

**Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo  
(FCF-USP)**

Departamento de Tecnologia Bioquímico Farmacêutico (FBT)

**REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA POR BTEX,  
BIOTECNOLOGICAMENTE INATIVADOS, DE ÁGUAS PLUVIAIS E ÁGUAS DOS  
REJEITOS DO DESTILADOR E DA OSMOSE REVERSA**

Responsável: THEREZA CHRISTINA VESSONI PENNA (FBT- FCF-USP)

Corresponsável: YARA MARIA LIMA MARDEGAN (FCF-USP)

Equipe: DANTE AUGUSTO MORAES (FBT- FCF-USP), DENISE VIEIRA (FBT- FCF-USP), NORBERTO VIEIRA (FBT- FCF-USP).

**RESUMO**

A água utilizada para as pesquisas e projetos do laboratório Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica é proveniente dos reservatórios abastecidos pela Sabesp e ocasiona muitos danos aos filtros dos equipamentos, além disso, o destilador e o equipamento de osmose reversa geram uma grande quantidade de rejeitos de água. Diante deste cenário, a preocupação do laboratório com a quantidade dos rejeitos do destilador e da osmose reversa, e com os gastos com a reposição dos filtros, membranas e energia elétrica, para se obter água purificada para seus projetos de pesquisas.

Esse projeto visa à reutilização de água proveniente de tratamento biotecnológico (*Bacillus subtilis*) para remoção de BTEX; da água pluvial (5.169,9m<sup>3</sup>/ano), de rejeitos do destilador (90%) e da osmose reversa (80%). A água captada após ser submetida a métodos físico-químicos de beneficiamento, através de uma Unidade Piloto de Beneficiamento de Água (UPIBA), de múltiplos estágios, será utilizada nos equipamentos de Osmose Reversa e Destilador do FBT-FCF-USP, já que, deverá possuir um elevado grau de pureza e um baixo custo.

A sustentabilidade do projeto está relacionada com o aproveitamento as águas dos rejeitos da osmose reversa e do destilador, que a princípio são descartadas para o sistema de esgoto e das águas pluviais decorrente do alto índice pluviométrico anual na cidade de São Paulo (aumento de 25% da média de 1933 a 2002), além do valor econômico para pagamento à concessionária de água e esgoto. O sistema consciente do uso da água através da UPIBA, uma vez que, o lodo e a água provenientes da decantação de tratamento serão incorporados aos cultivos de plantas medicinais, inicialmente por micropropagação e posteriormente em coberturas verdes.

## INTRODUÇÃO

A água, também chamada de solvente universal, não pode ser classificada como um bem finito, não renovável, embora a quantidade total dessa substância no planeta já tenha sido inventariada, pelo ciclo hidrogeológico. O Brasil possui 2,7% da população mundial, porém detém 13% das reservas de água doce do mundo, o que o torna detentor de uma das maiores riquezas do planeta (SETTI, 2001).

No Brasil, a legislação federal através das Portarias: MS 518/04 (BRASIL, 2004) e a MS 2914/2011 (BRASIL, 2011) estabelece os padrões de águas:

- As águas tratadas destinadas a consumo público (padrões de potabilidade);
- As águas limpas destinadas a diversos usos como captação e tratamento para consumo, preservação da flora e da fauna, irrigação (padrões de qualidade em geral ou padrões ambientais); e as águas para contacto humano (padrões de balneabilidade) (BRASIL, 2004).

Os EUA, o Japão e a Comunidade Europeia adotaram como base para qualquer sistema de purificação para uso farmacêutico a água potável, que deve atender aos padrões de potabilidade como componente matéria-prima (MACEDO, 2001). A Farmacopeia Brasileira, na RDC 67/07 no artigo 7.5 estabelece que a água utilizada na manipulação de produtos para fins da saúde é considerada matéria-prima. Esta pode ser produzida pelo próprio estabelecimento, por operações unitárias de purificação da água potável. As instalações e os reservatórios devem ser devidamente protegidos para evitar contaminação. Também, o artigo 7.5.2 define a água purificada aquela utilizada na manipulação e deve ser obtida a partir da água potável. Esta deve ser tratada em sistema que assegure a obtenção da água purificada com especificações reconhecidas pela ANVISA, conforme a legislação vigente. (BRASIL, 2007).

A água potável é matéria prima de diversas áreas, como: químico-farmacêutica, alimentação, têxtil, cervejas e refrigerantes e plástica, havendo especificações próprias para cada setor produtivo, conforme Tabela 1.

Os padrões de potabilidade e microbiológicos da água para consumo público e utilizado como matéria-prima são definidos na Portaria MS 518/04 do Ministério da Saúde e na RDC (ANVISA) 154/04, as quais estabelecem procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água (BRASIL, 2004), com as características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1. Tabela de tipos de águas potáveis para cada uso.

PARÂMETROS	TIPOS DE INDÚSTRIAS					
	Alimentos	Refrigerante	Cerveja	Têxtil	Plástico	Farmacêutica* (Portaria 518/2004)
pH	7,0	7,0	7,0	6,5-7,0	NE	6,0-9,5
Alcalinidade total (mg/L)	NE	50-100	<25	<20	NE	NE
Cloreto de Sódio (mg/L)	NE	NE	200	NE	NE	NE
Cloretos (mg/L)	<250	<250	1 a 20	NE	NE	<250
Cor aparente (uH)	ND	ND	ND	<5	<2	15
Dureza total (mg/L)	<85	<85	18-79	<10	NE	500
Ferro total (mg/L)	ND	ND	<0,2	<0,25	<0,02	0,3
Fluoretos (mg/L)	0,8	0,8	ND	NE	NE	NE
Magnésio (mg/L)	NE	NE	1-6	<0,25	NE	NE
Manganês (mg/L)	ND	ND	<0,2	<0,25	<0,02	0,1
Sabor e odor	Não Objetável	Não Objetável	Não Objetável	NE	NE	Não Objetável
SDT (mg/L)	<500	<500	50-150	NE	NE	<1000
Sulfato de cálcio (mg/L)	NE	NE	100-200	NE	NE	NE
Silica (mg/L)	NE	NE	1-15	NE	NE	NE
Turbidez (UT)	<5	<5	<4	<5	<2	<5
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Ausente	Ausente	Ausente	NE	NE	Ausente
Colif. totais (NMP/100mL)	Ausente	Ausente	Ausente	NE	NE	Ausente

Obs.: \* Valores especificados para água quando submetida a processos de purificação no setor farmacêutico.

Legenda: ND = Não detectável ou ausente,

NE = Não especificado.

FONTE: Adaptado de Santos Filho (1985), Macedo (2001) e Cervesia (2005).

Tabela 2. Características físicas e organolépticas da água potável

CARACTERÍSTICAS	PARAMETRO ACEITAVEL	FREQUÊNCIA
Cor aparente	Incolor	Diária
Turvação	Ausente	Diária
Sabor	Insípido	Diária
Odor	Inodoro	Diária
Cloro Residual livre	Maior que 0,5 mg/l	Diária
pH	6 a 9,5	Diária

No campus universitário da USP-Butantã, o Programa de Uso Racional de Água da Universidade de São Paulo (PURA-USP), tem registrado que a perda de água potável é de 25% daquela disponibilizada através da SABESP (SILVA, 2004).

Em 2009 a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp, 2011) criou o Programa Corporativo de Redução de Perdas de Água, para reduzir a média brasileira de perda de 37% de água para no máximo 15%. A referência mundial de 3% de perdas de água é

registrada no Japão. O índice de perdas de água é calculado pelo volume de água produzido por SABESP em relação ao volume de água faturado (consumido e pago). As perdas são classificadas em físicas (aquelas decorrentes de vazamentos na rede de abastecimento) e perdas de faturamento (aquelas ocasionadas por fraudes, e por submedição; falhas em hidrômetros). A composição do total das perdas da Sabesp é de 16,64% para as perdas físicas e de 8,96% para as perdas de faturamento (Sabesp, 2011). A redução das perdas é prioridade Sabesp, para que seja garantida a segurança do abastecimento na Região Metropolitana de São Paulo, uma região que possui baixa disponibilidade hídrica (quantidade de água disponível para abastecimento por habitante) , 146 mil litros por habitante ao ano, volume muito inferior aos 2,5 milhões de litros anuais recomendados pela ONU. Ações da SABESP reduziram as perdas de 32%, em 2006, para os atuais 25,6%. (SABESP, 02/12), para garantir a continuidade do abastecimento de água potável (PEIXOTO, 2009).

Derivados de petróleo têm sido utilizados nos mais variados seguimentos produtivos (plástico, solventes, produtos farmacêuticos, cosméticos, combustíveis); e o descarte na água, solo e ar são importantes contaminantes do meio ambiente. BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) é um grupo de hidrocarbonetos derivados do petróleo, miscível tem se tornado uma grande preocupação na poluição das águas potável (SABESP) e água do mar, devido à miscível movimentação e toxicidade ao ambiente (MAZZEO; FERNANDES; MARIN-MORALES, 2011, OESP, 2000 a 2012).

Em vista da toxicidade dos hidrocarbonetos ao meio ambiente, seres vivos, vegetal animal e humano, métodos químicos, físicos e biológicos para remediação dos ambientes contaminados por BETX tem demandado avanço nas pesquisas para processos alternativos, eficientes, reprodutíveis, menor descarte químico gerado dos procedimentos, e custo/benefício que justifique o aporte de energia exigido e tecnologia de remediação. A remediação pela adição de compostos químicos (surfactantes) para inativar e/ou eliminar os contaminantes, pode gerar compostos oxidantes corrosivos e/ou explosivos, e, ao final do processo, substâncias nocivas à biota local (CETESB/GTZ).

Segundo a OMS, a necessidade de água potável para o ser humano é cerca de 15%; sendo 85% da demanda de água pode ser suprida por “*não potável*”. No Kuwait, Paris, cidades dos EUA, onde uma rede dupla de abastecimento disponibiliza: água potável e água não potável, destinada ao uso diário comunitário (KOTWICKI e AL-OTAIBI, 2011).

A reutilização da água não potável visa preservar a água potável, para atendimento exclusivo às necessidades, que exigem sua potabilidade e abastecimento humano.

A crise mundial de água potável considerando que 1,2 bilhões de pessoas no mundo carecem de água foi o tema central da Conferência de Água, realizada em Bonn, com participação de 120 países em 2001 (ÁGUA BIO, 2013). Logo, toda fonte de água, que puder ser capturada e beneficiada, para sua reutilização com diferentes finalidades, de acordo com o padrão de potabilidade considerado. Nas grandes metrópoles, surge a necessidade da reutilização ou recuperação local de águas residuárias de construções comunitárias e/ou produtivas, limitando o seu descarte. Com qualidade decrescente dos corpos d'água em função de uma metropolização acentuada, agricultura e pecuária intensivas, e a industrialização crescente, o descarte sem critérios da água causa desabastecimento e custo/benefício insustentável (AQUINO & PALETTA, 2012). Os padrões ambientais ou os padrões microbiológicos para o lançamento de efluentes nos corpos d'água do Brasil, ou às águas brutas destinadas a diversos usos, são definidos pela Resolução CONAMA 357/05 (FERNANDES, 2012).

O laboratório de Microbiologia Aplicada no Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica (FCF-USP) tem a preocupação com descarte em abundância dos equipamentos de tratamento de água (destilador e osmose reversa), para uso racional da água, e seu reaproveitamento; associado à captação das águas pluviais, como fonte natural complementar. Os 08 edifícios da FCF, e um quarto do prédio Semi-Industrial, localizados na Av. Professor Lineu Preste, 580 – Butantã – Cep 05508-000, região oeste da cidade de São Paulo, capital do estado de São Paulo, Brasil. Na latitude 23° 33' 50,63" S e na longitude 46° 43' 24,34" W, na altitude de +/- 755m, possibilita a captação equivalente ao índice pluviométrico anual médio de 1723,3mm, registrados entre 2007 e 2012 (dados do IAG/USP).

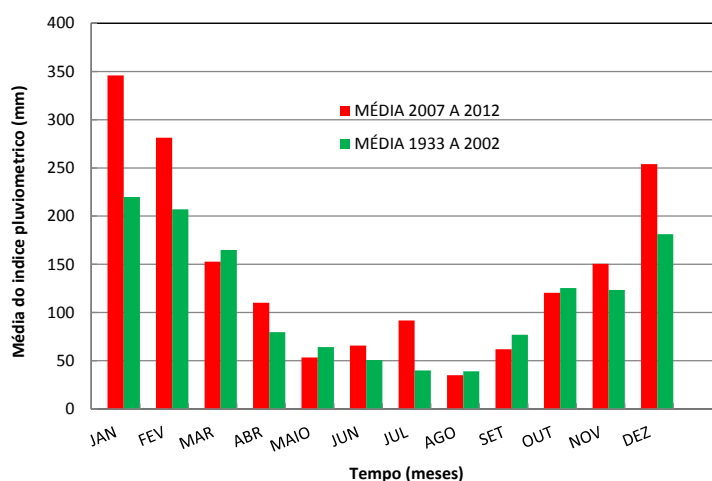


Figura 1. Médias dos índices pluviométricos da Cidade de São Paulo (fonte: Estação Meteorológica IAG/USP - fev/13).

Na figura 1, observa-se que a média anual de 2007 á 2012 é de 1723,3mm, sendo 25,55% superior em volume de precipitações, que a média anual de 1933 á 2002, que foi de 1372,5mm.

## **JUSTIFICATIVA**

Baseado no mau uso, má conservação e falta de conscientização, quanto à utilização e ao descarte da água, faz-se necessário procurar ou ter ao alcance novas fontes para complementar a atual disponibilidade hídrica dentro da FCF-USP.

As águas de abastecimento são frequentemente contaminadas com BTEX e ao mesmo tempo há o desperdício em sistemas de tratamento de água como destiladores e unidades de osmose reversa, a reutilização dos rejeitos destes equipamentos assim como da captação das águas pluviais, após beneficiamento destas fontes de água por procedimentos biotecnológicos e físico-químicos, a um baixo custo, poderá ser interessante alternativa do ponto de vista ambiental e econômico. Sendo o sistema de beneficiamento de água piloto, de fácil manuseio e instalação, o mesmo poderá ser adaptado aos Laboratórios da FCF-USP, onde o rejeito de água é maior do que a água efetivamente consumida.

## **OBJETIVOS**

- Objetivo é utilizar as águas captadas e não potáveis, biotecnologicamente tratadas, contaminadas por BTEX e aquelas águas que são escoadas por ralos e esgotos, dos rejeitos dos equipamentos (destilador e osmose reversa), e as águas pluviais das calhas e condutores, afim de beneficia-las para reutilização.
- A água captada será submetida a procedimentos biotecnológicos e métodos físico-químicos, através de uma Unidade Piloto de Beneficiamento de Água (UPIBA) de múltiplos estágios. Esta unidade (UPIBA) objetiva a melhoria dos aspectos físico-químico-microbiológicos da água não potável, para realimentar o destilador e o equipamento de Osmose Reversa dos laboratórios do FBT-FCF-USP.

## **METODOLOGIA**

### **1. Produção de Biossurfactante em Bioreator utilizando BETX fonte de carbono na depoliuição de água (potável, osmose reversa)**

#### **1.1 Meios aquosos adicionados de BETEX e inoculados com microrganismos produtores de biossurfactantes a partir da fonte de carbono BETEX**

Os meios salinos estudados, com composição apresentada abaixo, são testados: (a) com adição de glicose (2% m/v), extrato de levedura (5% m/v), tolueno ou benzeno ou xileno

(BETEX, 3% - LabSynth) e também (b) sem a adição de glicose e levedura, certificando-se que a fonte de carbono e de nitrogênio estão sendo supridas no próprio meio aquoso estudado como meio de cultivo.

Tabela 3. Meio Bushnell-Haas BH, 110 mOSm (adaptado, BUSHNELL; HAAS, 1941)

<b>SAIS</b>	<b>g.L<sup>-1</sup></b>
Sulfato de Magnésio (MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)	0,2
Cloreto de Cálcio (CaCl <sub>2</sub> )	0,02
Fosfato de Potássio Monobásico (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	1,0
Fosfato de Potássio Dibásico (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	1,0
Nitrato de Amônio (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	1,0
Cloreto Férrico (FeCl <sub>3</sub> )	0,05

1.2 Meio com Baixa Salinidade (BS), 11 mOSm – Composto por 1:10 de BH :água destilada (simulando água de Rejeito);

1.3 Meio Salino Básico, 104 mOSm (adaptado, ROBERT et al., 1989).

<b>SAIS</b>	<b>g.L<sup>-1</sup></b>
Nitrato de Amônio (NaNO <sub>3</sub> )	4,0
Cloreto de Potássio (KCl)	0,1
Fosfato de Potássio Monobásico (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	0,5
Fosfato de Potássio Dibásico (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	1,0
Cloreto de Cálcio (CaCl <sub>2</sub> )	0,01
Sulfato de Magnésio (MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)	0,5
Sulfato Ferroso (FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)	0,01

## **2. Microrganismos estudados para a produção de biossurfactante nos meios aquosos propostos.**

As bactérias estudadas serão *Bacillus subtilis* (ATCC 6051), *Bacillus megatherium* (ATCC 14581), *Bacillus licheniformis* (ATCC 14580) e *Pseudomonas putida* (ATCC 12633). Esta última bactéria será estudada para fins de comparação dos resultados obtidos na biodegradação de hidrocarbonetos em meio aquoso.

Os testes de crescimento com ou sem a presença de hidrocarboneto como fonte de carbono, serão realizados em tubos de ensaio de 20 mL, com meios salinos selecionados quanto à melhor oxigenação (índice K<sub>L</sub>a), 3%(v/) de hidrocarboneto (BETEX) e 2% de inóculo (bactérias selecionadas), que permanecerão em agitador orbital (New Brunswick modelo G-25KC) a 30°C e 200 RPM, por 96 h. A taxa de crescimento microbiano será avaliada por massa seca, triplicata de alíquotas de 5 mL para cada meio fermentado. A produção de biossurfactante será analisada por meio da tensão superficial deprimida no meio aquoso em tensiômetro (Krüss - K9-Mk1).

## **3. Bioreator para tratamento biotecnológico dos meios aquosos adicionados de BETEX.**

Em Bioreator (New Brunswick Scientific BioFlo<sup>®</sup>/Celligen<sup>®</sup> 115) serão adicionados os meios aquosos propostos que são inoculados com cada um dos microrganismos estudados (2% m/v), para cada um dos meios aquosos propostos na proporção de 1,5L; e, em seguida adicionando de 3%(v/v) de hidrocarboneto (Tolueno, Benzeno). Na operacionalidade do bioreator, a temperatura de 30°C, para agitação constante de 200 RPM e aeração na proporção de 1,0 VVM por 96 h, inicialmente programado. Nos tempos pré-estabelecidos, as amostras do meio em fermentação serão coletadas para o acompanhamento em tempo real da tensão superficial, do valor de pH, da osmolaridade, do porcentual turbidimétrico (Densidade Ótica, em 660 nm), massa seca celular, e o decréscimo da concentração inicial de hidrocarbonetos adicionados.

### 3.1 Coefficiente de transferência O<sub>2</sub> (K<sub>L</sub>a)

O coeficiente de transferência de Oxigênio (K<sub>L</sub>a) estudado define as melhores condições de agitação e aeração para o cultivo dos microrganismos nos meios aquosos propostos. Os experimentos serão realizados em três diferentes condições de aeração (0,5; 1,0 e 1,5 VVM), e em quatro condições de agitação diferentes (50, 100, 200 e 300 RPM), na proporção de 1,5L dos meios descritos, na ausência de microrganismos. O oxigênio dissolvido (OD) de cada solução estudada será removido injetando-se nitrogênio (N<sub>2</sub>). No momento em que concentração de OD atingir um valor de aproximadamente 0% de saturação a 30 °C, a injeção de N<sub>2</sub> será interrompida e inicia-se o fornecimento de ar. A evolução dos dados será monitorada, e o registro da concentração de oxigênio a cada 30 s será realizado até valor próximo de 100% (ponto de saturação). Os valores obtidos são utilizados para a equação do balanço de massa do oxigênio num elemento de fluido (1)

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C^* - C) \quad \text{Fórmula (1), de onde, por integração, se tem (2)}$$

$$\ln\left(1 - \frac{C}{C^*}\right) = K_L a \cdot t \quad \text{Fórmula (2),}$$

Onde (C) é a concentração de OD, (C\*) a concentração de saturação e (t) o tempo.

Os valores obtidos são representados no gráfico, em função do tempo, para a determinação do K<sub>L</sub>a (Figura 2).

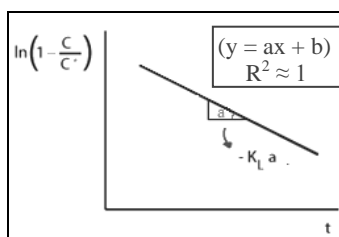


Figura 2. Determinação do K<sub>L</sub>a



A osmolaridade dos meios será avaliada em micro-osmômetro crioscópico Ganotec (Osmomat 030), e será determinada através do ponto de congelamento das amostras. O equipamento é calibrado com solução referência de 300 Osm/kg de NaCl, sendo solução Padrão (Branco), a água destilada. Volume da alíquota é de 50 µL.

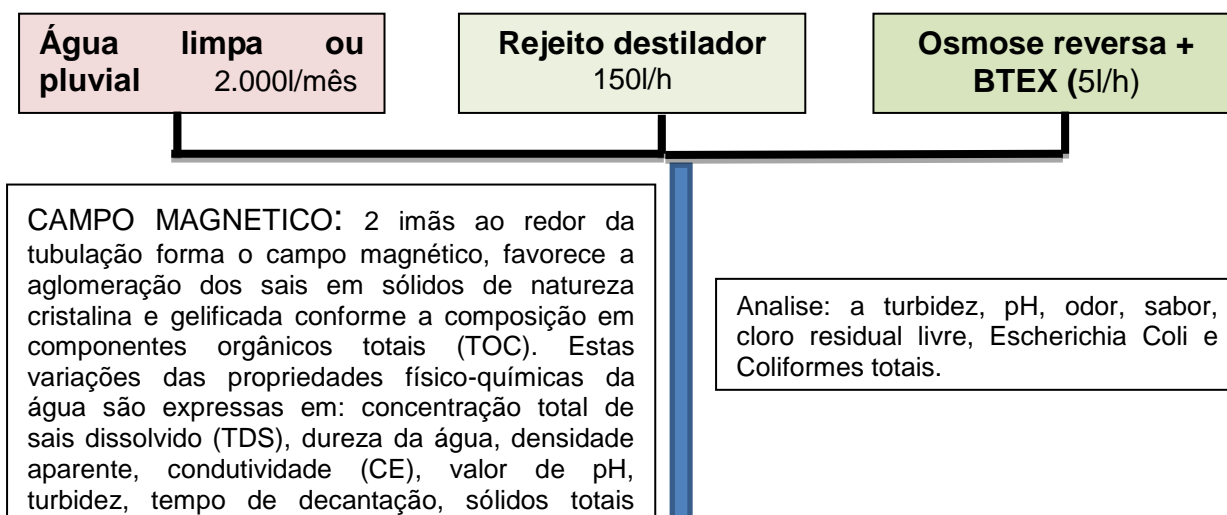
### 3.2 Curva padrão de biossurfactante e efeito da salinidade

Primeiramente diluiu-se o reagente Surfactina (Sigma S3523, originada de *Bacillus subtilis*) na proporção de 1:1 (mg/mL) em água destilada. Para o experimento serão utilizados 2mL de água destilada, adicionado da concentração de surfactina respectiva e sucessivamente de 5, 10, 50, 100, 200 e 500 µg/µL. Para todas as soluções, acrescentam-se 3% (v/V) de hidrocarboneto, os frscoos dispostos em agitador orbital (New Brunswick modelo G-25KC), nas condições de cultivo em bioreator: a 30 °C e 200 RPM. A tensão superficial é registrada no meio na ausência de hidrocarboneto, e na presença do hidrocarboneto, no momento da adição (início: 0,0 h) e após 48 h de ensaio (final). Para avaliar o efeito da salinidade na ação do biossurfactante, o mesmo experimento é realizado utilizando-se alíquotas de 2 mL de cada um dos meios aquosos propostos no presente projeto.

### 3.3 Análise de hidrocarboneto por cromatografia gasosa (CG)

Os ensaios preliminares serão realizados no Setor Técnico de Tratamento de Resíduos Químicos e Solventes, junto ao Instituto de Química, no laboratório de análises cromatográficas, com a colaboração da Técnica Karina Yoshimoto. Inicialmente, a extração do hidrocarboneto será realizada, utilizando-se 1:3 (amostra:clorofórmio), sendo o extrato em clorofórmio injetado (0,5 µL) em Cromatógrafo a gás Agilent (modelo 7820A). A análise da presença de hidrocarboneto será realizada em coluna HP-5 (5% fenil metilsilicone), espessura: 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm (Agilent Technologies). Mantém as condições: temperatura inicial 40°C por 1 minuto e rampa de aquecimento programada até 80°C que a cada acréscimo de 10°C min<sup>-1</sup> estabiliza a temperatura final por 1 minuto. Composição da chama (300:30 mL.min<sup>-1</sup>) Ar sintético : Hidrogênio; Gás de arraste: Hélio a 28,516 mL.min<sup>-1</sup>.

## 4. Fluxograma operacional do UPIBA



**TANQUE DE DECANTAÇÃO:** o tempo de sedimentação é determinado pela vazão de fluxo do sistema. O regime laminar de Reynolds (quase 2.000) é ajustado com a fonte de água captada ou sua mistura, para velocidade de 0,04m/s,

Por diferença de nível e comporta, a água passará para o Tanque de Filtração Aquática.

Análise: a turbidez, pH, odor, sabor, cloro residual livre, Escherichia Coli e Coliformes totais.

Lodo acumulado no Tanque de Decantação será retirado e usado na compostagem do plantio em coberturas verdes

**TANQUE FILTRAÇÃO VEGETAL:** Plantas aquáticas: espécies de aguapés (*Eichornia crassipes*) ou agrião (*Nasturtium officinale*), que reterão pelas suas raízes a poluição ou material em suspensão, fosforo, nitratos, as planta aquática se alimenta destes nutrientes.

A água será bombeada para o Tanque de Filtração Inerte, passando por um filtro UV, para a desinfecção por radiação ultravioleta.

Análise: a turbidez, pH, odor, sabor, cloro residual livre, Escherichia Coli e Coliformes totais.

**TANQUE DE FILTRAÇÃO INERTE:** Camadas de esfera de vidro (como material filtrante inerte) faixa granulométrica de 2mm a 2,8mm, no fundo do tanque, que determinarão da porosidade do leito, sua natureza compatível aos aglomerados formados durante a passagem no campo magnético e sua capacidade de fluidez. O fluxo laminar em número de Reynolds = 2000 (velocidade 0,04m/s - comprimento de 5cm, viscosidade da água  $1,0030 \times 10^{-3}$ , densidade 1kg/l) pela formula  $Re = \rho v D / \nu$ , que seja compatível ao sistema, e compatível ao limite máximo de perda de carga, determinada pela disposição das esferas.

Propriedades das Esferas de Vidro: material soda-cal esfericidade > 90%, transparente sem bolha, densidade  $2,5g/cm^3$ , densidade aparente  $1,7g/cm^3$ , resistência a compressão  $29Kg/mm^2$ , dureza 6Mhoz, modulo Young 70GPa, índice de refração 1,51 - % de sílica livre 0%. Composição química: SiO<sub>2</sub> 70,0 ± 2,0%, NaO+K<sub>2</sub>O 14,0 ± 2,0%, CaO 8,5 ± 1,0%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3,0 ± 1,0%, MgO 3,0 ± 1,0% e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><0,4%

A vida útil das esferas é infinita – A limpeza através de água, em uma peneira, uma vez o material solido não incorpora a esfera. Tempo de manutenção, frequência das lavagens e substituições das mesmas, depende do material carregado pelas chuvas, que conseguem passar pelos tanques anteriores. A água filtrada passará por uma abertura lateral próximo ao fundo do tanque para o Tanque de Ozônio.

As águas dos Tanques de Filtração Vegetal e do Tanque de Filtração Inerte podem ser usadas para regas de jardins, lavagem de passeios, e outros fins como água de reuso.

Análise: a turbidez, pH, odor, sabor, cloro residual livre, Escherichia Coli e Coliformes totais.

**TANQUE DE OZÔNIO 1:** A água é arrastada e agitada por um rotor de pás, o gás ozônio é produzido por um ozonizador de mercado, o gás é adicionado a água, agitado pelo rotor, e tem um sentido obrigatório para passar através de uma comporta (em diferença de nível) para um segundo tanque de ozônio.

**TANQUE DE OZÔNIO 2:** recebe a água forçada do primeiro tanque de ozônio, sistema de roto com pás, agita e movimentação água num sentido obrigatório, retornando ao tanque de ozônio 1, uma comporta de nível, no tanque de ozônio 1, tem a saída da água tratada, com a mesma vazão do fluxo laminar, Os tanques tem a função de fazer com que a água e o ozônio, fique circulando para uma melhor mistura e desinfecção da água.

Análise: a turbidez, pH, odor, sabor, cloro residual livre, Escherichia Coli e Coliformes totais.

**ÁGUA TRATADA:** Reservatório fora do sistema da UPIBA, para armazenar a água tratada, que analisada físico-química e microbiológica, terá diversos usos em várias unidades do laboratório.

#### 4.1.1 A captação da água pluvial

Será feita através de uma conexão em Y invertida, com redução para 50 mm, do coletor das calhas do prédio do Semi-Industrial. A tubulação de 50 mm com registro para controlar o volume, que abastecerá uma caixa d'água, no 1º andar, Laboratório de Microbiologia Aplicada do Departamento de Tecnologia Bioquímica-Farmacêutica-FCF-USP.

O volume de captação de águas pluviais será calculado pelas áreas de coberturas dos prédios e pelos índices pluviométricos da região:

##### Águas pluviais:

O volume de captação das águas pluviais, pela média pluviométrica anual será de:

$$V_{\text{capt}} = V_{\text{pr}} (\text{mm}/\text{m}^2) \times A_{\text{t}} (\text{m}^2) \text{ Fórmula (3)}$$

Sendo:  $V_{\text{capt}}$  = Volume de captação total de uma área em litros;  $V_{\text{pr}}$  = Volume de precipitação em mm por  $\text{m}^2$  (1litro/ $\text{m}^2$ ) e  $A_{\text{t}}$  = Área total que recebe a precipitação para captação em  $\text{m}^2$ .

Será considerado 3 sistemas, para a captação das águas pluviais, para seu armazenamento em:

1. **Macro Sistema:** a área total de cobertura dos prédios da FCF/USP e Semi-industrial:

$$V_{\text{capt}} = 9.400\text{m}^2 \times 1723,3\text{mm} = 16.199.020\text{l/ano} \text{ ou } 16.199,0\text{m}^3/\text{ano} \text{ ou } \mathbf{1.349,98\text{m}^3/\text{mês}}$$

(área estimada - Google Earth).

2. **Meso Sistema:** somente a área de cobertura do Semi-Industrial:

$$V_{\text{capt}} = 3000\text{m}^2 \times 1723,3\text{mm} = 5.169.900\text{l/ano} \text{ ou } 5.169,9\text{m}^3/\text{ano} \text{ ou } \mathbf{430,8\text{m}^3/\text{mês}}$$

(área estimada - Google Earth).

3. **Micro Sistema:** a captação necessária para o projeto piloto no laboratório:

$$V_{\text{capt}} = \mathbf{2,00\text{m}^3/\text{mês}}.$$

As águas pluviais captadas no micro sistema serão armazenadas e utilizadas continuamente, junto com as demais águas de rejeitos, para um fluxo laminar de abastecimento junto ao sistema de tanques do projeto piloto.

#### 4.1.2 Águas de rejeito do destilador

O volume de captação de será calculado da seguinte forma: O Laboratório de Microbiologia Aplicada do Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica da FCF-USP possui 01 destilador de 10L/h: Produção de 10L/h – rejeita 150L/h (93,33%);

O destilador utiliza 160L de água potável/hora, para produzir 10L de água destilada. Os 150L/h de água rejeitada do destilador, serão canalizadas para um reservatório próximo a UPIBA.

#### 4.1.2 Águas de rejeito da osmose reversa

O volume de captação de será calculado da seguinte forma: Produção 1L/h - rejeito de 5 L/h (80%); A osmose reversa utilizada 6L de água potável/hora para produzir 1L de água deionizada. Os 5L/h de água rejeitada da osmose reversa serão canalizadas um reservatório próximo a UPIBA.

$$V_{tf} = R_d + R_o + V_{ch} \text{ Fórmula (4)}$$

Sendo:  $V_{tf}$  = volume total de fluxo (L/h),  $R_d$  = volume do rejeito do destilador (L/h)

$R_o$  = volume da osmose (L/h),  $V_{ap}$  = volume de água de pluvial (L/h).

As água dos 3 reservatórios serão combinadas, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4. Dosagens para estudo das águas captadas.

Águas Captadas	Percentagens					
Pluvial	100	80	60	50	25	10
Destilador	0	20	30	25	50	80
Osmose Reversa	0	0	10	25	25	10

## 5. Coleta de água

A coleta da água será realizada de acordo com a Norma ABNT NBR 15527 / 2007, mensalmente (uma ou duas coletas de água pluvial para análise, no período de chuvas) em caixa de água e tambores. A água pluvial será coletada junto aos condutores provenientes dos telhados do prédio do semi-industrial e as águas dos rejeitos diretamente do equipamento.

## 6. Análise da água

As águas serão analisadas através dos parâmetros das portarias MS 518/04 e MS 2914/11 da ANVISA.

O pH, turbidez, condutividade, cor aparente, alcalinidade total, cloretos, dureza total, ferro total, temperatura, e exame microbiológico (*Escherichia coli* e coliformes totais) serão analisados de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,

de autoria das instituições American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF).

A) pH: será determinado pelo pHmetro.

B) TURBIDEZ: será determinada pelo método Nefelométrico. Será usado um turbidímetro. A água será filtrada por filtro de membrana de 0,45µ. (CORREIA et al.,2008). A turbidez será calculada pela seguinte fórmula:

$$U. N. T. = \frac{A(B + C)}{C} \quad \text{Fórmula (4)}$$

Onde: A = leitura, B = mL água de diluição, C = mL de amostra.

C) CONDUTIVIDADE: será determinada através de condutivímetro digital

D) COLIFORMES: o número de coliformes totais será determinado partir da aplicação da técnica de tubos múltiplos, que consiste na inoculação de volumes decrescentes da amostra em meio de cultura adequado ao crescimento dos microrganismos pesquisados, sendo cada volume inoculado em uma série de tubos. A combinação de resultados positivos e negativos permite a obtenção de uma estimativa da densidade das bactérias pesquisadas, através da aplicação de cálculos de probabilidade. Para análise de água, tem sido utilizado preferencialmente o fator 10 de diluição, sendo inoculados múltiplos e submúltiplos de 1mL da amostra, usando-se séries de 5 tubos para cada volume a ser inoculado.

E) SABOR e ODOR da água: será determinado por meio de um Painel Sensorial (Roda do Gosto e Odor – Figura 3), tomando por princípio o seu aprimoramento efetuado por Krasner et al (1985) e Bartels et al (1987). A classificação será efetuada de acordo com a metodologia sugerida por AWWA (1987) e Burlingame et al (1991), sendo um total de quatro e oito classificações para gosto e odor, respectivamente. Esta mesma Roda de Gosto e Odor (Figura 2) foi posteriormente simplificada e traduzida por Mautone et al (2004) para a língua portuguesa, a fim de facilitar o trabalho dos técnicos no Brasil (FILHO & ALVES, 2006).



Figura 3. Roda do Gosto e Odor simplificado (Mautone et al, 2004)

F) RCL – Cloro Residual Livre: a portaria MS 518/2004, regulamenta os níveis de cloro residual livre (RCL) aceitáveis (cloro residual livre igual a 0,5 mg/L). A quantidade de cloro livre será medida por um aparelho composto de um sensor amperométrico, que consiste de três eletrodos (um cátodo, um ânodo, e um eletrodo de referência) (PIEREZAN, 2009).

## RESULTADOS ESPERADOS

O resultado esperado é que os rejeitos de todos os destiladores e dos equipamentos de osmose reversa possam ser beneficiados pelo processamento através da UPIBA junto com as águas pluviais coletadas no campus da USP, diminuindo o desperdício de água que é descartada diretamente no esgoto e através desse beneficiamento aumentar o grau de pureza dessas águas economizando no processo de destilação e de osmose reversa em filtros, membranas, energia elétrica, consumo de água proveniente da SABESP e tempo, com isso aumentando a produtividade de água com um grau de pureza maior. Além disso, a descontaminação da água com BTEX, por métodos microbiológicos, reduzindo a emissão desses no solo e nos corpos de água dos campus universitário.

## ORÇAMENTO

UPIBA : .....R\$20.815,00

<i>Reservatório 250L</i>	<i>R\$ 150,00</i>
<i>Reservatório (tambor) 100L</i>	<i>R\$ 400,00</i>
<i>Reservatório (tambor) 20L</i>	<i>R\$ 85,00</i>
<i>Tubulações e acessórios em pvc de 25mm</i>	<i>R\$ 100,00</i>
<i>Imãs / mudas de aguapés</i>	<i>R\$ 200,00</i>
<i>Bomba FP 48para filtro Hopar UV 18W</i>	<i>R\$ 220,00</i>
<i>Filtro Hopar UV 18W (2 unidades)</i>	<i>R\$ 1.480,00</i>
<i>25 kg de esfera de 2mm (2 vezes)</i>	<i>R\$ 1.470,00</i>
<i>2 rotores de pás de bomba Jato 400 (2 pares manutenção)</i>	<i>R\$ 1.200,00</i>
<i>Reservatório de água tratada: tambor e embalagens plásticas</i>	<i>R\$ 1.200,00</i>
<i>Equipamento de Ozônio 100MGH de luxe</i>	<i>R\$ 5.250,00</i>
<i>Estrutura do piloto1000mm x 1000mm acrílico</i>	<i>R\$ 4.860,00</i>
<i>Infr a estrutura (mão de obra)</i>	<i>R\$ 3.200,00</i>

Equipamentos R0515213 TDS – pH – Condutivímetro-.....	R\$ 8.980,00
Equipamento de Turbidez.....	R\$ 3.220,00
Maquina Sartorius.....	R\$ 4.635,00
Vidraria/Kit Microbiológicos. ....	R\$ 2.450,00
Dosadores para fluidos.(3 unid x R\$2000,00).....	R\$ 6.000,00
Serviços de terceiros/ Deslocamento.....	R\$ 4.000,00
Total.....	R\$ 50.000,00

TANQUES

DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO FILTRAÇÃO CORREÇÃO  
VEGETAL MATERIAL INERTE 1 OZÔNIO 2

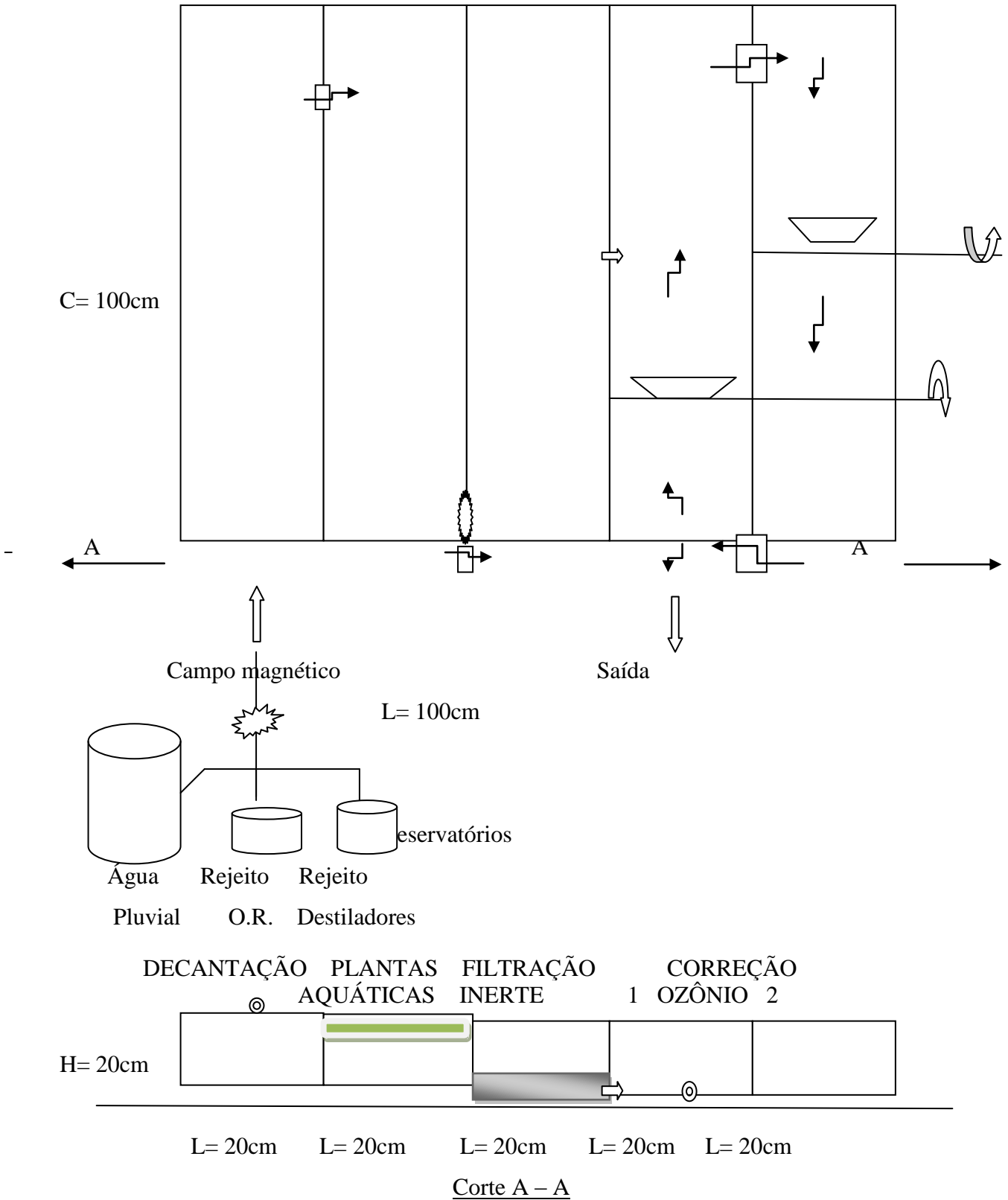


Figura 4. Esquema da UNIDADE PILOTO DE BENEFICIAMENTO DE ÁGUA (UPIBA).



## CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Atividades	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
Construção, e operação UPIBA	X	X	X									
Biodegradação de BETEX nos meios aquosos		X	X	X	X	X	X	X		X		
Aquisição de Equipamento	X	X	X		X		X			X		
Coleta de Água Pluvial			X	X	X	X	X	X				
Coletas de Água Osmose Reversa / Destilador		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Testes em sistemas acoplados ao UPIBA			X	X	X	X	X	X	X	X		
Resultados e análises de dados			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elaboração Relatórios e artigos						X						X

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUA BIO, [http://www.agua.bio.br/botao\\_d\\_O.htm](http://www.agua.bio.br/botao_d_O.htm) (acessado em 11/05/13).
2. AQUINO, A.R.; PALETTA, F.C. Água: Acesso decrescente e importância crescente. Ver. Bras. Pesq. Des., v.14, n.1, p. 15-21, 2012.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Resolução-RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Resolução-RDC nº 154, de 15 de Junho de 2004. Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento dos serviços de diálise.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece a qualidade da água para o consumo humano.

6. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Resolução-RDC nº 67, de 08 de outubro de 2007. Estabelece Boas Práticas de Manipulação de Preparações Magistrais e Oficiais para Uso Humano em farmácias.
7. BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Portaria nº 2914, 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.
8. BUSHNELL, L. D.; HAAS, H. F. The utilization of certain hidrocarbons by microorganisms. *Journal of Bacteriology*, v. 41, p. 653 – 673, 1941.
9. CÂMARA, H. F. da. A “tragédia da hemodiálise” 12 anos depois: poderia ela ser evitada?/ Henrique Fernandes da Câmara Neto. – Recife: H. F. Câmara Neto, 2011.
10. CORREIA, A., BARROS, E., SILVA, J., RAMALHO, J. Depto de Sistemas de Informação, FASETE, 48601-180, Paulo Afonso, BA, 2008.
11. FERNANDES, V.M.C. Padrões para reuso de águas resudiárias em ambientes urbanos, [www.upf.br/coaju/download/padroesreusoaguaII.pdf](http://www.upf.br/coaju/download/padroesreusoaguaII.pdf) .
12. FERREIRA FILHO, S.S.; ALVES R. Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores – São Paulo 2006.
13. KOTWICKI, V.; AL-OTAIBI M., Drinking water saving potential of dual networks in Kuwait – Safat – Kwait, 2011.
14. MACEDO, J. A. B. Águas & Águas. São Paulo: Varela, 2001.
15. MAZZEO, D. E. C.; FERNANDES, T. C. C.; MARIN-MORALES, M. A. Cellular damages in the Allium cepa test system, caused by BTEX mixture prior and after biodegradation process. *Chemosphere*, v. 85, p. 13–18, 2011
16. OESP. O Estado de São Paulo. São Paulo, SP. 2000 a 2012. Diário. ISSN: 1516-294-X.
17. PEIXOTO, L. M., Requisitos e critérios de desempenho e sistema de água não potável de edifícios residenciais/ L. M. Peixoto. – ed. Ver. – São Paulo, 2009.
18. PIEREZAN, M. L. Monitoramento contínuo do residual do cloro em sistemas de distribuição de água para abastecimento. Campo Grande, MS, 2009.
19. ROBERT, M. et al. Effect of the carbon source on biosurfactant production by *Pseudomonas aeruginosa* 44T1. *Biotechnology Letters*, Dordrecht, v.11, n.12, p.871-874, 1989.

20. SABESP 02/2012 [http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=217801&c=5328&q=Sabesp+firma+contrato+n%E\\$+440+micom+o+Jap%E3o](http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=217801&c=5328&q=Sabesp+firma+contrato+n%E$+440+micom+o+Jap%E3o) (acessado: 21/05/2012)
21. SABESP Fonte: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=4> (acessado 05/06/12).
22. SETTI, A.A. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. Brasília: ANAEE; ANA, p. 328, 2001.
23. SILVA, G.S. Programas permanentes de uso racional da água em campi universitários: O Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2004.