratamento, os efluentes são descarregados de forma planejada em corpos receptores de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas à jusante, de maneira controlada. Esta forma de reúso da água parte do princípio que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado esteja sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam aos requisitos de qualidade do reúso determinado.

Reúso direto das águas:

Quando após tratamento os efluentes são levados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente. Este caso é o tipo mais comum, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.

Reciclagem de água:

Quando se reusa internamente a água, antes de descarregá-la em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. São usadas como fonte suplementar de abastecimento do uso original. Trata-se de um caso particular do reúso direto planejado.

2.3.2. Classificação de águas para reúso segundo a ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental)

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES, 1992) a classificação de água para reúso se dá da seguinte forma:

Reúso potável

Reúso potável direto:

Ocorre quando, por meio de tratamento avançado, o efluente recuperado é diretamente reutilizado no sistema de água potável.

Reúso potável indireto:

Ocorre quando o efluente pós-tratado é despejado em corpos de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e posterior captação para tratamento e utilização como água potável.

Reúso não potável

Para fins agrícolas:

Utilização em irrigação de plantas destinadas à alimentação ou não, dessedentação de animais e recarga do lençol subterrâneo.

Para fins industriais:

Aproveitamento em processos produtivos ou em utilidades como torres de refrigeração, caldeiras e lavagem de gases.

Para fins recreacionais:

Utilização em irrigação de plantas ornamentais, campos de esporte, parques e lagoas ornamentais.

Para fins domésticos:

Utilização em rega de jardins, descargas, lavagem de pátios e fachadas em edifícios.

Aquicultura:

Aproveitamento no cultivo de peixes e plantas aquáticas visando a obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando nutrientes presentes nos efluentes tratados.

Recarga de aquífero subterrâneo:

Ocorre por injeção direta sob pressão ou por infiltração-percolação de águas superficiais.

Reúso direto em cascata:

Quando o efluente originado em um determinado processo industrial é diretamente utilizado em outro processo posterior, devido às características do efluente disponível serem compatíveis com os padrões de qualidade da água a ser utilizada.

Reúso de efluentes tratados:

Utilização de efluentes que foram submetidos a um processo de tratamento qualquer, sendo o tipo de reúso mais amplamente discutido nos dias atuais.

2.3.3. Classificação de águas para reúso segundo a Resolução nº 54/2005

A Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005 (BRASIL, 2005b) define como água de reúso, a água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas e como reúso direto de água, o uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, e determina as seguintes modalidades para reúso direto não potável de água:

I – Reúso para fins urbanos: Em irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate a incêndio.

II – Reúso para fins agrícolas e florestais: Em produção agrícola e cultivo de florestas plantadas.

III – Reúso para fins ambientais: Para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente.

IV – Reúso para fins industriais: Em processos, atividades e operações industriais.

V – Reúso na aquicultura: Para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Ainda segundo a Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005 (BRASIL, 2005b), as diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reúso acima definidas, serão estabelecidos pelos órgãos competentes.

A Resolução CNRH nº 121, de 16 dezembro de 2010, estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54/2005. Esta determina que as características físicas, químicas e biológicas para todos os tipos de reúso desta modalidade deverão atender os limites definidos na legislação pertinente e sua

caracterização e monitoramento serão realizados de acordo com critérios definidos pelos órgãos ou entidades competentes (BRASIL, 2010).

Tanto a Resolução CNRH nº 54/2005 quanto a Resolução CNRH nº 121/2010 são genéricas e direcionam a cobrança de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e seus padrões aos órgãos estaduais competentes como o INEA, no caso do Rio de Janeiro. Entretanto estes não apresentam normas de reúso para suprir esta necessidade crescente das indústrias, fazendo com que busquem normas de outros países, como Estados Unidos, países da União Européia e Austrália (ABES, 2013).

2.3.4. Classificação de águas para reúso segundo a NBR 13.969/1997

A Norma NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997), que não é específica para reúso, tratando de tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos desta modalidade de tratamento, apresenta no item 5.6, referência a esse assunto, definindo quatro classes e seus padrões de qualidade para reúso de efluente de origem essencialmente doméstica ou com características similares, conforme a seguir:

Classe 1: Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário.

Classe 2: Lavagem de pisos, calçadas, irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.

Classe 3: Reúso em descargas de vasos sanitários.

Classe 4: Reúso em pomares, cereais, forragens, pastagens e outros cultivos por escoamento superficial ou por irrigação pontual.

Segundo Mierzwa *apud* ABES (2013), como no Brasil ainda não há normas e diretrizes específicas para reúso de águas, normalmente, quando indústrias pretendem implantar programas de reúso mais abrangentes, recorrem a diretrizes internacionais. No mesmo artigo, Mierzwa afirma que essa falta de normalização não impediu várias iniciativas em regiões onde há problemas críticos em relação à disponibilidade e demanda de água (ABES, 2013).

2.4. Parâmetros usados como indicadores de qualidade da água de reúso

Conforme já mencionado, a Norma NBR 13.969/1997 define quatro classes e recomenda seus padrões de qualidade para reúso de efluente de origem essencialmente doméstica ou com características similares. Um dos objetivos deste trabalho é enquadrar o efluente gerado na Classe 2 desta Norma. Buscou-se também, parâmetros fornecidos pela Agência de Proteção Ambiental Americana (United States Environmental Protection Agency – USEPA), que em 1992 publicou um manual para reúso de água com resultados sobre os sistemas existentes, legislações estaduais e parâmetros recomendados para esta finalidade nos Estados Unidos, criando, entre outras, as categorias reúso urbano e reúso em agricultura de cultivos não alimentares.

A Tabela 2 informa a classificação das águas de reúso e seus respectivos parâmetros de acordo com a NBR 13.969/1997.

Tabela 2: Classes e parâmetros para efluentes conforme reúso NBR 13969/97

EFLUENTE	REÚSO	PARÂMETROS
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário.	Turbidez < 5 UT CT < 200 NMP/100 mL Sólidos Dissolvidos Totais < 200 mg/L pH 6-8 Cloro 0,5-1,5 mg/L
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de canais e lagos para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez < 5 UT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL Cloro residual superior a 0,5 mg/L
Classe 3	Descargas em vasos sanitários.	Turbidez < 10 UT Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL
Classe 4	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagem para gados.	CF < 5000 NMP/100 mL OD > 2,0 mg/L

Fonte: ABNT NBR 13969/97

A Tabela 3 mostra os limites dos parâmetros americanos para água de reúso urbano, incluindo irrigação paisagística, e aplicada em irrigação agrícola não alimentar.

Tabela 3: Limites recomendados para água de reúso em irrigação agrícola e paisagística.

PARÂMETROS	LIMITES
Cloretos (mg/L)	100(*)
pH	6,0 – 8,5
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	500(*)
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	30
Cloro residual livre (CRL)(mg/L)	1

Fonte: USEPA (1992) apud Blum (2003) (Adaptada).

(*) Valores inferiores ao limite permitido não ocasionam danos ao Reino Vegetal.

Na Tabela 4 são comparados os limites recomendados para reúso não potável de água em irrigação agrícola e paisagística pela USEPA (1992) com os recomendados para rega de jardins, lavagem de pisos, calçadas e uso paisagístico, exceto chafarizes pela NBR-13969/97.

Tabela 4: Limites recomendados para água de reúso em agricultura, rega de jardins e lavagem de pisos.

PARÂMETROS		LIMITES PARA REÚSO (USEPA, 1992) ¹	VALORES PARA REÚSO (NBR-13969 Classe 2) ²
Cloretos (mg/L)		100	
DBO5 (mg/L)		30	
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)		1	
pH		6,0 – 8,5	
Sílica Total (SiO2) (mg/L)		50	
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)		500	
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)		30	
Turbidez (UT)		2	<5
Cloro residual(mg/L)		1	>0,5
Coliformes Termotolerantes (NMP/ 100 mL)		200 (*)	<500

(*) Não detectável, para o caso de irrigação paisagística restrita, como campo de golfe ou futebol.

1 – Reúso em irrigação agrícola e paisagística nos EUA.

2 – Reúso em irrigação de jardins, lavagem de pisos e fachadas e uso paisagístico.

A Tabela 5 mostra os limites de coliformes termotolerantes e de cloro residual livre (CRL), além do tratamento adequado e do monitoramento para água de reúso utilizada em agricultura, em atividade recreacional, em lagos paisagísticos e em sistemas de torres de resfriamento com ou sem recirculação nos EUA.

Tabela 5: Critérios de proteção contra microrganismos patogênicos em reúso de águas.

Tipo de reúso	Padrões	Tratamento	Monitoramento
Irrigação de plantas não comestíveis.	Colif. t.: máx 200 NMP/100mL CRL: mín 1mg/L	secundário+ desinfecção	Colif. t.: diário CRL: contínuo
Recreacional, enchimento de lagos paisagísticos.	Colif. t.: máx 200 NMP/100mL CRL: mín 1mg/L	secundário+ desinfecção	Colif. t.: diário CRL: contínuo
Industrial, resfriamento sem recirculação.	Colif. t.: máx 200 NMP/100mL CRL: mín 1mg/L	secundário+ desinfecção	Colif. t.: diário CRL: contínuo
Industrial, resfriamento com recirculação.	Variáveis, dependendo da taxa de recirculação.	secundário + desinfecção. Pode ser necessário incluir coagulação química e filtração.	Colif. t.: diário CRL: contínuo

Fonte: USEPA, 1992 (Adaptada).

Os dados informados na Tabela 6, são critérios para água de reúso utilizada em sistemas semi-abertos de resfriamento, recomendados pelo Manual para reúso de água da USEPA (1992), pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), segundo (SEMURA *et al.*, 2005), por proposta técnica comercial para tratamento de água de reúso para reposição em torres de resfriamento de refinaria de petróleo pela Kurita do Brasil, empresa tratadora de águas (KURITA, 2011) e por recomendações de Ludwig (1997) para alimentação ou reposição de torres de resfriamento em indústrias químicas e petroquímicas.

Tabela 6: Limites recomendados para água de alimentação ou reposição para sistemas semi-abertos de resfriamento segundo USEPA (1992), Semura (2005), Kurita (2011) e Ludwig (1997).

PARÂMETROS	LIMITES USEPA (1992)	LIMITES SABESP Semura (2005)	LIMITES Kurita (2011)	LIMITES Ludwig (1997)
Alcalinidade (mg/mL CaCO ₃)	350	100		
Cloretos (mg/L)	500	100	1000	750
Sulfato (mg/L)	200	200	1100	800
Dureza (mg/L CaCO ₃)	650		1000	
DBO ₅ (mg/L)	25	10		25
DQO (mg/L)	75		15	
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1	1	10	50
Fosfato (mg/L)(*)	4			
pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	7,0 – 9,0	6,5 – 8,0
Sílica Total (mgSiO ₂ /L)	50	50	180	150
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	500	500		
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	100	5	65	150
Turbidez (UT)	50	2	65	50
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)		0		

(*) Não limitado na maioria dos casos. Utilizado como inibidor de corrosão e incrustação em diversos programas de tratamento químico em águas de resfriamento.

As concentrações limites de cada parâmetro de qualidade de águas de *make up* para sistemas de resfriamento são definidas pelos programas de tratamento de águas propostos pelas empresas tratadoras da área. Portanto, os tratamentos de águas de reúso para fins de reposição em sistemas de resfriamento, devem estar

necessariamente associados a tais limites e ao ciclo de concentração definido para operação destes sistemas. Do contrário, corre-se o risco de se incorrer na inviabilização da aplicação da água de reúso para este fim.

2.5. Métodos de tratamento de efluente para reúso

A Figura 1 mostra esquema básico de tratamento de efluente para lançamento em corpos hídricos e para reúso. Neste, evidencia-se que o tratamento terciário pode ser usado para tratar efluentes destinados a reúso ou destinados a lançamento em corpos hídricos, em casos onde o tratamento secundário não foi capaz de remover poluentes recalcitrantes e o total de biodegradáveis.

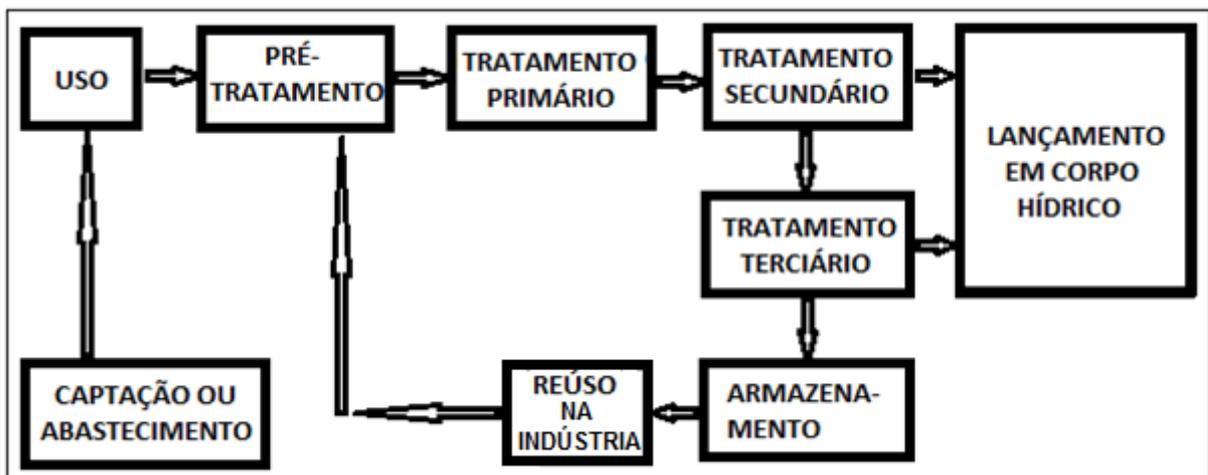


Figura 1: Esquema básico de tratamento de efluente para lançamento e para reúso.

O método a ser escolhido deve ser o que mais se adapte às características físicas, químicas e biológicas do efluente. Em função desta premissa, a caracterização cuidadosa do efluente é de vital importância para o sucesso da tecnologia empregada. Há casos onde se faz necessário uma combinação de duas ou mais tecnologias para garantir a eficácia do tratamento.

De acordo com Von Sperling (2005), os processos de tratamento de efluente podem ser:

Pré-tratamento

Gradeamento e caixas de areia para remoção de sólidos grosseiros e areia a fim de proteger bombas, tubulações, unidades de tratamento seguintes, além de corpos receptores.

Tratamento Primário

Remoção de sólidos sedimentáveis e flutuantes (incluindo óleos e graxas) em decantadores. Os esgotos fluem lentamente pelos decantadores, fazendo com que os sólidos em suspensão sedimentem no fundo formando o lodo primário bruto e com que os materiais flutuantes sejam removidos na superfície. Ex: Fossas sépticas e tanques de decantação primária.

Tratamento Secundário

Remoção de sólidos não sedimentáveis orgânicos e alguns inorgânicos, incluindo nitrogênio e fósforo. É a fase biológica propriamente dita, onde os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica são acelerados e controlados. A sua eficiência é que produzirá ou não um efluente dentro dos parâmetros exigidos. Após esta fase, a DBO é reduzida em até 90%. Ex: Filtros biológicos, processos de lodos ativados, lagoas de estabilização, tratamento anaeróbio e disposição sobre o solo.

Tratamento Terciário

Remoção de poluentes recalcitrantes (não biodegradáveis) e/ou tóxicos, além dos poluentes biodegradáveis que não foram degradados no tratamento secundário. Este tratamento é considerado um polimento do efluente destinado a reúso pois, via de regra, já recebeu um tratamento biológico que removeu quase toda a carga orgânica biodegradável, além de ter reduzido nutrientes inorgânicos como fósforo e nitrogênio.

2.5.1. Tecnologias para tratamento terciário

A seguir são descritas as tecnologias mais usadas para tratamento terciário para reúso, segundo Mierzwa & Hespanhol, (2005, p. 85):

Neutralização

Baseia-se no ajuste de pH do efluente na faixa de 5,0 a 9,0 com a finalidade de reduzir ou eliminar a reatividade e a corrosividade do efluente pela adição de base ou ácido conforme a faixa de pH em que se encontra o efluente, na maioria das vezes, visando seu enquadramento para descarte. Este processo pode ser contínuo ou intermitente, dependendo das características do efluente gerado. São utilizados ácidos (ácido sulfúrico ou ácido clorídrico) para diminuir o pH e bases (hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio ou carbonato de sódio) para aumentá-lo.

Cloração ou desinfecção

Normalmente é aplicado como complemento de outras tecnologias de tratamento terciário para controlar a população microbológica em água destinada à reúso. Pode ser dosado de forma contínua ou intermitente, dependendo das condições de obtenção e de armazenamento. Para água de reúso normalmente

recomenda-se uma concentração mínima de cloro residual livre (CRL) de 1 mg/L, exceto para água utilizada em torres de resfriamento com recirculação, cuja concentração dependerá da taxa de recirculação (USEPA, 1992). Há casos de efluentes que necessitam apenas de uma cloração para reúso. O processo de desinfecção também pode ser feito por Ozônio ou Radiação Ultravioleta.

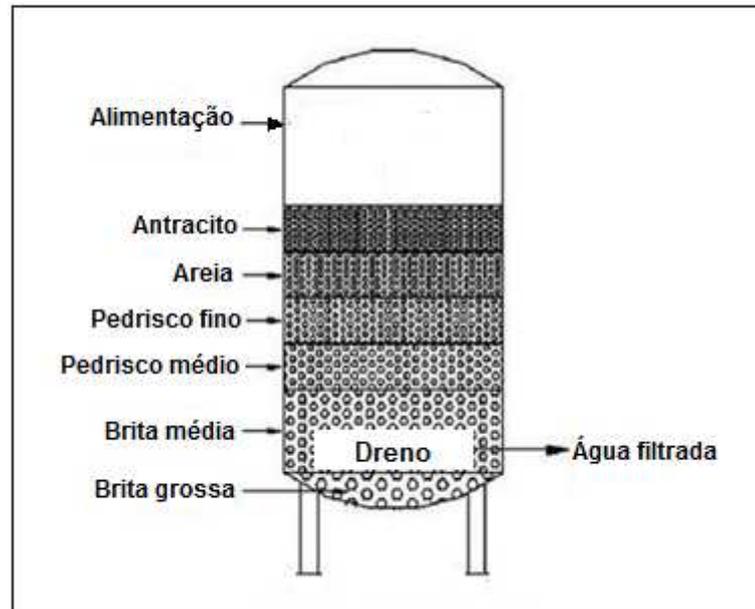
Filtração e centrifugação

A filtração baseia-se na retirada de materiais em suspensão ou particulados. Neste caso trata-se de filtração convencional, também chamada de filtração de profundidade, baseada em retenção por barreira física de materiais indesejados após passagem de todo o efluente. Neste tratamento são usados filtros de areia, filtro-prensa, membranas ou cartuchos filtrantes com a porosidade determinada de acordo com o tamanho da partícula a ser retida.

Na centrifugação, os sólidos insolúveis são separados do efluente pela ação da força centrífuga exercida pela rotação da mistura em um vaso rígido, em função de suas densidades. As partículas de maior densidade migram para a periferia do vaso, enquanto que as de menor densidade ficam próximas ao centro de rotação da centrífuga.

Estes métodos são usados nos casos em que a concentração de sólidos insolúveis no efluente gerado é relativamente alta, maior que 0,5% ou após procedimentos terciários que provoquem precipitação ou floculação (IDAHO, 1992 *apud* Mierzwa & Hespanhol, 2005, p. 85).

A Figura 2 ilustra esquema de filtro de areia e antracito.



Fonte: Elaboração própria

Figura 2: Esquema de filtro de areia e antracito.

Precipitação Química

Consiste em tornar uma substância que está dissolvida em insolúvel num efluente pela adição de determinados compostos conforme o caso, utilizando-se os seguintes procedimentos ou uma combinação deles: formação de um composto insolúvel pela adição de substância que reage com a que se quer retirar; por alteração do equilíbrio de solubilidade devido à adição de substâncias que não favorecem a solubilidade da que se quer retirar; por co-precipitação devido à adição de compostos que reagem entre si gerando um precipitado que arrastará ou adsorver a substância que se quer retirar, por alteração de temperatura de uma solução saturada ou próxima à saturação.

Normalmente usam-se estes procedimentos para retirar substâncias iônicas inorgânicas, principalmente metais pesados tais como arsênio, cobre, cromo e chumbo (Mierzwa & Hespanhol, 2005, p. 85).

Coagulação, floculação e sedimentação ou flotação

Sua função é separar sólidos em suspensão e em dispersão coloidal, como argilas, sílica, compostos orgânicos e microrganismos, que não se agregam devido à repulsão por terem mesma carga, após adição de substâncias com cargas positivas como o sulfato de alumínio que alteram as cargas de suas superfícies permitindo que se agreguem formando flocos. Por estes apresentarem uma densidade maior que a do efluente, caso mais comum, sedimentam por gravidade em tanques com vazão bem baixa contendo chicanas chamados sedimentadores ou decantadores. No caso da flotação ocorre uma injeção de ar que, ao se expandir forma microbolhas que aderem aos flocos que passam a apresentar menor densidade e por isso flutam, sendo retirados nos flutadores (Mierzwa & Hespanhol, 2005, p. 85).

Adsorção em carvão ativado

É utilizado para remoção de compostos orgânicos solúveis que não foram eliminados nos tratamentos anteriores, consistindo na afinidade destes contaminantes pelo carvão ativado, de origem mineral ou vegetal, na forma granulada ou em pó. O carvão é acondicionado em leito fixo por onde passa o efluente e o contaminante fica retido por adsorção. Quando é saturado, sua regeneração ou reativação é feita por aquecimento, normalmente por passagem de vapor, promovendo a volatilização das substâncias orgânicas adsorvidas. A presença de óleos e graxas e sólidos em suspensão diminuem sua eficiência, formando uma barreira física nas partículas de carvão, impedindo a adsorção do contaminante (MANCUSO, 2003 p.316).

Troca iônica

Baseia-se na capacidade de determinadas resinas reterem cátions ou ânions. O efluente passa por uma coluna contendo resina catiônica e os cátions indesejáveis presentes são trocados por cátions inofensivos ao efluente que ficam aderidos à resina, para a aniônica o processo é similar e no caso da mista ocorrem

os dois processos. Quando ocorre saturação, a regeneração é feita com solução contendo os íons que devem ficar armazenados nas resinas, trocando com os indesejáveis que são descartados. Normalmente são usadas as três, sendo a última para polimento. Recomenda-se esta tecnologia para efluentes de baixa concentração de matéria orgânica que contenham altas concentrações de íons e onde o reuso exija alto grau de pureza (Mierzwa & Hespanhol, 2005, p. 55).

Processos Oxidativos e Processos Oxidativos Avançados (POA)

Baseiam-se no conceito de reações de oxi-redução onde o agente químico é um oxidante e o contaminante é um redutor. Podem ser processos, com um agente oxidante apenas, como é o caso da ozonização e da oxidação por peróxido de hidrogênio, ou podem ser processos onde estes agentes são combinados com radiação (UV ou ultra-som), com catalisadores (metais de transição ou fotocatalisadores) ou com outro agente oxidante (H_2O_2 / O_3), com o objetivo de gerar radicais OH, conforme ocorre com os POA (Processos Oxidativos Avançados) (DEZOTTI, 2008 p.257). Ainda, segundo a autora, estes processos são relatados por vários autores como altamente eficientes na degradação de poluentes orgânicos recalcitrantes, devido à alta reatividade e baixa seletividade dos radicais OH, e considerados tecnologias limpas, pois não há formação de lodo, excetuando-se os processos Fenton e Foto-Fenton, onde pode ocorrer a formação deste. Processos como ozonização e os POA, são usados geralmente para tratamento de efluentes com características particulares, permitindo a mineralização de poluentes em CO_2 , água e íons inorgânicos ou sua transformação em moléculas menos complexas (DEZOTTI, 2008 p.244).

A Tabela 7 apresenta algumas substâncias oxidantes, seus respectivos potenciais de oxidação e os contaminantes em que atuam.

Tabela 7: Exemplos de agentes oxidantes e suas aplicações em efluentes.

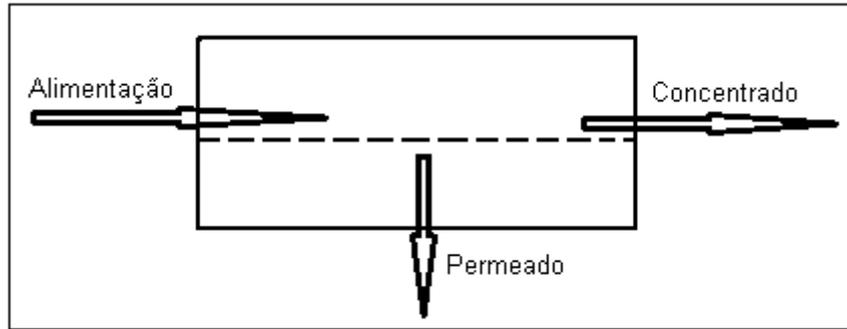
Oxidante	Potencial de oxidação Eo (volts)	Contaminantes
Radical OH	2,80	Cianeto, sulfeto, compostos orgânicos, fenol
Ozônio (O₃)	2,07	Sulfeto, cianeto, compostos orgânicos, odor
Peróxido de hidrogênio (H₂O₂)	1,77	Fenol, cianeto, compostos com S, chumbo
Permanganato	1,69	Cianeto, odores, fenol, pesticidas e outros compostos orgânicos
Cloro gás	1,36	Sulfeto, mercaptanas e cianeto (em meio alcalino)

Fonte: Mierzwa&Hespanhol (2005, p.87) (Adaptada).

Separação por membranas

A tecnologia de separação por membrana se baseia na passagem de fluido por uma membrana semipermeável que, diferente da filtração convencional ou de profundidade, cujo fluxo do fluido é perpendicular ao filtro e tem que atravessá-lo integralmente, neste caso o fluxo ocorre tangencialmente promovendo a concentração dos contaminantes na alimentação do sistema e a liberação do permeado como efluente tratado. Por esse motivo também é chamada de filtração tangencial. Quanto mais restritiva for a membrana, menor o diâmetro do poro e maior é a pressão de trabalho. É uma boa escolha para efluentes bem diluídos. O grande problema enfrentado é nas paradas para limpeza das membranas devido à queda de eficiência que, dependendo do tipo de efluente, pode ocorrer em intervalos muito curtos, associado ao uso mais frequente de substâncias químicas de limpeza que podem diminuir a vida útil da membrana.

A Figura 3 mostra um esquema representando um sistema de separação por membrana de forma geral, com fluxo paralelo à membrana.



Fonte: Elaboração própria

Figura 3: Esquema de filtração tangencial.

A Tabela 8 mostra os principais processos de separação por membrana, suas pressões de trabalho, diâmetro de poro e suas restrições.

Tabela 8: Características de processos de separação por membrana.

Tecnologia	Pressão (bar)	Diâmetro poro (μm)	Remoção
Osmose inversa (OI)	3,4 - 150	<0,001	Íons e moléculas inorgânicas e orgânicas com massa molar acima de 100 g/mol.
Nanofiltração (NF)	5 - 35	<0,001	Compostos orgânicos com massa molar entre 250 e 1000 g/mol e alguns sais geralmente bivalentes. Atuam como abrandadores.
Ultrafiltração (UF)	1 - 10	0,002 – 0,2	Colóides e compostos orgânicos de alta massa molar.
Microfiltração (MF)	< 2	0,02 – 4	Remoção seletiva de metais e retenção de sólidos de até 70%.

Fonte: Mierzwa&Hespanhol (2005, p.61)

2.5.1.1. Ozonização e POA

Dezotti (2008 p.245), descreve Ozonização e os POA (H_2O_2 , $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, O_3/UV , $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, Ozonização Catalítica, Reativo de Fenton e Foto-Fenton), conforme a seguir:

- a) **Ozonização:** Tem ação desinfetante, remove odor e cor, além de ferro, manganês, sulfeto e compostos orgânicos recalcitrantes. Neste processo ocorre a ação de dois oxidantes, o ozônio e o radical OH. Este gás deve ser gerado *in situ* para uso imediato. Pode ser produzido a partir do ar, do oxigênio puro e da água ultra pura, através de descarga elétrica (ar e O₂), eletrólise (água) e irradiação (ar, O₂ e água), sendo que os mais usados em escala de laboratório ou industrial são os dois primeiros. A ozonização pode ser combinada a outros agentes como radiação UV, peróxido de hidrogênio e metais de transição (catalisadores), formando processos com poder oxidativo bem maior que fazem parte dos POA.
- b) **H₂O₂ e H₂O₂/UV:** O peróxido de hidrogênio tem um potencial de oxidação maior que o do cloro e também tem ação desinfetante, podendo reagir diretamente com os contaminantes, tais como fenol, cianeto, além de outros compostos orgânicos, ou se decompondo e gerando radicais que também atuam oxidando contaminantes. Sua associação com UV, potencializa seu poder de oxidação, levando à geração de radicais OH e promovendo a fotólise de compostos orgânicos.
- c) **O₃/H₂O₂:** O peróxido de hidrogênio se ioniza e o ânion (HO₂⁻) formado reage com o ozônio formando a etapa inicial do mecanismo radicalar que conduz à formação de radicais OH.
- d) **O₃/UV:** Este POA inicia-se com a fotólise do ozônio pela radiação UV, com formação de peróxido de hidrogênio que também sofre fotólise gerando radical OH. A partir daí tem-se a oxidação direta do ozônio, do peróxido de hidrogênio, a fotólise dos poluentes e a oxidação pelo radical OH produzido pela fotólise do H₂O₂.
- e) **O₃/H₂O₂/UV:** Esta combinação promove a formação de um meio altamente oxidante e seu mecanismo de ação é semelhante ao descrito no processo O₃/UV.

- f) **Ozonização Catalítica:** Consiste na combinação de ozônio com catalisadores que são metais de transição tais como Fe(II), Mn(II), Ni(II), Co(II), Cd(II), Cu(II), Ag(I), Cr(III) e Zn (II). O ozônio se decompõe pela ação do íon metálico produzindo radicais OH.
- g) **Reativo de Fenton:** Consiste na combinação do peróxido de hidrogênio com íons Fe^{2+} que catalisam a reação de produção de radical OH. Para evitar produtos oxidativos intermediários, diminuindo a capacidade de mineralização de matéria orgânica, o valor de pH tem que estar entre 3,0 e 3,5 e as concentrações de íons ferrosos e de peróxido de hidrogênio não podem estar em excesso para não ocorrer inibição da produção de radicais OH pelo H_2O_2 . A remoção dos íons ferro II e III é feita pelo aumento do pH, que os transforma em óxido de ferro. Este é insolúvel e se precipita formando lodo neste momento.
- h) **Foto-Fenton:** A combinação Fe(II) com peróxido de hidrogênio e radiação UV/Visível aumenta a mineralização de matéria orgânica em relação ao processo Fenton. Bons resultados foram obtidos em pesticidas, herbicidas, fenóis e hidrocarbonetos halogenados (DEZOTTI, 2008).

2.5.2. Casos nacionais e internacionais bem sucedidos de reúso

Segundo Hespanhol (2001), na cidade japonesa de Fukuoka, uma rede dupla de distribuição de água é usada por diversos setores, sendo uma delas com efluentes domésticos com tratamento terciário (lodo ativado, desinfecção com cloro – primeiro estágio, filtração, ozonização e desinfecção com cloro – segundo estágio), sendo que esta água é usada em descarga de sanitários em prédios residenciais, irrigação de árvores em áreas urbanas, em indústrias para resfriamento e lavagens de gases, entre outras finalidades.

Em Tóquio, uma fábrica de bebidas carbonatadas e não-carbonatadas, cujo gasto com água potável é muito alto em processos de lavagem de garrafas e latas e em resfriamento após processo de desinfecção, desenvolveu e implementou um sistema de tratamento de água para reúso consistindo em flotação, filtração e nanofiltração, sendo que esta última etapa do sistema, que seria para remover compostos orgânicos solúveis, foi capaz de remover até 70% da DQO e 40% dos sólidos suspensos voláteis e a implementação desse sistema permitiu uma reutilização de 2450 m³/dia (MIYAKI et al, 2003).

Segundo Solmaz e colaboradores (2007), em um complexo industrial com unidades de variados setores tais como siderúrgico, automotivo, têxtil, plásticos e alimentos, situado em Bursa, na Turquia, o efluente gerado é tratado num sistema de lodo ativado atingindo os padrões de descarga exigidos pelas normas locais, entretanto este efluente tratado é descartado sem reúso. Ainda segundo os autores foram avaliados processos de precipitação química com NaOH e Ca(OH)₂, e troca iônica no tratamento do efluente gerado, com objetivo de reuso em utilidades, como torres de refrigeração e vapor industrial, e como água de processo nas indústrias do complexo em estudo, sendo que os testes com Ca(OH)₂ em pH igual a 11 mostraram maior eficiência na remoção de sólidos dissolvidos totais (SDT), DQO e Fe respectivamente, 96%, 27% e 94% e os testes com resina de troca iônica foram realizados após a precipitação química e obtiveram melhores resultados, principalmente em SDT e condutividade, com remoção de 100% e de 99% respectivamente (SOLMAZ et al, 2007).

De acordo como Centro Panamericano de Engenharia Sanitária da Organização Panamericana da Saúde (1996), foi iniciado um Projeto Nacional de Irrigação com Águas Servidas Tratadas no Peru em 1991 que pretendia ampliar a fronteira agrícola da costa em 18.000 ha irrigados com 20 m³ de deságues gerados nas principais cidades da costa, onde o CEPIS avaliou a substituição dos fertilizantes pelos nutrientes das águas servidas tratadas com adição de fertilizantes e sem adição de fertilizantes. Foram testados em feijão, milho, couve, brócolis, dentre outros e os ensaios mostraram rendimentos de desenvolvimento e de produção de grãos muito similares entre si, inclusive o teste sem adição de

fertilizante, concluindo-se que as águas de reúso suprem nutrientes requeridos pelos cultivos, gerando uma economia que muitas vezes representa mais de 50% em custos de fertilização (OPAS/CEPIS,1996).

Segundo Franco (2007), uma fábrica de fogões da General Electric Appliances em Campinas (utiliza 3,5 mil m³ de água de reúso por mês em atividades que não exigem água potável, tais como irrigação de jardins, torres de refrigeração e descargas em bacias sanitárias,SP) salientando que este programa de gestão ambiental e de águas resultou, no período de 1999 a 2001, num ganho de 5% em produtividade e redução de desperdícios, além de uma economia de mais de R\$ 680.000,00 por ano.

Segundo Alves (2009), a Natura, indústria de cosméticos em São Paulo, gera aproximadamente 8.500 m³/mês de efluente e reusa cerca de 55% deste através de um sistema de ultrafiltração, obtendo uma redução de 99,93% para DBO, de 99,67% para DQO e de 99,28% para óleos e graxas, salientando que destes, 900 m³ são direcionados para reserva de combate a incêndio e outra parte vai para um reservatório de 200 m³ para ser reutilizado em banheiros, irrigação de jardins (por aspersores), lavagem de ruas, lavagem de estruturas e paredes.

Pawlowsky (2003) avaliou a melhora da qualidade do efluente de uma indústria de café utilizando quatro processos: adsorção com carvão ativado, separação por membranas, coagulação e floculação com polieletrólitos e ozonização. O efluente, tratado em ETE de lodo ativado por aeração e clarificação por flotação, já era reutilizado em utilidades, lavagem de pisos e rega de jardins. Segundo o autor, o processo de adsorção foi o que teve melhor desempenho retirando 65% de DQO, seguido pela nanofiltração com redução de 63%, enquanto que Oxidação por ozônio reduziu 4,3% e coagulação/floculação reduziu apenas 2,4%.

Segundo Adrover (2012), em Palma de Mallorca na Espanha, o reúso de esgoto municipal com tratamento secundário em irrigação agrícola foi introduzido com a construção da primeira ETE na década de 1970. Neste estudo foram analisados 21 solos arados e irrigados por mais de 20 anos com este efluente para avaliar sua qualidade através dos parâmetros pH, alcalinidade, matéria orgânica, nitrogênio total, fosfato, carbono orgânico solúvel, biomassa microbiana, entre outras,concluindo-se que em mais de 20 anos de irrigação, não foram observadas mudanças negativas nas propriedades do solo, com exceção ao aumento do pH pelo crescimento do suprimento de sódio, entretanto isso não representou um problema para a produtividade do solo (ADROVER, 2012).

Em estudo de comparação de eficiência entre as principais tecnologias de separação por membranas disponíveis, realizado por Barbosa (2009), obteve-se os seguintes valores de remoção para DQO, DBO, Fosfato e Alcalinidade, conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 9: Comparação de membranas na remoção de poluentes.

Parâmetro	MF Remoção (%)	UF Remoção (%)	NF Remoção (%)	OI Remoção (%)
DQO(mg/L)	63	49	56	53
DBO(mg/L)	60	74	76	25
Fosfato (mg/L)	67,1	86	42	98
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	8	1,9	51	90
Cloreto	19	20	36	97

Fonte: Barbosa (2009)

De acordo com Barbosa (2009), o melhor desempenho foi obtido por membrana de Osmose Inversa (OI), entretanto a membrana de Microfiltração, que tem custo bem menor que as outras, apresenta uma eficiência satisfatória, dependendo do tipo de efluente e do que se quer retirar, uma vez que reduz sensivelmente carga orgânica e fosfato.

Grahan e colaboradores (2013), em trabalho apresentado no congresso Weftec em 2012, em Nova Orleans, EUA, relataram estudo realizado pela cidade de St. Agostine, Flórida, EUA, em parceria com a FMC Corporation, para a comparação de ácido peracético com cloração em processo de desinfecção de efluente. O estudo mostrou que o ácido peracético poderia ser usado a uma concentração de 1,5 a 2,0 mg/L, num tempo de contato entre 15 e 60 min, em pH em torno de 7,6, com DBO média de 3,5 mg/L, sendo 1,5 mg/L o equivalente a 7 mg/L de cloro em performance de redução de coliforme termotolerante e que, o uso deste, além de evitar a formação de trihalometanos, pode reduzir o volume de produtos químicos em 90% e ficar até 10% mais barato que a cloração/descloração. Além disso, ainda segundo os autores, em estudo de toxicidade crônica em sua maior concentração testada, 2,5 mg/L, se mostrou não tóxico às espécies testadas.

Em pesquisa de comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* em água com elevada concentração de matéria orgânica, Souza & Daniel (2005), mostraram que houve uma redução de 5,3 log para *E. coli*, numa concentração de 2 mg/L de ácido peracético num tempo de contato de 15 a 20 min, enquanto para os dois outros, essa redução só foi atingida em concentração de 5 mg/L. Os autores também mostraram que em altas concentrações de matéria orgânica (100 mg/L de extrato de levedura), o desempenho do ácido peracético não sofria interferência como no caso do cloro.

De acordo com o Relatório de Responsabilidade Socioambiental da Interfarma (2011), a Bagó (Brasil), filial brasileira de multinacional argentina, reaproveita milhares de litros de água por mês em função da instalação de uma tubulação externa que conduz água quente de retorno do destilador de volta para a cisterna do prédio, permitindo seu reuso. Neste mesmo relatório, a GE Health Care se compromete em reduzir em 20% o consumo de água e aprimorar seu reuso em todas as suas fábricas ao redor do mundo.

2.6. Descrição da unidade do estudo de caso

A unidade industrial utilizada para este estudo de caso foi ampliada para receber novas transferências tecnológicas de vacinas em fins da década de 1990, o que propiciou a construção de um novo departamento de produção de vacinas bacterianas. Além de vacinas virais e bacterianas, produz reativos para diagnósticos e biofármacos. Esta unidade consome água potável fornecida pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Estado do Rio de Janeiro - CEDAE que é distribuída em uso industrial, para fins sanitários, na irrigação de jardins e em outros usos, sendo que o consumo industrial se divide em água destinada ao setor de operação de utilidades e água destinada aos processos produtivos. Dos 19.400 m³/mês (em média) de água potável consumida pela unidade, 4.930 m³/mês (em média) são usados para a produção de água purificada e 913 m³/mês (em média) são usados para a produção de água para injetáveis, que são destinadas aos processos de lavagem de tanques, frascos e materiais, assim como na produção de soluções de uso direto ou indireto nos produtos, conforme especificação, além de uma perda inerente aos processos de aproximadamente 4,5 m³/h na obtenção de AP e de 1,8 m³/h na obtenção de API, sendo que esta perda já está sendo considerada em estudos para futuro reúso pela Central de Tratamento de Águas (CTA) (dados de relatórios e gráficos internos fornecidos pelo setor de operações de utilidades e empresa em estudo).

Em função da natureza dos produtos, principalmente imunobiológicos injetáveis, o grau de pureza e os grandes volumes desta água, utilizada em processos de lavagem de tanques e de materiais, além de outros inerentes aos processos, se tornam necessários para que sejam atingidos os parâmetros exigidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), elevando muito o gasto de água de alto grau de pureza e gerando, conseqüentemente, um efluente bastante diluído com grandes possibilidades para reúso não potável.

No departamento de produção de vacinas bacterianas são gastos, em condições normais de produção, em média, 306 m³/ semana de AP e 22,2 m³/semana de API, o que daria num mês, respectivamente 1.224 m³/mês e 88,8

m³/mês (dados de relatórios e gráficos internos fornecidos pelo setor de operações de utilidades e pelo setor de lavagem da empresa em estudo). A maior parte da API e uma considerável parte da AP são usadas no setor de lavagem, uma parte da API e da AP são gastas na limpeza dos fermentadores e este efluente, com maior carga orgânica vai direto para um sistema de inativação polidora por calor, seguido de um tanque de neutralização, antes de chegar na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da unidade, que consiste num sistema de aeração contínua tipo *air lift*. Uma pequena parte de AP é usada no controle de processo e uma significativa parte de AP é direcionada para a produção de vapor puro.

O presente estudo foi focado no setor de lavagem, pois além de gerar um efluente mais volumoso e diluído, o local permitiria criar pontos de coleta antes da confluência com os outros efluentes do departamento, facilitando a obtenção de amostras.

A composição química significativa deste efluente é: cloreto de sódio, fosfato dibásico de sódio, hidróxido de sódio (consequentemente carbonato de sódio e bicarbonato de sódio, devido à carbonatação do NaOH), acetato de sódio, etanol, tensoativo aniônico, meios de cultura líquidos contendo extrato de levedura, peptona de soja e glicose, além de resíduos de concentrado vacinal, de caráter proteico e polissacarídico.

2.6.1. Descrição dos tipos de água produzidas na unidade de estudo

Projetos, instalações, assim como a operação de sistemas para produção de água purificada, água para injetáveis ou água ultrapura possuem componentes, controles e procedimentos similares, sendo o ponto diferencial crítico, o grau de controle do sistema e os estágios finais de purificação necessários para remover bactérias e endotoxinas bacterianas bem como reduzir a condutividade (BRASIL, 2010c).

Na unidade deste estudo as águas purificadas e para injetáveis são produzidas na Central de Tratamento de Água (CTA), prédio pertencente ao setor de operações de utilidades. A AP é produzida no prédio da CTA enquanto que a API é obtida em destiladores situados no piso técnico da área de produção.

As informações a seguir são oriundas de dados de relatórios e gráficos internos fornecidos pelo setor de operações de utilidades da empresa em estudo.

a) Água Purificada – AP

Esta água é obtida por um processo que se inicia com o fornecimento de água potável pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos - CEDAE, que é armazenada num castelo com capacidade de 200 m³ e em duas cisternas com capacidade de 100 m³, levada por gravidade para a CTA, onde passa por filtro de zeólito, a fim de remover principalmente íons ferro e manganês e em seguida passa por dois abrandadores em série, colunas com resina de troca iônica, para a retirada dos cátions Ca²⁺ e Mg²⁺, responsáveis pela dureza da água. Logo após, a água abrandada passa por filtros polidores de 10 µm com a finalidade de reter partículas oriundas dos processos anteriores, sendo armazenada em tanque, onde recebe cloração para evitar contaminação. Esta água clorada é tratada com meta-bissulfito de sódio para retirar o cloro, evitando que este danifique as membranas da etapa seguinte e com NaOH para carbonatar o CO₂ dissolvido, evitando que este gás passe por elas, para em seguida passar por um outro filtro polidor de 5 µm e, só então, poder ser encaminhada à unidade de produção de AP. Esta consiste em um sistema de osmose inversa de duplo passo, tecnologia de maior restrição entre membranas, seguido de uma unidade de eletrodeionização. O sistema de armazenamento e distribuição possui um sistema desnitização ozônio/UV e tanque ligado a uma tubulação em anel permitindo recirculação constante, minimizando a possibilidade de formação de biofilme nas tubulações e no tanque reservatório. Parte desta água é utilizada na lavagem de tanques, frascos e materiais utilizados na produção, parte é destinada à produção de vapor puro utilizado nos processos de esterilização de fermentadores, tanques ou de materiais por autoclavação e o restante é direcionado aos destiladores para a produção de API.

A Figura 4 mostra a unidade de osmose inversa para a produção de AP.

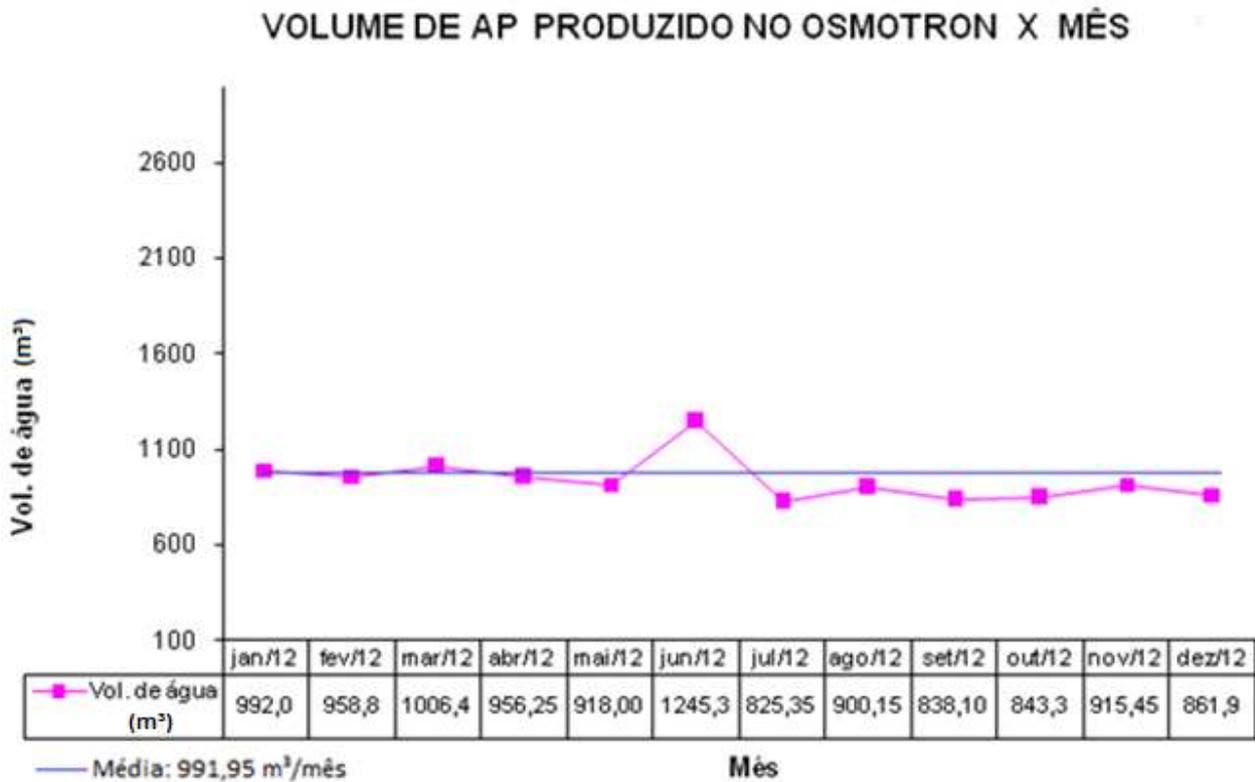


Fonte: Manual de operação Osmotron.

Figura 4: Unidade de osmose inversa para produção de AP.

Conforme descrito na seção 2.6, em condições normais de produção, o consumo médio mensal de AP pelo departamento de produção de vacinas bacterianas é de 1.224 m³/mês. Destes, em torno de 18,5% são destinados à produção de API e o restante é usado diretamente em fases iniciais dos processos de lavagem de fermentadores, tanques, equipamentos e materiais e a maior parte na produção de vapor puro, utilizado nos processos de esterilização.

A Figura 5 apresenta o gráfico do consumo médio mensal de AP pelo departamento de produção de vacinas bacterianas no ano de 2012.

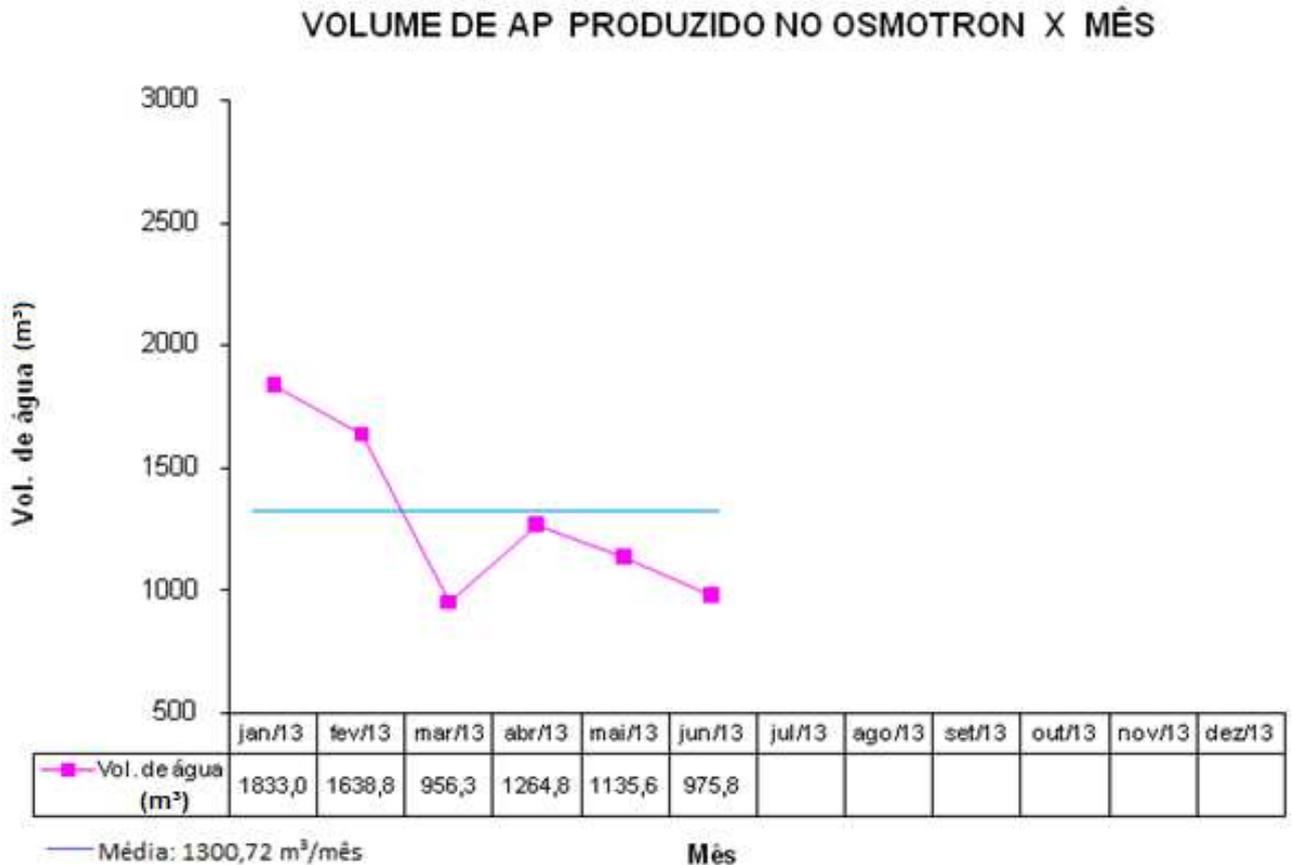


Fonte: Relatório interno – Setor de operações de utilidades (2012)

Figura 5: Gráfico do consumo médio mensal de AP no departamento em 2012.

Embora 2012 não tenha sido um ano típico de produção, em função de paradas na principal linha de produto, devido a manutenções, validações, e problemas com insumos, as médias mensais do consumo de AP não ficaram tão distantes do consumo mensal normal de produção esperado, 1224 m³/mês, devido à disponibilização da área de produção para pesquisa e desenvolvimento de vacinas e biofármacos em fase de escalonamento. Embora a produção da principal linha de produto tenha sido retomada em setembro, as médias desse período até dezembro também não atingiram o consumo esperado em função de eventuais interrupções na programação de produção por conta de falta de insumos e problemas de manutenção. A média anual do consumo de AP foi de aproximadamente 992 m³/mês, em 2012.

A Figura 6 mostra o gráfico do consumo médio mensal de AP pelo departamento de produção de vacinas bacterianas no primeiro semestre de 2013.



Fonte: Relatório interno – Setor de operações de utilidades (2013).

Figura 6: Gráfico do consumo médio mensal de AP no departamento até junho de 2013.

No gráfico da Figura 6, o consumo médio mensal normal de produção, em torno de 1.224 m³/mês, pode ser observado no período entre abril e maio, quando foi retomada a produção da principal linha de produto. Os pontos de pico, janeiro e fevereiro, se devem a procedimentos de manutenção, sanitizações e qualificação do sistema de produção de AP. Os pontos referentes a março e junho, se devem a experimentos relacionados a novas vacinas e biofármacos, realizados no departamento. A média do consumo de AP no primeiro semestre de 2013 foi de aproximadamente, 1.301 m³/mês.

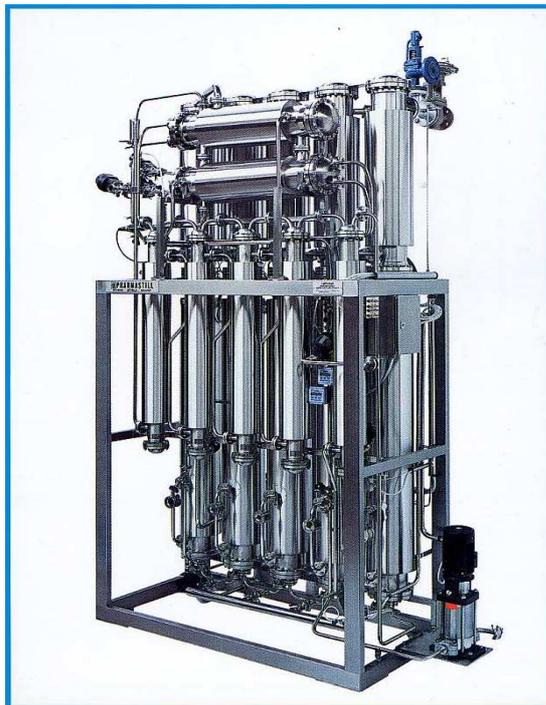
Considerando-se as médias mensais de consumo de AP obtidas em 2012 e em 2013, obteve-se uma média no período, de 1.146,3 m³/mês, valor próximo do esperado.

Esta água, assim como a AP, é produzida e gerenciada pela CTA do setor de operações de utilidades, sendo obtida por um processo de destilação de múltiplo efeito da água purificada (AP). Esta é direcionada aos destiladores situados no piso técnico da área de produção e armazenada sob recirculação a uma temperatura de 85 °C em um sistema fechado em anel, de tanque e tubulações fabricados em aço inox sanitário AISE 316L eletropolido.

Nestes projetos, a alta temperatura e a recirculação da água causada pela ação de bombeamento têm a função de evitar crescimento microbológico com formação de biofilme nas tubulações, válvulas e tanques que compõem o sistema.

b) Água Para Injetáveis – API

A Figura 7 mostra um destilador múltiplo efeito.



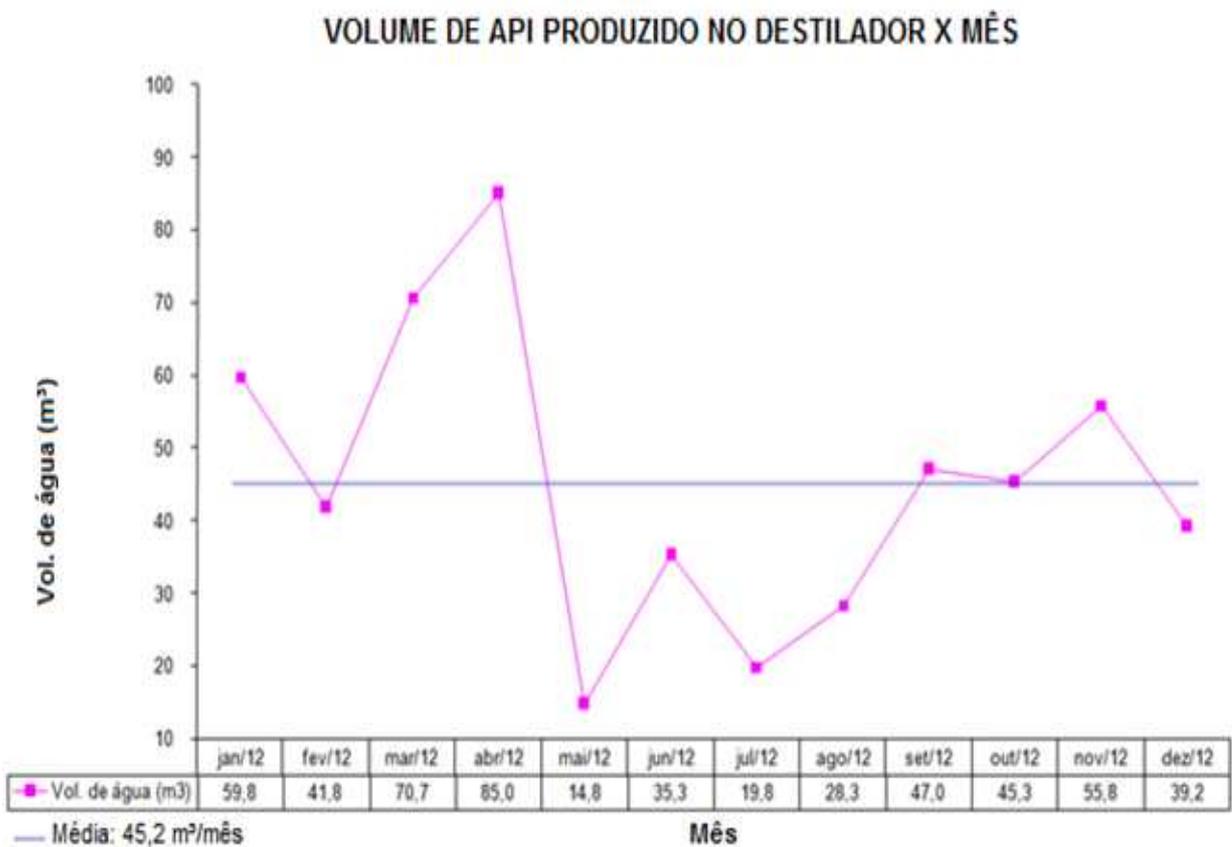
Fonte:Manual de operação Stillmas (2012).

Figura 7: Destilador múltiplo efeito para produção de API.

De acordo com o descrito na seção 2.6, em condições normais de produção, o consumo médio mensal de API pelo departamento de produção de vacinas bacterianas é de 88,8 m³/mês. Estes são destinados à produção de soluções de

processo, meios de cultura e nas etapas finais de limpeza de fermentadores, tanques, equipamentos e materiais.

A Figura 8 mostra o gráfico do consumo médio mensal de API pelo departamento de produção de vacinas bacterianas em 2012.



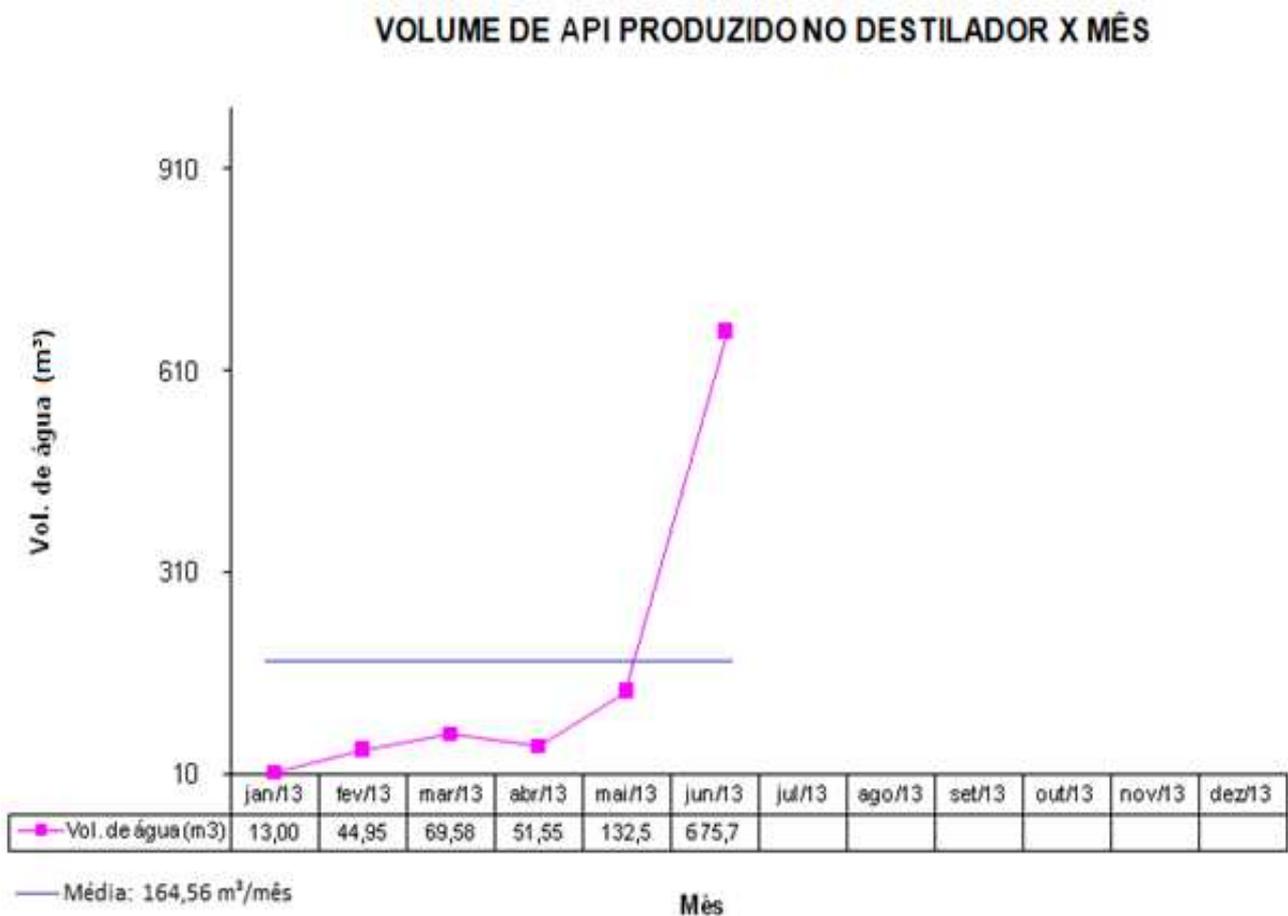
Fonte: Relatório interno – Setor de operações de utilidades (2012).

Figura 8: Gráfico do consumo médio mensal de API no departamento em 2012.

Conforme já mencionado para AP, 2012 não foi um ano típico de produção. Entretanto, em função das dificuldades já citadas, ao contrário do ocorrido com AP, a média anual do consumo de API ficou distante do consumo mensal normal de produção esperado, 88,8 m³/mês. Os pontos próximos do esperado entre março e abril se devem a experimentos similares ao produto de linha, portanto com consumo de API semelhante. Embora a produção da linha de produto principal tenha sido retomada em setembro, as médias desse período até dezembro também não

atingiram o consumo esperado, em função de eventuais interrupções na programação de produção por conta de falta de insumos e problemas de manutenção, dificuldades já mencionados em AP. A média anual do consumo de API foi de, aproximadamente, 45 m³/mês em 2012.

A Figura 9 mostra o gráfico das médias dos consumos no primeiro semestre de 2013.



Fonte: Relatório interno – Setor de operações de utilidades (2013).

Figura 9: Gráfico do consumo médio mensal de API no departamento até junho de 2013.

No gráfico da Figura 9, o consumo médio mensal normal de produção, em torno de 88,8 m³/mês, pode ser observado no período entre abril e maio. O ponto de pico em junho se deve a procedimentos de manutenção, sanitizações e qualificação do sistema de produção de API. Os pontos referentes ao período de fevereiro a

março, próximos da média esperada, se devem a experimentos com novas vacinas e biofármacos, realizados no departamento.

Considerando-se as médias mensais de consumo de API obtidas em 2012 e em 2013, obteve-se uma média no período, de 104,9 m³/mês, valor próximo do esperado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 10 mostra um fluxograma com as etapas para o desenvolvimento deste trabalho.

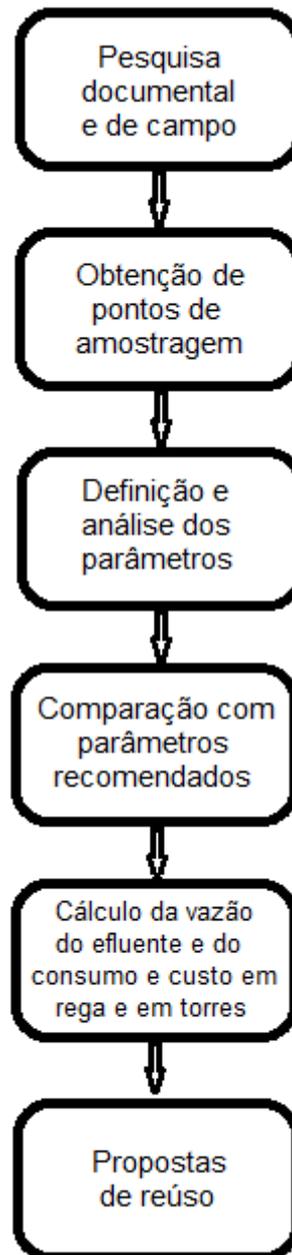


Figura 10: Fluxograma do desenvolvimento do estudo.

Para a realização deste estudo de caso foram seguidas as seguintes etapas:

- Avaliação de documentação disponível na unidade de estudo de caso, tais como relatórios e gráficos de consumo de águas e manuais de equipamentos;
- Entrevistas com profissionais do setor de operação de utilidades e do setor de lavagem da unidade em estudo;
- Inspeções em campo nas instalações industriais para observações;
- Coleta de amostras;
- Análises dos parâmetros escolhidos;
- Cálculo da vazão do efluente obtido e do consumo e custo de água potável usada em rega de jardins e em torres de resfriamento;
- Propostas para tratamento e reúso do efluente de acordo com os resultados obtidos.

Os parâmetros escolhidos para a caracterização do efluente gerado foram baseados na NBR 13969/97, em normas Americanas (USEPA) e sugeridos pela literatura nacional e internacional.

3.1. Coleta de amostras

Como faz parte do escopo deste trabalho caracterizar o efluente do setor de lavagem do departamento de produção de vacinas bacterianas, para este fim foram coletadas amostras do efluente antes deste confluir com os outros efluentes do departamento, que apresentam características bem diferentes em relação à composição e concentração dos poluentes. Foram escolhidos dois pontos de coleta neste setor: o Ponto 1 (P1) – Lavadoras automáticas e o Ponto 2 (P2) – Cubas para lavagem manual.

Para evitar coletar amostras somente nos momentos de pico da produção ou somente em momentos de baixa produtividade, tornando a amostra não

representativa, foram realizadas 16 amostragens semanais compostas por 25 amostras, sendo 5 por dia, cujos volumes seriam proporcionais às vazões. As coletas seriam feitas cinco vezes ao dia de forma a abranger momentos de alta e de baixa produtividade num período de doze meses. Segundo Montgomery (2009, p.142) “Quanto maior o número de amostras, mais a distribuição amostral da média da amostra se aproxima da distribuição normal padrão.”

Dessa maneira, diariamente foram coletadas 5 amostras para cada ponto (P1 e P2) com volumes entre 200 e 1000 mL, medindo sua vazão com o auxílio de um Becker de plástico de 2 L, de uma proveta de 200 mL e de um cronômetro conforme protocolo de cálculo das vazões (Anexo 1), relacionando volume em mililitro por tempo em segundo (mL/s). Deste volume foi retirada uma alíquota proporcional à vazão, de modo que, ao somar P1 com P2, seus volumes se completassem para gerar uma amostra de 200 mL. Esta era acondicionada em bombona de 10 L armazenada em câmara fria (2-4°C), totalizando 1 L de amostra de efluente por dia e 5 L por semana. Na sexta-feira da semana de coleta, ao término do expediente, após homogeneização foram retiradas as seguintes amostras: 2 L para análises no LABTARE Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes – Escola de Química – UFRJ, realizadas na segunda-feira seguinte, 3 amostras de 200 mL para congelar a -4°C, para repetições ou casos imprevistos em que a análise não possa ser feita e 200 mL para fazer leitura imediata de pH e condutividade. Para esta finalidade foram criados dois documentos, um protocolo para cálculo das vazões e volumes de P1 e de P2 (Anexo 1) e um para registro das amostragens (Anexo 2). Nas sextas-feiras, excepcionalmente, eram coletadas duas alíquotas do Ponto 1 e do Ponto 2, para que uma das amostras de 200 mL fosse usada nas análises microbiológicas.

A Figura 11 mostra, de forma esquemática, o procedimento de coleta de amostras.

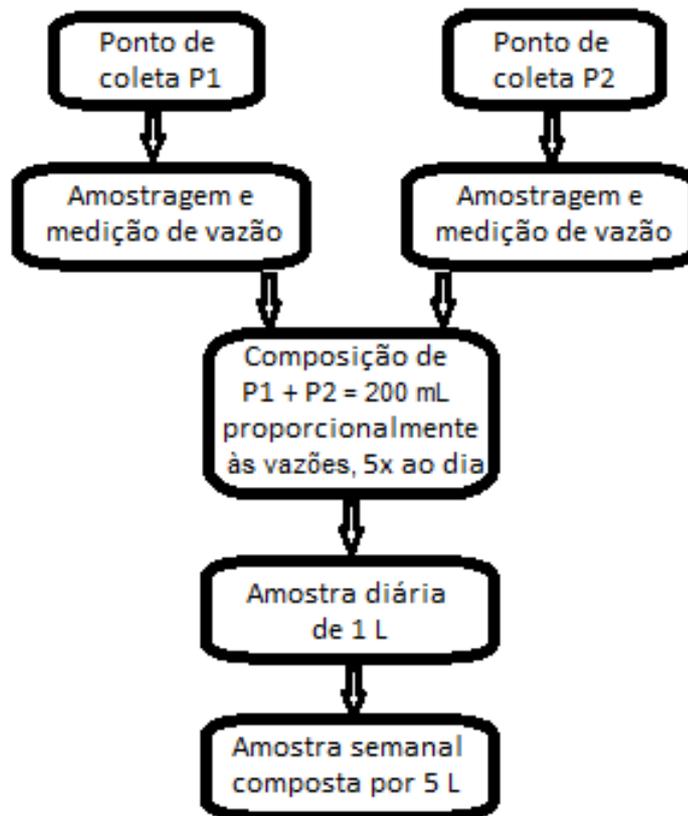


Figura 11: Esquema de amostragem.

A Figura 12 apresenta uma visão mais ampla do ponto P1 da lavadora automática de tanques CIP/SIP em operação com um tanque acoplado previamente utilizado na produção de vacina bacteriana, enquanto a Figura 13, um detalhe da Figura 12 mostra, em *zoom*, o mesmo ponto de amostragem P1 com adaptação para coleta de amostra.



Figura 12: Ponto1 com tanque acoplado à CIP/SIP em operação de lavagem automática.



Figura 13: Ponto 1 de amostragem (lavadoras automáticas).

A Figura 14 apresenta uma visão mais ampla das cubas para lavagem manual de frascos e materiais (ponto P2) utilizados na produção de vacina

bacteriana enquanto que as Figuras 15 e 16 mostram, em detalhe, a adaptação para coleta de amostra em P2.



Figura 14: Ponto 2 - Cubas para lavagem manual.



Figura 15: Ponto 2 – Adaptação para coleta de amostra antes de confluir com outros efluentes.

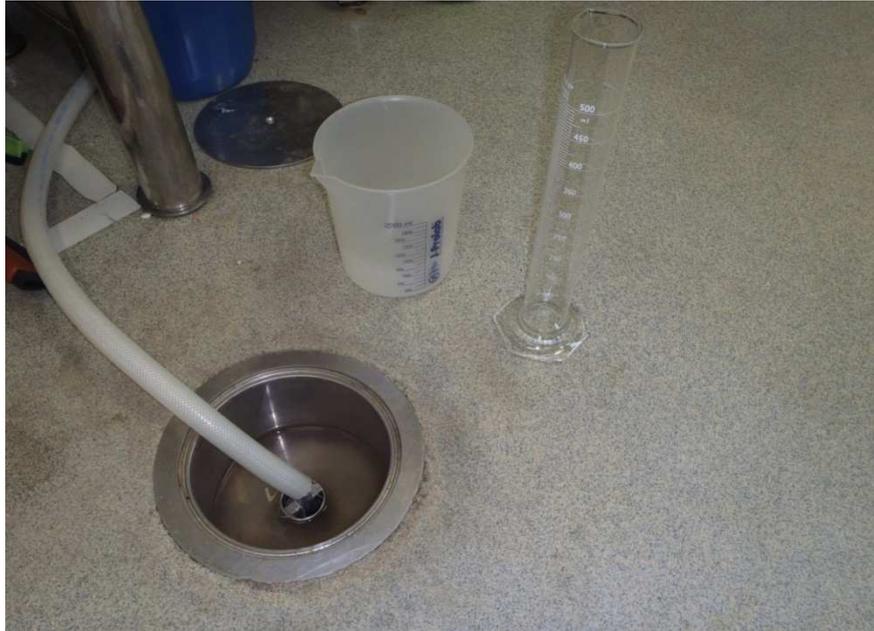


Figura 16: Ponto 2 de amostragem – Cuba de lavagem manual e descarga no ralo.

3.2. Análises realizadas

A seguir são detalhadas as análises que foram realizadas.

Análises semanais: pH, condutividade, COT, DQO, turbidez, N-NH₃, fosfato (PO₄³⁻), cloreto (Cl⁻), alcalinidade total, alcalinidade OH e microbiologia (análise de bactérias heterotróficas e de colimetria).

Análise quinzenal e/ou mensal: DBO₅.

As coletas das amostras foram iniciadas em 24/09/2012 e as análises em 01/10/2012. Entretanto, como o estudo foi referente às condições normais de produção e a geração de efluente no setor depende desta, imprevistos ligados à manutenção e obras, a atrasos no cronograma de produção por falta de insumos, a

problemas nos sistemas de produção de AP e de API, a procedimentos de qualificação destes sistemas e pelo desenvolvimento de vários experimentos nas instalações do departamento, o tempo de coleta de 12 meses não pode ser cumprido, tendo efetivamente 4 meses fornecendo apenas 16 amostras, uma população amostral inferior a 30, número mínimo para uma distribuição normal padrão (MONTGOMERY, 2009, p.142).

3.3. Metodologia Analítica

Alguns parâmetros usuais para efluentes industriais e domésticos, tais quais sólidos totais em suspensão, dureza, sílica, sulfato e quantificação de coliformes totais, não foram utilizados neste trabalho por terem sido considerados desnecessários em função das características físicas, químicas e microbiológicas peculiares do efluente em estudo.

Os ensaios de pH, condutividade, contagem de bactérias heterotróficas e colimetria (coliformes totais e *E. coli*) foram realizados no laboratório da empresa do estudo de caso. Os ensaios de DQO, DBO₅, COT, N-NH₃ e turbidez foram realizados no LABTARE/EQ/UFRJ. Os ensaios de fosfato, cloreto e alcalinidade foram realizados no Laboratório de análises de águas industriais da Baltar Química Ltda. Para a caracterização do efluente gerado no setor de lavagem do departamento de produção de vacinas bacterianas foram realizados os seguintes ensaios analíticos:

pH

Método usado: Potenciométrico, 4500-B (APHA, 2005).

Equipamento: pH-metro portátil Metrohm, modelo 826.

Condutividade

Método usado: 2510 B (APHA, 2005).

Equipamento: Condutímetro portátil Metrohm, modelo 823.

DQO

Método usado: 5220-D (APHA, 2005).

Equipamentos: Reator Hach e Espectrofotômetro Hach DR 2800

DBO₅

Método usado: 5210-B (APHA, 2005).

Equipamento: Estufa para incubação microbiológica e Oxímetro.

COT

Método usado: 5310-C (APHA, 2005).

Equipamento: TOC Analyzer – Hipertoc 1000.

Nitrogênio amoniacal (N-NH₃)

Método usado: Eletrodo seletivo de Amônia 4500-E (APHA, 2005).

Equipamento: Orion 4 Star Thermo pH Lse.

Curva de calibração no anexo 3.

Cloreto (Cl⁻)

Método usado: Método Titulométrico por argentometria, 4500-B (APHA, 2005).

Fosfato (PO₄³⁻)

Método usado: Método do Ácido Ascórbico, 4500-P C (APHA, 2005).

Equipamento: Espectrofotômetro Varian, modelo Cary 1E.

Alcalinidade

Método usado: Titulação Potenciométrica, 2320 B (APHA, 2005).

Equipamento: pH-metro de bancada Mettler Toledo, modelo FE20.

Turbidez

Método usado: Método Nefelométrico, 2130 B (APHA, 2005).

Equipamento: Turbidímetro AP2000, Policontrol.

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Método usado: Cálculo pela condutividade, (APHA, 2005).

Equipamento: Condutivímetro portátil Metrohm, modelo 823.

Ensaio Microbiológicos**Contagem de Heterotróficas**

Método usado: Contagem de Heterotróficas, 9215 B.

Material e equipamento: Kit para bactérias Heterotróficas, Millipore/Merck; Estufa para incubação Heraeus, modelo B 6120.

Coliformes Totais

Método usado: Colimetria. Detecção de coliformes totais (presença ou ausência), 9223 B (APHA, 2005).

Material e equipamento: Kit Colilert, IDEXX; Estufa Heraeus, modelo B 6120.

E. coli

Método usado: Colimetria. Detecção de *Escherichia coli* (presença ou ausência), 9223 B (APHA, 2005).

Material e equipamento: Kit Colilert, IDEXX; Estufa Heraeus, modelo B 6120 e lâmpada UV 365 nm.

Para o ensaio de Heterotróficas foi usado o Kit para Contagem de Heterotróficas em Placa (HPC) Millipore. As amostras foram incubadas em estufa Heraeus a 35°C com primeira leitura em 48h e segunda leitura em 72h. Este kit permite uma contagem direta em UFC/mL (Figura 20).

Colimetria (Coliformes Totais e *E. Coli*).

Para este ensaio foi utilizado o kit Colilert® (Idexx) cuja identificação dos coliformes totais e de *Escherichia coli* é baseada na reação de substrato cromogênico enzimático. No caso de Coliformes Totais, o substrato orto-nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo (ONPG) é hidrolizado a orto-nitrofenol através da ação da enzima β -galactosidase produzida pelos coliformes totais, conferindo coloração amarela ao meio.

No caso de *Escherichia coli*, ocorre a ação da enzima β -glucuronidase, característica de *Escherichia coli*, sobre o substrato 4-metilumbeliferil- β -D-glucoronídeo (MUG). Quando o MUG é degradado, o produto resultante 4-metilumbeliferona confere coloração azul fluorescente ao meio sob luz ultravioleta em 365 nm (GREGHI, 2005).

O kit usado indica presença ou ausência dos dois grupos estudados dependendo da cor do meio após incubação, conforme Figura 17.



Fonte: Catálogo IDEXX - 2013.

Figura 17: Mudança de coloração

Incolor: Ausência de coliformes

Amarelo: presença de coliformes

Azul fluorescente: presença de *E. coli*

3.4. Análise dos dados

Para as análises estatísticas dos dados obtidos nos ensaios analíticos foi usado o programa STATISTICA versão 7, que consiste num pacote de *software* de análises desenvolvido pela Stat Soft.

Com este programa foram obtidos gráficos de caixa (*Box plot*) e de linha (*Line plot*), além das medidas de média, mediana (segundo quartil – q_2), desvio padrão, valor mínimo, valor máximo, primeiro quartil (q_1) e terceiro quartil (q_3).

Foi realizado para os parâmetros COT, DQO e DBO, o Teste de Hipótese para distribuição t com 5% de significância, uma vez que a amostra era pequena ($n < 30$) e a variância populacional era desconhecida, onde H_0 é a hipótese nula, que se quer rejeitar e H_1 é a hipótese alternativa, que se quer provar (MONTGOMERY, 2009 p.190).

3.5. Cálculo da vazão do efluente gerado no setor de lavagem

Este cálculo foi realizado a partir das médias das vazões obtidas durante as coletas dos pontos P1 e P2, calculadas pela planilha Cálculo das vazões e volumes de P1 e P2 (Anexo 1) e registradas na planilha Coletas do efluente gerado no setor de lavagem (Anexo 2). Conforme descrito na seção 3.1, foram geradas 16 amostras compostas semanais para análise. Estas foram formadas por 5 amostras diárias de cada ponto, com volumes proporcionais às sua vazões, num total de 25 medidas de vazão por semana para cada ponto que, para as 16 semanas, corresponderam a um total de 400 medidas de vazões.

Após calcular as médias das vazões de P1 (V_{zm} P1) e de P2 (V_{zm} P2) em L/h, multiplicou-se este valor por 4, no caso de P1, pois se trata do valor médio aproximado referente às horas de purga diária das lavadoras automáticas em produção normal (obtido por observação em maio de 2013) ou por 6, no caso de P2, pois se trata do valor médio aproximado de horas trabalhadas em lavagem manual em produção normal (obtido por observação em maio de 2013). Após, estes resultados foram multiplicados por 5, referente ao consumo semanal e por 4, referente ao consumo mensal e passados para $m^3/mês$, dividindo-se por 1000. Para calcular a vazão média total de efluente gerado no setor, somou-se a vazão média obtida em P1 com a vazão média obtida em P2, conforme a seguir:

$$V_{zm} \text{ P1} = 123,4 \text{ mL/s} = 444,24 \text{ L/h}, 444,24 \times 4 \times 5 \times 4 / 1000 = 35,6 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$V_{zm} \text{ P2} = 108,7 \text{ mL/s} = 391,32 \text{ L/h}, 391,32 \times 6 \times 5 \times 4 / 1000 = 46,96 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$V_{Z_{Total}} = V_{zm} \text{ P1} + V_{zm} \text{ P2} = 82,56 \text{ m}^3/\text{mês}.$$

3.6. Cálculo do consumo de água potável em irrigação de jardins

Para esta medição, foram feitas visitas de campo no horário da manhã no primeiro semestre de 2013, para acompanhamento da operação e entrevista com os

funcionários que a executam na unidade em estudo de caso. Ocorreram duas operações de rega por semana e durante as mesmas, as vazões não eram modificadas, pois o ponto de onde se liga a mangueira fica distante do ponto de uso. Consistiu em 34 medições de vazão com auxílio de um balde, um cronômetro e uma proveta de 2 L. Os tempos de início e de término da operação foram registrados. Foi medido o volume recolhido por 3 s em balde e medido em proveta. A média dos volumes foi de 3,6 L enquanto a média dos tempos de operação da rega foi de 50 min. Para o cálculo da vazão média, dividiu-se o volume médio por 3 s e, considerando um tempo médio de operação de 50 min e duas operações semanais, obteve-se o resultado de 28,52 m³/mês.

3.7. Custo estimado com água pela unidade em estudo

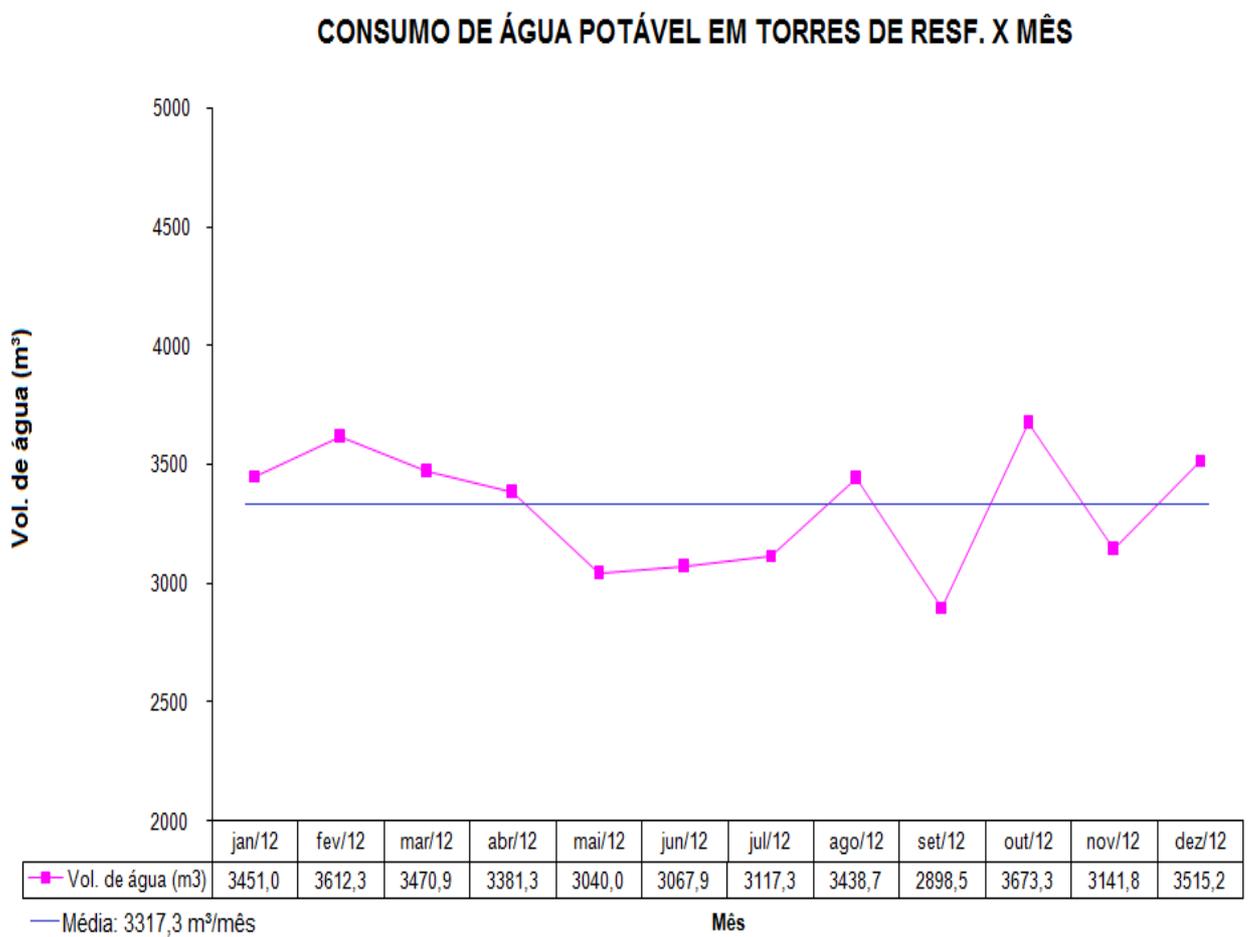
Tanto a AP quanto a API apresentam um valor agregado muito alto, não só pelo custo dos equipamentos de última geração e insumos utilizados em sua produção e em seu controle, mas também pela grande perda de água inerente aos processos de obtenção destas águas que demandam um alto grau de pureza. Conforme dados fornecidos por correio eletrônico pelo Setor de operações de utilidades em 29/03/2012, obtidos do fabricante e instalador do sistema de produção de API, o custo desta água fica em torno de 15 euros por cada metro cúbico produzido. Atualizando em reais, ficaria em torno de R\$ 51,00 (VALOR, 2013). Considerando-se apenas o consumo médio de API pela unidade, 913 m³/mês (seção 2.6), o custo ficaria em R\$ 46.563,00/mês.

A tarifa cobrada pela concessionária estadual para as indústrias com consumo acima de 30 m³/mês na área A, que corresponde a bairros da Zona Norte do Rio de Janeiro, na qual fica localizada a empresa em estudo, é de R\$ 14,84/m³ (CEDAE, 2012) para água e esgoto, sendo o custo da água de R\$ 7,42/m³.

Como o presente estudo se preocupa com possibilidades de reúso de água em torres de resfriamento, rega de jardins e outras finalidades menos nobres, por se tratarem de modalidades de uso menos restritivas, mostramos a seguir apenas o

gasto de água potável na unidade em estudo com as duas principais destas modalidades de uso.

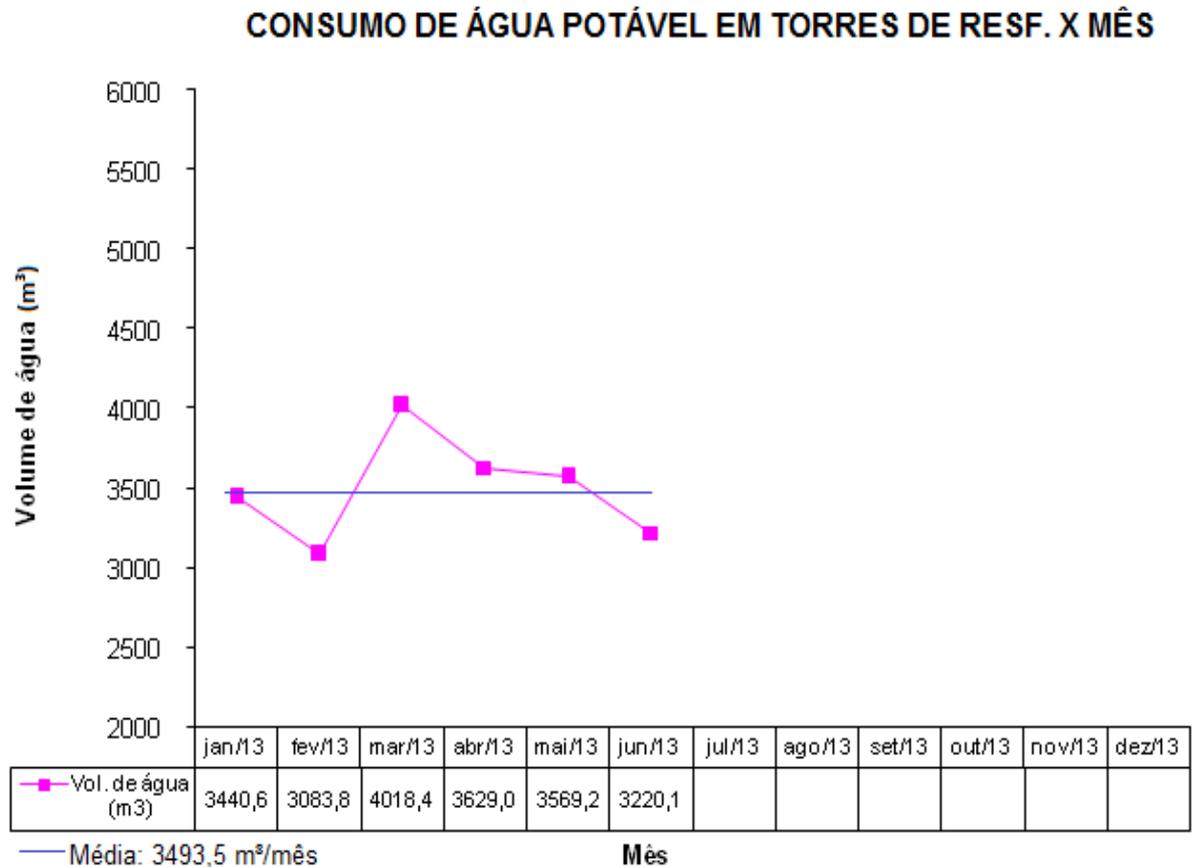
A Figura 18 apresenta o gráfico do consumo médio mensal de água potável gasta para reposição em torres de resfriamento pela unidade de estudo em 2012.



Fonte: Relatório interno – Setor de Operações de Utilidades (2012).

Figura 18: Gráfico do consumo médio mensal de água potável na unidade em 2012.

O gráfico da Figura 19 mostra o consumo médio mensal de água potável gasta para reposição em torres de resfriamento pela unidade em estudo no primeiro semestre de 2013.



Fonte: Relatório interno – Setor de Operações de Utilidades (2013).

Figura 19: Gráfico do consumo médio mensal de água potável na unidade até junho de 2013.

As oscilações acima da média, observadas nos gráficos das Figuras 18 e 19, se devem a picos de produção ou ao calor, que aumentam a taxa de evaporação e os ciclos de concentração ou a operações de limpeza das torres. As oscilações abaixo da média se devem a paradas ou diminuição no ritmo de produção ou períodos mais frios com consequentes queda na taxa de evaporação.

O consumo médio mensal de água potável para reposição nas torres de resfriamento foi de 3.317,3 m³/mês em 2012 e de 3.493,52 m³/mês no primeiro semestre de 2013, sendo que, se considerados os dois períodos, foi de 3.405,4 m³/mês. Considerando a tarifa da CEDAE para indústrias com consumo superior à 30 m³/mês de R\$ 7,42 /m³, o custo mensal para esta operação fica em torno de R\$ 25.921,92/mês.

3.8. Estudo de casos avaliados

Foram avaliados os resultados dos possíveis cenários para os efluentes gerados no setor de lavagem do departamento de produção de vacinas bacterianas e considerados para propostas de tratamento e reúso:

- Considerando os efluentes gerados em P1 e P2, incluindo semanas com experimento:
 - Para rega de jardins;
 - Para torres de resfriamento.

- Considerando apenas o efluente gerado em P1.

- Considerando apenas o efluente gerado em P2.

- Considerando os efluentes gerados em P1 e P2, sem semanas com experimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros avaliados para água de reúso

Os resultados obtidos foram comparados a parâmetros recomendados pela norma NBR-13.969, às normas americanas USEPA e a parâmetros sugeridos pela literatura, afim de enquadrar o efluente gerado no setor de lavagem do departamento de vacinas bacterianas em uma das classes destinadas a reúso.

A demora para o início das coletas para análise, apenas ocorrendo no final de setembro de 2012, deveu-se a dificuldades em conseguir um ponto de coleta único para o setor de lavagem do departamento de vacinas bacterianas antes de confluir com os outros efluentes do departamento, o que não pode ser feito, além das dificuldades de conseguir adaptação para dois pontos de coleta alternativos dentro do setor de lavagem. Somando-se a isso houveram muitas paradas na produção.

O intervalo sem coleta de amostras, de meados de dezembro a final de abril, deveu-se a recesso de fim de ano, parada geral da unidade para manutenção em janeiro e paradas na produção do departamento por conta de validações, inserção de experimentos com novas vacinas e biofármacos na linha de produção de fevereiro a meados de abril.

As Tabelas 10 e 11 mostramos resultados de caracterização das amostras coletadas. Adicionalmente, são mostrados na Tabela 12 os resultados dos tratamentos estatísticos realizados.

Tabela 10: Resultados de caracterização físico-química das amostras coletadas

Amostra	pH	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	Turbidez (NTU)	COT (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	Alcalinidade OH (mg/L CaCO ₃)	SDT (mg/L)
28/09	11,9	857	0,79	1241	4000		0,81	78	219	478,8	418,9	548
05/10	11,5	742	3,31	260	820	517	0,17	71	201	463,7	405,7	475
12/10	9,7	631	8,12	706	2280		1,09	67	172	413,3	361,6	404
19/10	7,4	83	4,12	5	18		0,07	10	23	20,2	0	53
26/10	7,2	63	0,28	6	21	15	0,05	8	9	10,0	0	40
01/11	6,2	20	0,43	73	462	273	0,15	3	4	5,0	0	13
09/11	10,4	210	0,82	424	3190		0,36	133	8	423,4	370,4	135
16/11	5,4	16	3,81	745	4730	3606	0,42	2	0	0	0	10
23/11	5,7	17	5,36	6	18		0,06	2	0	0	0	10
30/11	6,8	19	0,32	42	192	117	0,11	4	3	5,0	0	12
07/12	8,3	78	3,48	2682	13351	10233	1,46	11	6	30,2	0	50
14/12	7,3	23	0,16	1	6		0,04	3	4	20,2	0	15
03/05	8,2	194	0,83	39	132	75	0,08	128	10	30,2	0	124
10/05	6,4	173	0,79	63	243		0,18	120	3	5,0	0	111
17/05	9,5	1224	1,32	85	231	128	0,24	160	15	403,2	352,8	783
24/05	6,3	938	0,93	38	141		0,13	81	237	5,0	0	600

Tabela 11: Resultados de caracterização microbiológica das amostras coletadas.

Parâmetros	28/09	5/10	12/10	19/10	26/10	1/11	9/11	16/11	23/11	30/11	7/12	14/12	3/05	10/05	17/05	24/05
Heterotróficos (UFC /mL)	0	0	0	40	34	13	0	4	2	6	36	11	2	7	0	86
Coliformes Totais	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+
<i>E. coli</i>	NA	NA	NA	-	-	NA	NA	NA	NA	NA	-	NA	NA	-	NA	-

NA – Não se aplica; (-) – Ausência; (+) – Presença

Tabela 12: Tratamentos estatísticos dos resultados.

Parâmetros	pH	Condutividade (µS/cm)	Turbidez (NTU)	COT (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	Alcalinidade OH (mg/L CaCO ₃)	SDT (mg/L)
média	8,0	331	2,18	402	1873	1871	0,34	55	57	144,6	119,3	212
mediana	7,4	128	0,88	68	302	226	0,16	39	8	20,2	0	82
dp	2,0	404	2,29	706	3435	3588	0,42	57	90	204,2	183,4	258
n	16	16	16	16	16	8	16	16	16	16	16	16
minimo	5,4	16,3	0,16	1	6	15	0,04	2	0	0	0	10
maximo	11,9	1224	8,12	2682	13351	10233	1,46	160	237	478,8	418,9	783
1º quartil	6,4	21,6	0,61	22	76	96	0,08	3	3	5,0	0	14
3º quartil	9,6	686	3,64	565	2735	2062	0,39	100	97	408,2	357,2	439

As discrepâncias entre os valores de máximo e mínimo para COT, DQO e DBO evidenciam a acentuada amplitude de variância do efluente em relação a matéria orgânica, em função de paradas na produção e em casos de coincidir produção com experimentos. Ainda assim, as amostras 28/09, 16/11 e 07/12, principalmente esta última, são consideradas muito acima do esperado.

A Figura 20 mostra o kit para heterotróficos Millipore, após incubação a 35°C com primeira leitura em 48h e segunda leitura em 72h.



Figura 20: Kit para Contagem de Heterotróficos em Placa (HPC) Millipore.

As amostras, após dissolução do meio Colilert, foram incubadas a 35°C por 24h e analisadas, conforme Figuras 21 e 22.



Figura 21: Kit Colilert indicando presença de Coliformes Totais.



Figura 22: Kit Colilert indicando ausência de *E. coli*.

A seguir, são feitos comentários sobre os parâmetros da Tabela 10 e apresentados gráficos de linha e diagramas de caixa fornecidos pelo programa Statistica7 para ilustrar estes resultados.

4.1.1. Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Condutividade e Cloreto

O parâmetro Condutividade foi transformado em Sólidos Dissolvidos Totais, pois de acordo com Blum (2003, p.152) para o monitoramento das concentrações de sais dissolvidos no efluente normalmente utiliza-se a condutividade, que possui uma boa correlação com os sais dissolvidos.

Segundo Paganini (2003, p.355), a condutividade pode ser convertida no parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais pela multiplicação da condutividade por 0,64, e a literatura australiana recomenda a classificação das águas de irrigação conforme esta medida, sendo: Salinidade baixa entre 0 e 175 mg/L, salinidade média entre 175 e 500 mg/L, salinidade alta entre 500 e 1500 mg/L, muito alta entre 1500 e 3500 mg/L e extremamente alta acima de 3500 mg/L.

Dessa maneira, a média de sólidos dissolvidos totais (SDT), mostrada na Tabela 12, foi de 212 mg/L. De acordo com Paganini (2003, p.356) este valor se enquadra na classificação de salinidade média para plantas com moderada tolerância à salinidade, tais como gramas de várias espécies, aveia, trigo, cevada, soja, nabo, figo, mamão e romã. Se enquadra nos padrões recomendados para irrigação de jardins e também para água de torres de resfriamento.

O parâmetro cloreto se apresentou dentro dos limites para reúso em irrigação de jardins e para uso em torres de refrigeração.

A Figura 23 ilustra o gráfico linear das concentrações de sólidos dissolvidos totais, de condutividade e de cloreto.

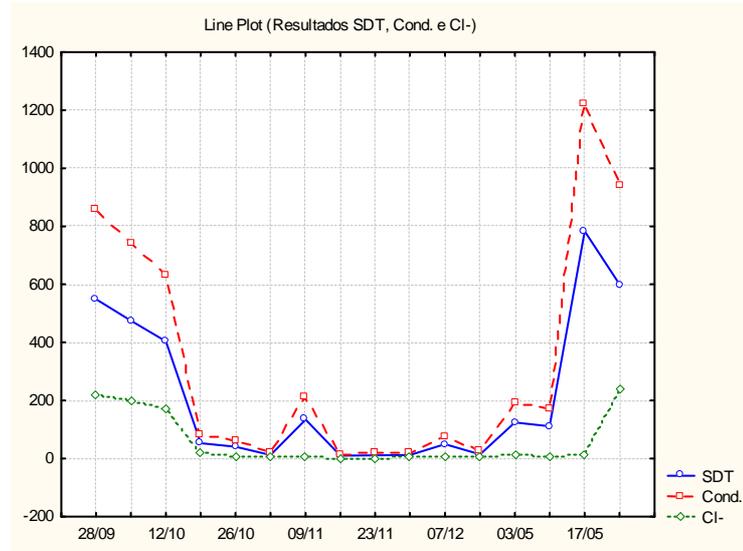


Figura 23: Gráfico de linha de SDT, Condutividade e Cloreto.

A Figura 24 mostra o diagrama de caixa para as concentrações de sólidos dissolvidos totais de condutividade e de cloreto.

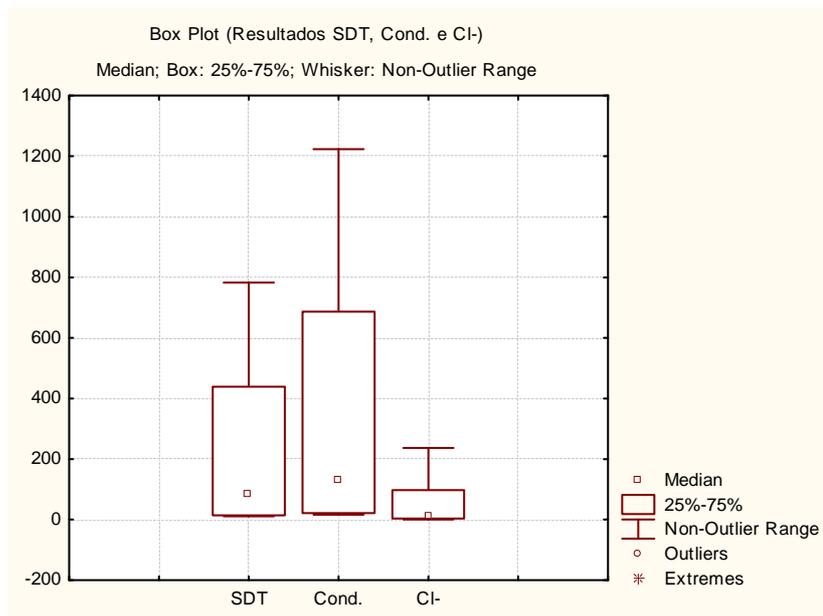


Figura 24: Diagrama de caixa de SDT, Condutividade e Cloreto.

O gráfico de linha da Figura 23 mostra considerável variância dos parâmetros Sólidos Dissolvidos Totais, Condutividade e Cloreto, entretanto apresenta uma incidência maior de pontos de baixos valores. Esta amplitude para os parâmetros pode ser confirmada no diagrama de caixa da Figura 24 que, embora não apresente “outliers” nem pontos extremos, pelas posições das medianas

(segundo quartil), sugere uma tendência dos resultados a valores abaixo da média amostral, já que 50% das amostras se encontram abaixo da mediana com valores relativamente baixos e bem próximos, sugerindo também que as médias amostrais destas distribuições poderiam estar acima das médias populacionais (μ) das distribuições.

4.1.2. DQO, COT e DBO

Embora não seja exigida pelos órgãos de fiscalização de água de reúso, o parâmetro COT, ou COD, para efluentes com sólidos não dissolvidos, vem sendo cada vez mais usado como parâmetro auxiliar de medição de matéria orgânica em efluentes. A relação DQO/COT nos dá informação sobre a natureza do efluente. Quanto maior esta relação, maior a fração inorgânica oxidável pela DQO (sulfetos, polissulfetos, sulfonatos, cloretos, etc) (DEZOTTI, 2008 p.34).

A relação DQO/DBO encontrada foi de 1,34 e, segundo Von Sperling (2005), é considerada baixa, indicando que a fração biodegradável é elevada. Embora a DQO não tenha sido um parâmetro regulamentado como parâmetro para reúso, esta é utilizada pelo INEA para medir matéria orgânica de efluentes tratados despejados direta ou indiretamente em corpos receptores. Seu limite é de 150 mg/L para efluentes de indústria farmacêutica (INEA-DZ-205-R6, 1991).

Para os resultados de COT, DQO e DBO, foram feitos gráficos de distribuição tipo diagrama de caixa, devido a estes se apresentarem com valores muito além do esperado. Alguns valores se apresentaram como “outliers” e até como pontos extremos no diagrama de caixa (Figura 26), sugerindo que a média obtida para a distribuição não se aproximava da média populacional (μ) em função destes pontos. Para este caso, a mediana, que corresponde ao 50^o percentil, seria um ponto central com menor probabilidade de erro para estimar a média real da distribuição, uma vez que mais de 50%, incluindo a mediana, se encontram no primeiro interquartil, cuja amplitude é significativamente menor que a do terceiro interquartil, gerando um desvio de simetria bem evidente entre os interquartis. Embora a amplitude em DQO seja a maior, a amplitude interquartis em DBO é bem maior, a ponto do terceiro quartil coincidir com o limite superior para “outliers”. Estas

variações puderam ser também observadas no gráfico de linha (Figura 25). Os pontos extremos e “outliers” de DQO e DBO podem ser explicados por uma falha na homogenização por confluência do efluente em P2, na hora de descartar resíduo de meio de cultura.

As Figuras 25 e 26 mostram o gráfico de linha e o diagrama de caixa respectivamente, dos resultados de COT, DQO e DBO.

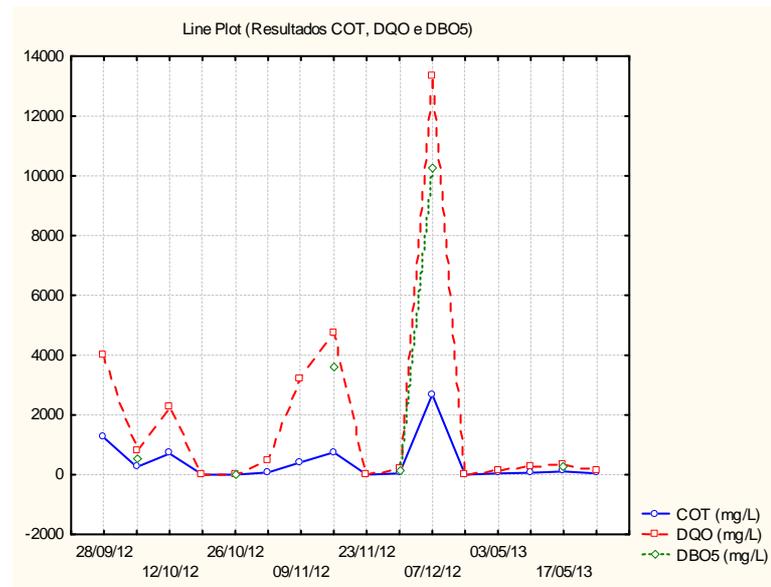


Figura 25: Gráfico de linha de COT, DQO e DBO.

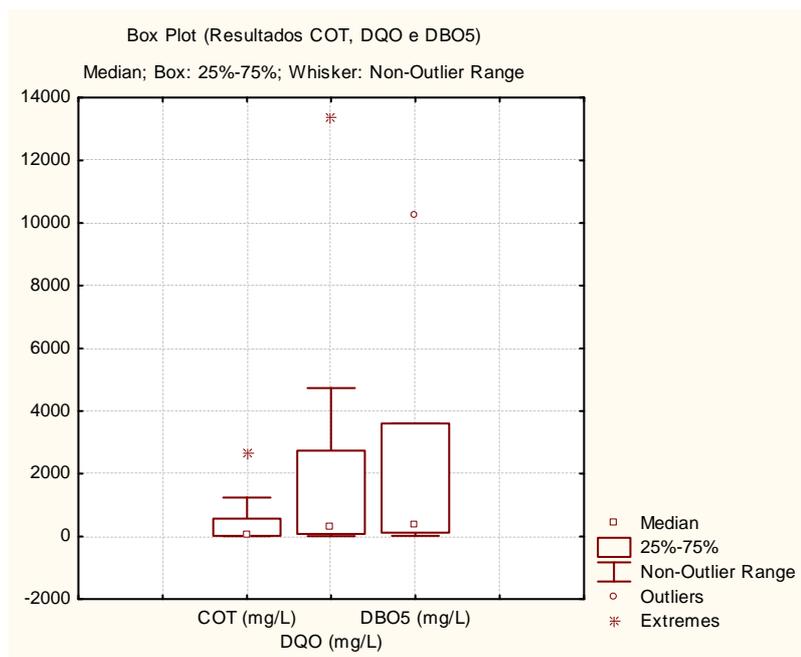


Figura 26: Diagrama de caixa de COT, DQO e DBO.

A seguir, conforme seção 3.4, o Teste de Hipótese para distribuição t realizado para os parâmetros COT, DQO e DBO, onde H_0 é a hipótese nula, que se quer rejeitar e H_1 é a hipótese alternativa, que se quer provar, obtendo-se $t_{\text{encontrado}}$ (calculado) e $t_{\text{crítico}}$ (tabelado) e depois relacionando-os (MONTGOMERY, 2009 p.190).

COT: Para $H_0: \mu = 402$ mg/L (média amostral) e $H_1: \mu < 402$ mg/L, obtivemos, ao nível de significância de 5%, $t_{\text{encontrado}}(-83,5929) < t_{\text{crítico}}(-1,7530)$. Devemos REJEITAR H_0 . Logo, a média amostral está abaixo de 402mg/L.

DQO: Para $H_0: \mu = 1873$ mg/L (média amostral) e $H_1: \mu < 1873$ mg/L, obtivemos, ao nível de significância de 5%, $t_{\text{encontrado}}(-1,8290) < t_{\text{crítico}}(-1,7530)$. Devemos REJEITAR H_0 . Logo, a média amostral está abaixo de 1873mg/L.

DBO: Para $H_0: \mu = 1871$ mg/L (média amostral) e $H_1: \mu < 1871$ mg/L, obtivemos, ao nível de significância de 5%, $t_{\text{encontrado}}(-1,9171) < t_{\text{crítico}}(-1,895)$. Devemos REJEITAR H_0 . Logo, a média amostral está abaixo de 1871mg/L.

Portanto, podemos considerar como pontos centrais mais próximos das médias populacionais (μ) as medianas de COT, no valor de 68 mg COT/L, de DQO, no valor de 302 mg DQO/L e de DBO, no valor de 226 mg DBO/L em vez dos valores obtidos pelas médias amostrais.

Mesmo tendo considerado as medianas como valores mais próximos da média real, estes ainda são altos em relação aos valores das Tabelas 13 e 14. Deste modo, seria cabível um tratamento para redução de matéria orgânica para reúso em torres de resfriamento e em rega de jardim, para evitar formação de organoclorados, após cloração ou a substituição do cloro por outro biocida que não gere subprodutos tóxicos ou carcinogênicos. De qualquer forma, o tempo de residência e a viabilidade técnico-econômica devem ser avaliados. Um processo oxidativo avançado como, por exemplo, peróxido de hidrogênio H_2O_2 , ou um processo de separação por

membranas, como por exemplo, ultrafiltração, nanofiltração ou osmose inversa poderia reduzir a concentração de matéria orgânica. Nesta última opção, além de remoção da matéria orgânica ocorreria também a remoção de sais, como é o caso do fosfato.

4.1.3. PO_4^{3-} e N-NH_3

Raij e colaboradores consideram como prejudiciais para cultivo de hortaliças, apenas concentrações de fosfato acima de 120 mg/L. Como a NBR 13969 não determina limite para este parâmetro e sabendo que se trata de um fertilizante e que o estudo citado (RAIJ *et al*, 2001 apud DUARTE *et al*, 2008) se refere a hortaliças, plantas para consumo humano, necessitando por isso de maior cuidado, além de não ter sido encontrado neste estudo nenhuma citação a respeito de limite de fosfato em irrigação de jardins e do teor de 55,06 mg/L de fosfato obtido na média amostral corresponder a menos da metade do limite citado por Raij *et al* (2001) apud Duarte *et al* (2008), não há impedimento para o reúso deste efluente em rega de jardins para este parâmetro.

Para reúso em torres de refrigeração (Tabela 14), como apenas USEPA (1992) limita em 4 mg/L de fosfato, enquanto Semura (2005), Kurita (2011) e Ludwig (1997) não colocam limites para este parâmetro. Deve-se atender quanto a este parâmetro para aplicações de reúso, por conta do potencial à proliferação microbiana, sobretudo algas e também incrustação. Se necessário, remover parte ou todo esse fosfato em tratamento terciário adequado, como por exemplo, a nanofiltração, cuja operação para remoção de fosfato é conhecida ou por precipitação química com íons ferro. Por outro lado, o uso de fosfato como inibidor à corrosão, e dispersão de sais é amplamente praticado no tratamento de águas de sistemas de resfriamento.

A Figura 27 mostra o gráfico linear das concentrações de fosfato e Nitrogênio amoniacal.

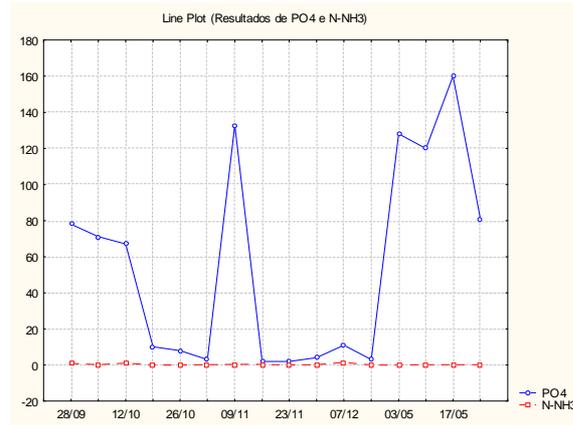


Figura 27: Gráfico de linha de PO_4^{3-} e N-NH_3 .

A Figura 28 apresenta o diagrama de caixa para as concentrações de fosfato e nitrogênio amoniacal.

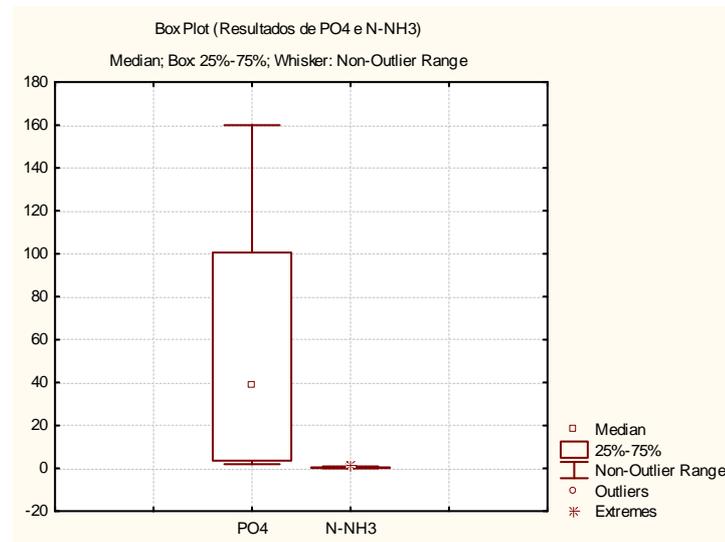


Figura 28: Diagrama de caixa de PO_4^{3-} e N-NH_3 .

O gráfico de linha da Figura 27 mostra uma grande variância do parâmetro fosfato, o que é confirmado no diagrama de caixa da Figura 28 que não apresenta “outliers” nem pontos extremos, pela posição da mediana (segundo quartil), sugerindo que a média amostral desta distribuição está próxima da média populacional (μ), para N-NH_3 , as concentrações se apresentaram bem próximas a

zero, demonstrando baixa proliferação microbiana, como era esperado e conforme foi comprovado nos ensaios microbiológicos.

4.1.4. pH, Alcalinidade Total e Alcalinidade OH

A Figura 29 apresenta o gráfico de linha para os resultados de pH, Alcalinidade Total e Alcalinidade OH.

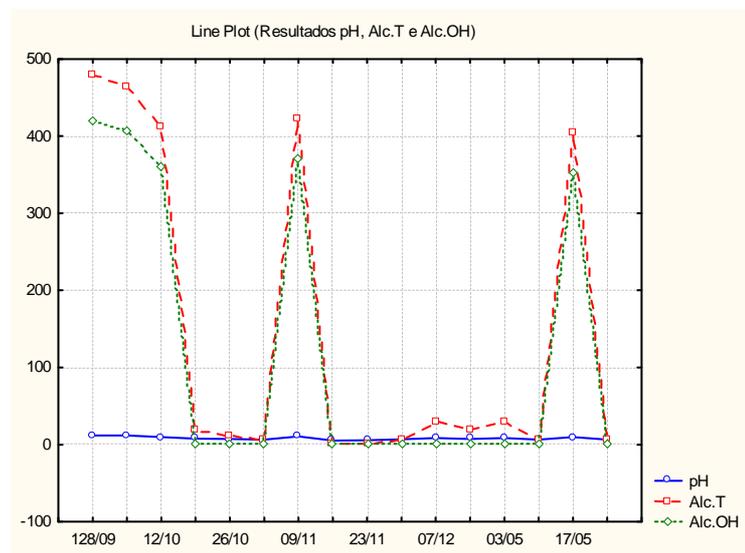


Figura 29: Gráfico de linha de pH, Alc,T e Alc.OH.

A Figura 30 apresenta o diagrama de caixa para os resultados de pH, Alcalinidade Total e Alcalinidade OH.

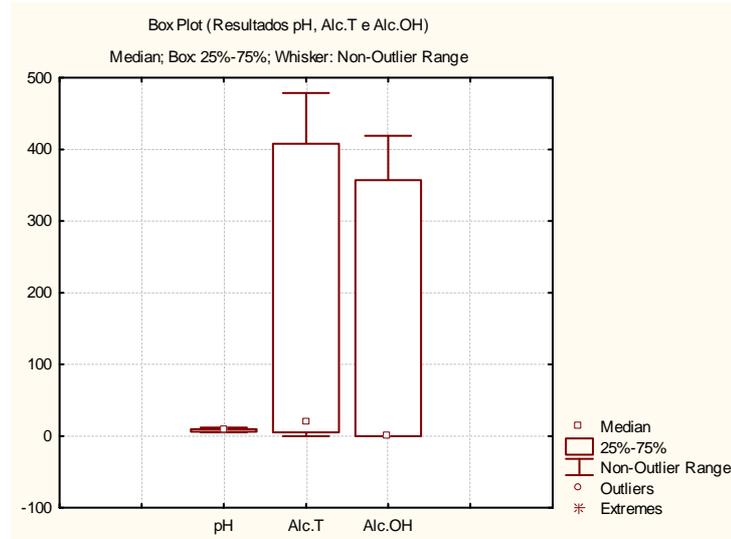


Figura 30: Diagrama de caixa de pH, Alc.T e Alc.OH.

O gráfico de linha da Figura 29 mostra pouca amplitude para o Parâmetro pH entretanto uma significativa variância para os parâmetros Alcalinidade Total e Alcalinidade OH, o que é confirmado no diagrama de caixa da Figura 30 que não apresenta “outliers” nem pontos extremos, pelas posições das medianas (segundo quartil) nos casos das medidas de alcalinidade, sugere uma tendência dos resultados a valores abaixo da média amostral, já que 50% das amostras se encontram abaixo da mediana com valores relativamente baixos e bem próximos, sugerindo também que as médias amostrais destas distribuições poderiam estar acima das médias populacionais (μ) das distribuições.

4.1.5. Turbidez, Heterotróficos, Coliformes Totais e *E. coli*

Já era esperada uma contaminação microbiológica bem baixa de heterotróficos e coliformes totais, em função das condições dos pontos de coleta e das características do efluente, assim como a ausência de coliformes termotolerantes (*E. coli*) em função da improvável contaminação por fezes humanas ou de animais neste efluente. O maior resultado obtido nos ensaios para Heterotróficos foi de 86 UFC/mL. Em apenas cinco amostras foi detectada a

presença de coliformes totais, mas em nenhuma destas foi detectada a presença de *E. coli*.

A Figura 31 apresenta o gráfico de linha para os parâmetros Turbidez e Heterotróficos.

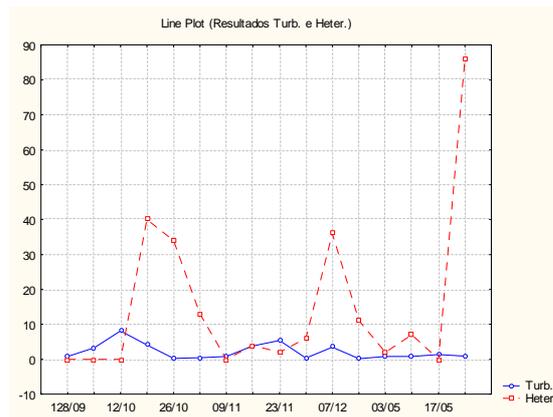


Figura 31: Gráfico de linha de Turbidez e Heterotróficos.

A Figura 32 apresenta o diagrama de caixa para os parâmetros Turbidez e Heterotróficos.

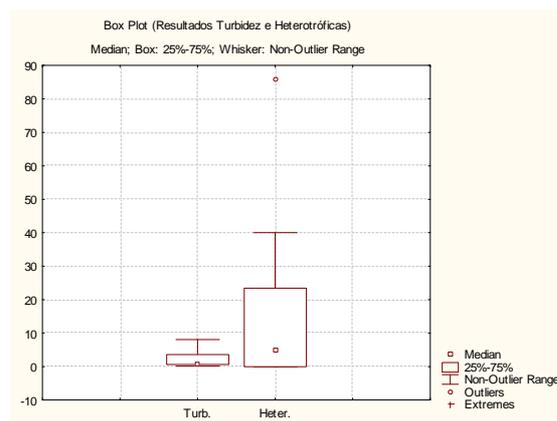


Figura 32: Diagrama de caixa de Turbidez e Heterotróficos.

O gráfico de linha da Figura 31 mostra pouca variância para o Parâmetro turbidez, entretanto uma grande variância para heterotróficos, o que é confirmado no

diagrama de caixa da Figura 32 que não apresenta “outliers” para Turbidez mas apresenta para Heterotróficos, e pelas posições das medianas (segundo quartil), sugere uma tendência dos resultados a valores abaixo da média amostral, já que 50% das amostras se encontram abaixo da mediana com valores relativamente baixos e bem próximos, sugerindo também que as médias amostrais destas distribuições poderiam estar acima das médias populacionais (μ) das distribuições.

4.2. Comparação dos resultados com parâmetros recomendados

4.2.1. Efluente gerado em semanas com produção e experimentos

O cenário descrito a seguir refere-se aos resultados da Tabela 12, de efluente cuja vazão total de 82,56 m³/mês, foi obtida somando-se as vazões médias de P1 com P2, considerando todas as amostras, ou seja, semanas de produção sem descartar as semanas nas quais ocorreram experimentos concomitantes com a produção ou sem produção.

a) Para reúso em irrigação, paisagismo e lavagem de pisos

Foram feitas comparações dos resultados obtidos com os parâmetros recomendados por normas americanas para irrigação agrícola não alimentar e paisagística (USEPA, 1992) e para rega de jardins, lavagem de pisos e fachadas pela norma brasileira NBR-13969, conforme ilustrado na Tabela 13.

Tabela 13: Comparação dos resultados com parâmetros recomendados para reúso em irrigação agrícola não alimentar, paisagística, incluindo rega de jardins, lavagem de pátios e fachadas.

PARÂMETROS	AGRIC. PAISAG. NOS EUA	REGA DE JARDIM E OUTROS LIMITES	RESULTADOS DESTE TRABALHO	
	LIMITES USEPA ¹	NBR-13969 ² Classe 2	Média	Desvio Padrão
Cloretos (mg/L)	100		57	90
DBO5 (mg/L)	30		226	3588
DQO (mg/L)			302	3435
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1		0,34	0,42
pH	6,0 – 8,5		8,0	2,0
Fosfato (mg/L)			55	57
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	500		212	258
Turbidez (UT)		<5	2,18	2,29
Cloro residual	1	>0,5	NA	
Coliformes Termot. (NMP/ 100 mL)	<200	<500	0	

Pela NBR-13969, o efluente estudado se enquadra na Classe 2 e poderia ser usado diretamente para rega de jardim, devendo apenas ser feita uma cloração com concentração de cloro residual acima de 0,5 mg/L, se apenas esta recomendação fosse considerada, pois apesar desta não ser específica para reúso, não há outra norma ou diretriz federal ou estadual que possa ser usada. Contudo, os resultados de matéria orgânica ficaram acima dos recomendados por normas americanas (USEPA, 1992), não sendo recomendado o uso direto sem antes remover matéria orgânica ou usar um desinfetante alternativo ao cloro, como o ácido peracético, pois pode ocorrer a formação de trihalometanos (THM).

b) Para reúso em torres de resfriamento

Foram realizadas comparações dos resultados obtidos com os parâmetros recomendados por normas americanas (USEPA, 1992) e também por Semura (2005), Kurita (2011) e Ludwig (1997) para água de reúso para alimentação ou reposição em sistemas semi-abertos de torres de resfriamento, conforme mostrado na Tabela 14.

Tabela 14: Comparação dos resultados com limites recomendados para água de alimentação em sistemas semi-abertos de resfriamento.

PARÂMETROS	RECOMENDAÇÕES				RESULTADOS DESTES TRABALHO	
	LIMITES USEPA (1992)	LIMITES SABESP Semura (2005)	LIMITES Kurita (2011)	LIMITES Ludwig (1997)	RESULTADOS	Desvio Padrão
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /mL)	350	100			144,6	204,2
Cloretos (mg/L)	500	100	1000	750	57	90
Sulfato (mg/L)	200	200	1100	800		
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	650		1000			
DBO ₅ (mg/L)	25	10		25	226	3588
DQO (mg/L)	75		15		302	3435
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1	1	10	50	0,34	0,42
Fosfato (mg/L)	4				55	57
pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	7,0 – 9,0	6,5 – 8,0	8,0	2,0
Sílica Total (mgSiO ₂ /L)	50	50	180	150		
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	500	500			221,51	258
Turbidez (UT)	50	2	65	50	2,18	2,29
Coliformes Termot. (NMP/ 100 mL)		0			0	

Quanto aos parâmetros para reúso em alimentação de torres de resfriamento, DBO, DQO e fosfato ficaram bem acima do proposto por USEPA (1992), alcalinidade ficou um pouco acima do recomendado por Semura *et al* (2005) mas bem abaixo do valor recomendado por (USEPA, 1992), enquanto os outros parâmetros ficaram dentro do recomendado.

É importante salientar que apenas USEPA determina um limite para fosfato e, apesar deste ser, juntamente com nitrogênio, um nutriente determinante para o crescimento de microalgas, como já mencionado, é usado em programas de tratamento de águas de torres de resfriamento como anticorrosivo e agente dispersante. Considerando com isso, uma provável redução no aporte de produtos químicos para o tratamento desta água. Entretanto a remoção ou o aproveitamento deste fosfato excedente, deverá ser considerada no estudo de viabilidade técnico-econômica para o reúso deste efluente em torres de resfriamento.

Em relação à alta concentração de matéria orgânica, recomenda-se que este efluente passe por um tratamento de filtração por membrana de ultrafiltração, nanofiltração e/ou osmose inversa, a fim de remover matéria orgânica e poder ser usado em torres de resfriamento.

4.2.2. Efluente gerado em semanas de produção sem experimento

Neste cenário foi considerado o efluente com vazão total de 82,56 m³/mês, pela soma das vazões de P1 com P2, excluindo-se as amostras das semanas cujas produções ocorreram concomitantes a experimentos e as semanas onde só ocorreram experimentos. Sendo apenas: 05/10, 12/10, 01/11, 09/11, 30/11, 14/12, 03/05, 10/05, 17/05 e 24/05. Foram considerados apenas DQO e fosfato, principais parâmetros que se apresentaram acima dos recomendados na seção 4.2.1.

DQO: Média = 769mg/L Mediana = 236mg/L

Fosfato: Média = 77mg/L

Mesmo considerando a mediana como ponto central mais próximo da média populacional para DQO, ainda assim esta ficou acima do recomendado e próxima da

mediana obtida para todas as amostras, 302 mg/L. Para fosfato, a média também ficou próxima da obtida para todas as amostras, 55mg/L. Estes resultados sugerem que a exclusão do efluente gerado em semanas de produção concomitante ou somente com experimentos para reúso, não interferirá consideravelmente na concentração de matéria orgânica, fazendo-se as mesmas considerações realizadas no item anterior.

4.3. Proposta de tratamento do efluente gerado em P1 e P2 para reúso

Para este cenário, considerou-se o efluente com vazão total de 82,56 m³/mês, pela soma das vazões de P1, lavagem automática de tanques e frascos, com P2, cubas de lavagem manual.

Em função da alta concentração de matéria orgânica e de fosfato, em relação a valores recomendados, para o reúso deste efluente, o tratamento deverá ser: neutralização seguida de ultrafiltração (UF) e nanofiltração (NF) ou osmose inversa (OI), para uso em torres de resfriamento ou neutralização seguida ultrafiltração (UF) e desinfecção, que poderá ser cloração, se os níveis de matéria orgânica não ultrapassarem os recomendados para evitar a formação de organoclorados, ou por ácido peracético, um desinfetante alternativo ao cloro, para uso em rega de jardins, conforme esquema da Figura 33. No caso das membranas de osmose inversa, podem ser reaproveitadas da CTA da unidade em estudo. Entretanto, um estudo de viabilidade técnico-econômica deverá ser feito para avaliar este tratamento, para aplicação em rega de jardins e em torres de resfriamento.

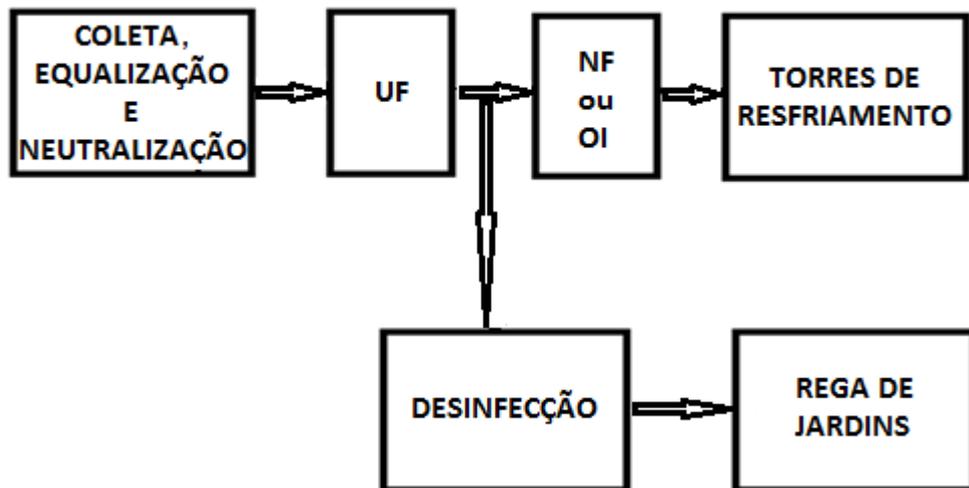


Figura 33: Esquema de tratamento do efluente gerado em P1 e P2.

4.4. Proposta de tratamento do efluente gerado em P1 para reúso

Neste cenário, considerou-se o efluente gerado em P1, lavagem automática de tanques e frascos, com vazão média de 35,6 m³/mês.

Embora não tenha sido caracterizado separadamente, possui menor teor de matéria orgânica e de fosfato que P2, cubas de lavagem manual, uma vez que nestas são descartados resíduos de meios de cultura, de soluções de cloreto de sódio e tampão fosfato. Entretanto, o efluente de P1 se apresenta mais alcalino, com pH mais elevado que em P2, devido a um maior aporte de solução de NaOH 0,5 mol/L, usada nos ciclos de limpeza das lavadoras automáticas.

No caso de reúso deste efluente separadamente, para rega de jardins e torres de resfriamento, o tratamento deverá, possivelmente, ser resumido a neutralização seguida de desinfecção, que poderá ser por cloração ou por ácido peracético, dependendo do teor de matéria orgânica, para evitar formação de organoclorados, conforme esquema da Figura 33. Contudo, deverá consumir maior quantidade de ácido para neutralização, aumentando o teor de sais dissolvidos. Neste caso, poderá ser incluído um processo de filtração por membrana de osmose

inversa, reaproveitando as usadas na CTA da unidade em estudo. Entretanto, estudos devem ser aprofundados para reúso deste efluente, a fim de garantir que o teor de sais dissolvidos não ultrapasse o recomendado para aplicação em rega de jardins e em torres de resfriamento.

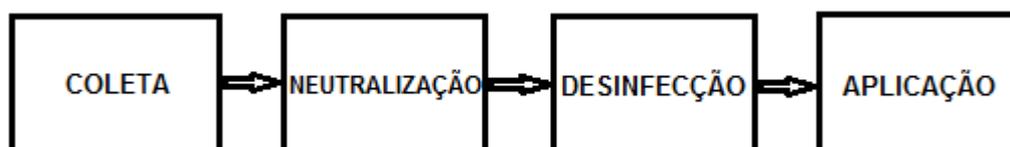


Figura 34: Esquema de tratamento do efluente gerado em P1 para reúso aplicado em rega de jardins e em torres de resfriamento.

4.5. Proposta de tratamento do efluente gerado em P2 para reúso

Para este cenário, considerou-se o efluente gerado em P2, cubas de lavagem manual, com vazão média de 46,96 m³/mês.

Conforme dito na seção anterior, apesar de não ter-se caracterizado separadamente, este ponto possui menor aporte de NaOH, permitindo um pH mais próximo da neutralidade do que em P1. Entretanto, apresenta maior aporte de matéria orgânica, de cloreto e de fosfato, dificultando processo de desinfecção por cloração, em função da formação de organoclorados e aumentando concentração de sais dissolvidos.

No caso de reúso deste efluente separadamente, o tratamento deverá ser conforme descrito na seção 4.3.

4.6. Considerações sobre vazão do efluente e consumo e custo de água

Vazão do efluente gerado no setor de lavagem

Conforme calculado na seção 3.5:

- a) A vazão média mensal em P1 foi de 35,6 m³/mês
- b) A vazão média mensal em P2 foi de 46,96 m³/mês
- c) A vazão média mensal de P1 + P2 foi de 82,56 m³/mês.

Os resultados indicam que os procedimentos de lavagem em lavadoras automáticas gastam menos água que os procedimentos de lavagem manual.

A vazão média mensal de efluente gerado no setor de lavagem do departamento de produção de vacinas bacterianas é suficiente para suportar a demanda mensal de água para rega de jardins da unidade de estudo, restando ainda 54,04 m³/mês que poderão ser utilizados em outras finalidades não potáveis, tais como lavagem de pisos, combate a incêndio, uso em vasos sanitários ou como complementação de água de reposição de torres de resfriamento.

Consumo e custo de água potável em rega de jardins e em torres de resfriamento pela unidade em estudo

Conforme calculado na seção 3.6, o consumo médio de água potável gasto em rega de jardins fica em torno de 28,52 m³/mês. Considerando a tarifa da CEDAE para indústrias com consumo superior à 30 m³/mês de R\$ 7,42 /m³, o custo mensal para esta operação fica em R\$ 211,62.

De acordo com cálculo feito na seção 3.7, o consumo médio mensal de água potável para reposição nas torres de resfriamento foi de 3.405,4 m³/mês e considerando a tarifa já mencionada, o custo mensal para esta operação fica em torno de R\$ 25.921,92/mês.

Com a prática de reúso de água na unidade, essa água potável pode ser direcionada à produção de imunobiológicos, produtos de alto valor agregado, e para consumo humano.

Considerando que se reuse o efluente gerado no setor de lavagem do departamento de vacinas bacterianas, seriam menos 82,56 m³/mês de efluente a ser tratado pela ETE e, conseqüentemente, menor seria o aporte de efluente despejado no corpo receptor adjacente à unidade em estudo.

5. CONCLUSÕES

Como o tempo de amostragem foi reduzido de 12 meses para 4 meses em função de obras, validações e paradas na produção, entre outros motivos, o número de amostras compostas semanais possíveis foi bem menor que 30, número mínimo para uma distribuição normal padrão, distribuição mais adequada para o estudo de caso e com isso, alguns resultados não esperados obtidos interferiram em algumas médias durante a caracterização do efluente em estudo. Contudo, apesar das dificuldades no percurso deste estudo, a intenção de levar adiante este projeto se devia ao prévio conhecimento das altas diluições deste efluente em várias etapas produtivas, com água de altíssimo padrão de pureza. Embora se tenha uma ideia pelo conhecimento prático da variação que certos contaminantes apresentavam, principalmente os de caráter orgânico, sabia-se, contudo, que se tratava de material de fácil biodegradação. Para amenizar este efeito dos resultados “outliers”, foram realizados testes de hipótese t para os parâmetros mais críticos: COT, DQO e DBO. Entretanto, ainda assim, estes parâmetros ficaram acima do recomendado para reúso em irrigação não alimentar e paisagística por normas americanas, USEPA, e em torres de resfriamento, por USEPA (1992), Semura *et al* (2005), Kurita (2011) e Ludwig (1997).

A relação DQO/DBO encontrada foi de 1,34, considerada baixa, indicando que a fração biodegradável é elevada (VON SPERLING, 2005).

Os resultados dos ensaios de pH, Condutividade, Turbidez, N-NH₃, Cloreto, Alcalinidade e os ensaios microbiológicos ficaram dentro dos limites recomendados pelas normas nacional, NBR 13969, e americana, USEPA, ou sugeridos pela literatura nacional e internacional no que diz respeito a qualidade de água para reúso em rega de jardins, lavagem de ruas e fachadas ou em torres de refrigeração.

O parâmetro fosfato se enquadrou para uso em rega de jardim, lavagem de pisos e calçadas, mas não para torres de resfriamento, necessitando de tratamento adequado, como nanofiltração ou osmose inversa, para possível reúso nesta modalidade.

Por fim, os resultados deste estudo mostraram que a água oriunda da confluência do efluente gerado na lavagem automática de tanques e frascos (P1)

com o efluente gerado nas cubas de lavagem manual de frascos (P2), do setor de lavagem do departamento de produção de vacinas bacterianas, poderá ser adequada ao reúso em rega de jardins, lavagem de pisos, combate a incêndio e uso em vasos sanitários, assim como em torres de resfriamento, após tratamento por ultrafiltração e desinfecção, para os primeiros casos, e nanofiltração ou osmose inversa, para o último caso, com a finalidade de reduzir matéria orgânica e fosfato.

6. SUGESTÕES

- 1) Propor estudo de viabilidade técnico-econômica para tratamento do efluente gerado no setor de lavagem do departamento de produção de vacinas bacterianas com a finalidade de remoção de matéria orgânica e fosfato do efluente, através do uso de tecnologia de separação por membranas, como por exemplo, ultrafiltração, seguida de nanofiltração ou osmose inversa, sendo que esta última por reaproveitamento das membranas de osmose inversa descartadas da CTA da unidade deste estudo de caso. Nesta última opção, além de remoção de fosfato, ocorreriam também a remoção de outros sais e, como estas seriam reaproveitamento, o custo seria baseado apenas nas membranas de ultrafiltração.

- 2) Propor a utilização do Departamento de produção de vacinas bacterianas como projeto piloto, extrapolando este estudo para os outros departamentos.

- 3) Estudar reaproveitamento direto de perdas na obtenção de AP e de API.

7. REFERÊNCIAS

ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental). Cadernos de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo. 1992.

ABES. Falta de normas técnicas para reúso de água ainda é um problema no país. WWW.abes-sp.org.br/noticias/19-noticias-abes/4203-falta-de-normas-tecnicas-para-reuso-de-agua-ainda-e-um-problema-no-pais, Acesso em 06/08/2013.

ABIQUIM, 2008. Relatório de atuação responsável 2008, ano 2007, ano 4, Associação Brasileira da Indústria Química, São Paulo. 28 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969 – Tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ADROVER, M. et al. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. Journal of Environmental Management.95 (2012) S188-S192.

ALVAREZ, D. et al. Minimization-optimization of water use in the process of cleaning reactors and containers in a chemical industry. Journal of Cleaner Production, nº12, 2004, p. 781-787.

ALVES, S.S.. Conservação e reúso de água em indústria de cosméticos – Estudo de caso da Natura Cosméticos. São Paulo, 2009. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ANGELAKIS, A.N.; MARECOS DO MONTE, M.H.; BONTOUX, L.; ASANO, T. The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin. Wat. Res. Vol. 33, Nº 10, 1999: 2201-2217. Great Britain.

APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 21th ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

ASANO, T.; TCHOBANOGLOUS, G., 1991. The role of wastewater reclamation and reuse in USA. In: Water Science Technology. Kyoto: V.23, p. 2049-59.

BARBOSA, I.L. Avaliação de processos de separação por membranas para geração de águas de reúso em centro comercial. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação de Mestrado – UFRJ/EQ.

BIXIO, D.; THOEYE, C.; DE KONING, J.; JOKSIMOVIC, D., SAVIC, D.; WINTGENS, T.; MELIN, T., 2006. Wastewater reuse in Europe. *Desalination* 187: 89-101. Belgium.

BLUM, J.R.C., Critérios e padrões de qualidade da água. *In: Reúso de Água*. 1ª Ed. São Paulo: Editora Manole. 2003, 579 p. (Coleção Ambiental-USP).

BRASIL.(LEGISLAÇÃO): Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 de março de 2005.*

_____. ANA – Agência Nacional de Águas. Regiões hidrográficas do Brasil- Caracterização geral e aspectos prioritários. Brasília: ANA, 2002.

_____. ANA. Conjunto dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2009. 204 p.

_____. CPDS – Comissão de Política de Desenvolvimento Sustentável. 2004a. Agenda 21 brasileira: ações prioritárias. 2ª ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 158 p.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 24 de março de 2004b. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade de água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 de março de 2004. Seção 1, p. 266-270.*

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

_____. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005a. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 de março de 2005. Seção 1, p. 58-63.*

_____. CNRH/MMA – Conselho Nacional de recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005b. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 de março de 2006.

_____. CNRH/MMA – Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 de março de 2011.

_____. CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, CONAMA.

_____. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC – Resolução da Diretoria Colegiada, nº 17 de 16 de abril de 2010. Dispõe sobre as Boas Práticas de Fabricação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 de abril de 2010a.

_____. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC – Resolução da Diretoria Colegiada, nº 49 de 23 de novembro de 2010b. Aprova a Farmacopéia Brasileira, 5ª edição e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 de novembro de 2010.

_____. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Farmacopéia Brasileira. Vol. 1. 5ª edição. Brasília, DF, 2010c.

BREGA FILHO, D.& MANCUSO, P.C.S.. Conceito de Reuso de Água. *In*: Reuso de Água. 1ª Ed. São Paulo: Editora Manole. 2003, 579 p. (Coleção Ambiental-USP).

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. Estrutura tarifária de agosto de 2012 a setembro de 2012. Processo E-17/100.374/2012. Aumento de 9,4%, incidência 01/08/2012. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro de 29 de junho de 2012.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Norma Técnica: Contagem de bactérias heterotróficas – Método de ensaio. São Paulo, 2006. L5.201: 14 p.

DEZOTTI, M. [coordenação]...[et al]. – Rio de Janeiro: E-papers, 2008, 360p.il.(Série Escola Piloto de Engenharia Química COPPE/UFRJ, V. 5).

DO MONTE, M.H.M..Water reuse in Europe.E-Water Official Publication of the European Water Association – EWA.Portugal. 2007.

DOMINGUES, V.O.; TAVARES, G.D.; STÜKER, F.; MICHELOT, T.M.; REETZ, L.G.B.; HÖRNER, R.,.Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. Saúde, Santa Maria (UFSM-RS), 2007, 33: 15-19.

DUARTE, A.S.; et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 12.3(May-June 2008):p302.

FATTA, D.; ARSLAN ALATON, I.; GOKCAY, C.; RUSAN, M.M.; ASSOBBHEI, O.; MOUNTADAR, M.; PAPADOPOULOS, A.. Wastewater reuse: Problems and Challenges in Cyprus, Turkey, Jordan and Marocco. EuropeanWater 11/12: 63-69.Cyprus.2005.

FÉRES, J.; REYNAUD, A.; THOMAS, A..Texto para discussão nº 1257 – Reúso de água nas indústrias da bacia do Rio Paraíba do Sul. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, MPOG, Rio de Janeiro, 2007. 22 p.

FIESP/CIESP. Conservação e Reuso de Água – Manual de Orientações para o Setor Industrial. São Paulo: FIESP/CIESP, Vol. 1. 2004.

FIRJAN. Manual de Conservação e Reúso da Água na Indústria. Rio de Janeiro: FIRJAN/SEBRAE, 2007.

FUNASA – Fundação Nacional da Saúde, Ministério da Saúde. 2004. Manual prático de análise de água. 1ª Ed, Brasília.

FRANCO, M.J.M., Aplicação da metodologia de APPCC – Análise de perigos e pontos críticos de controle como ferramenta para reuso de água na indústria – Modelo para indústria de aromas e essências. 2007. 118 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GRAHAM, M.S.; LOMAX, G.; SKIPP, G..Comparação entre ácido peracético e cloração. Revista Hydro, nº 83, Setembro de 2013. Aranda Editora

<http://www.arandanet.com.br/midiaonline/hydro/2013/setembro/index.html> acesso em 10/09/2013.

GREGHI, S.Q.. Avaliação da eficiência de métodos rápidos usados para detecção de coliformes totais e coliformes fecais em amostras de água, em comparação com a técnica de fermentação em tubos múltiplos. São Paulo, 2005, Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

INEA, DZ-205.R-6. Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial. Publicada no D.O.E.R.J. de 24 de outubro de 1991.

INEA, DZ-215.R-4. Diretriz para despejos sanitários em indústrias, comércio e canteiros de obras.
<http://www.inea.com.br/200.20.53.7/ineaportal/Legislacao.aspx?ID=EC2F0291-AA60-4D29-B059-B6FC7BEDEA4A> acesso em 24/04/2013.

INTERFARMA – Associação da Indústria Farmacêutica de Pesquisa. Relatório de Responsabilidade Socioambiental 2011/ano-base 2010. 78 p.

HESPANHOL, I., 1999. Água e Saneamento Básico. *In*: Rebouças, A.C.; Braga, B.; Tundisi, J.G. Águas Doces do Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação, 1ª Ed, São Paulo, Escritura Editora.

HESPANHOL, I., 2002. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V.7 nº4: 75-95.

HESPANHOL, I., Saúde pública e reúso agrícola de esgotos e biossólidos. *In*: Reúso de Água. 1ª Ed. São Paulo: Editora Manole. 2003, 579 p. (Coleção Ambiental-USP).

HESPANHOL, I., 2012. Conservação e reúso de água, práticas que crescem na indústria. Envolverde: [HTTP://envolverde.com.br/sociedade/artigo-sociedade/conservacao-e-reuso-de-agua-praticas-que-crescem-na-industria/](http://envolverde.com.br/sociedade/artigo-sociedade/conservacao-e-reuso-de-agua-praticas-que-crescem-na-industria/) acesso em 17/07/2013.

KURITA, 2011. Kurita do Brasil – Proposta Técnica – Comercial – KR097/11 – Reúso de Águas – Tratamento de Água no Sistema de Refrigeração U223 – Coque – Refinaria Gabriel Passos – REGAP – Betim, MG, 2011.

LAVRADOR FILHO, J., 1987. Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo.

LESTER, Y.; MAMANE, A.; ZUCHER, I.; AVISAR, D., 2013. Treating wastewater from a pharmaceutical formulation facility by biological process and ozone. *Water Research*, 47(2013) 4349.

LUDWIG, E.E., 1997. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants. 3ª ed., Houston: Gulf Publishing Company Book Division, vol. 2.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. [editores]...[et al]. Reúso de Água – São Paulo: Ed. Manole, 2003, 579 p. (Coleção Ambiental-USP).

MIERZWA, J.C. & HESPANHOL, I., 2005. Água na Indústria: uso racional e reuso. São Paulo, Ed. Oficina de Textos. 144 p.

MIYAKI, H. et al. Water recycling by floating media filtration and nanofiltration at a soft drink factory. *Desalination*. V. 13, 2000, p. 47-53.

MONTGOMERY, D.C., Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.; tradução e revisão técnica Verônica Calado – Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009, 490 p.

MORETTO, L.D.; CALIXTO, J.. Boas Práticas de Fabricação: Guia de autoinspeção na Indústria Farmacêutica, volume 8.1 – São Paulo: SINDUSFARMA, 2011, 393 p.

NSW – New South Wales. Shoalhaven Heads Effluent Re-Use Pilot Scheme. Sydney: Institution of Engineers Australia, 1992. (Division. Public Works Department NSW).

OPAS/CEPIS, 1996. Organización Panamericana de la Salud – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente). Curso de Tratamiento y uso de Águas Residuales. Lima: CEPIS.

PAGANINI, W.S., Reuso de água na agricultura. In: Reuso de Água. 1ª Ed. São Paulo: Editora Manole. 2003. (USP).

PAWLOWISKY, U., 2003. Comparação de tecnologias para reciclagem de águas residuárias tratadas em indústrias de café. *Gestão Ambiental*, nº21-Agosto/Setembro de 2003.

PEDRAZA, A.Y.B., Gestion del agua – Una preocupacion de las empresas ambientalmente responsables. Revista Universidad y Empresa, 19 (July-December 2010): p87. Colombia.

RAPOPORT, B., 2004. Águas cinzas: Caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. Escola Nacional de Saúde Pública – FIOCRUZ/MS.

SEMURA, K.A.; GONÇALVES, M.C.; RICCITELLI, M.. Estudo para implantação de reúso e proposição de parâmetros de qualidade para usos urbanos não potáveis a partir das ETES da RMSP. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental. Campo Grande-MS, Brasil.

VALOR Econômico. Jornal eletrônico. WWW.valor.com.br/valor-data Acesso em 17/08/2013.

SOLMAZ, A.; ÜSTÜN, G.E.; BIRGÜL, A.; TASDEMİR, Y. Regeneration of industrial district wastewater using a combination of Fenton process and ion Exchange – A case study. Resources, Conservation and Recycling v. 52, 2007, p. 425-440.

SOUZA, J.B.; DANIEL, L.A.. Comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* em água com elevada concentração de matéria orgânica. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 10, nº 2, Rio de Janeiro, abril/junho 2005.

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L., Microbiologia. 8ª Edição, Editora Artmed, 2005.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1992. Guidelines for Water Reuse. Cincinnati. (EPA/625/R-92/004, Manual, Technology Transfer).

VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias); vol. 1. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005, 452 p.

WHO – World Health Organization. 1973. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Technical report series, 517. Genebra.

8. ANEXOS

Anexo 1: Protocolo elaborado para cálculo das vazões e volumes de P1 e P2.

Cálculo das vazões e volumes de P1 e P2

Cálculo das vazões:

Para TC(P1) = 4 s: Volume obtido (____ mL) x 0,25 = Vz(P1) (____ mL/s)

Para TC(P1) ≠ 4 s: Volume obtido (____ mL) / TC(P1)(____ s) = Vz(P1) (____ mL/s)

Para TC(P2) = 4 s: Volume obtido (____ mL) x 0,25 = Vz(P2) (____ mL/s)

Para TC(P2) ≠ 4 s: Volume obtido (____ mL) / TC(P2)(____ s) = Vz(P2) (____ mL/s)

Cálculo para somar volumes de P1+P2:

$\%Vz(P1) = Vz(P1) \times 100 / Vz(P1) + Vz(P2) = (\text{____} \%)$

$\%Vz(P2) = Vz(P2) \times 100 / Vz(P1) + Vz(P2) = (\text{____} \%)$

Volume de P1 = $\%Vz(P1) \times 2 = (\text{____} \text{ mL})$

Volume de P2 = $\%Vz(P2) \times 2 = (\text{____} \text{ mL})$

Volume de P1 + Volume de P2 = 200 mL de amostra

TC – Tempo de coleta

Vz – Vazão

$\%Vz$ – Vazão percentual

Anexo 2: Planilha criada para registro das amostragens semanais.

Coletas do efluente gerado no Setor de lavagem – Semana de ___ a ___/___/___:

Dia	Coleta	Ponto 1 (CIP/SIP eGetinge)	Ponto 2 (Pia e Descarga ralo)	Vazões (mL/s)		Observações
				P1	P2	
Segunda	1 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	2 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	3 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	4 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	5 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
Terça	1 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	2 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	3 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	4 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	5 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
Quarta	1 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	2 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	3 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	4 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			
	5 ^a coleta	200mL __:__h ()CIP ()Getinge	200mL __:__h			

Quinta	1 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			
	2 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			
	3 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			
	4 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			
	5 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			
Sexta	1 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			
	2 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			
	3 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			
	4 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			
	5 ^a coleta	200mL __: __h ()CIP ()Getinge	200mL __: __h			

Anexo 3: Curva de calibração de N-NH₃.