

Barreiras múltiplas no tratamento de água para abastecimento



Prof. José Carlos Mierzwa

mierzwa@usp.br

Rio Claro, 25 de maio de 2017



Fundamentos

► Barreiras múltiplas:

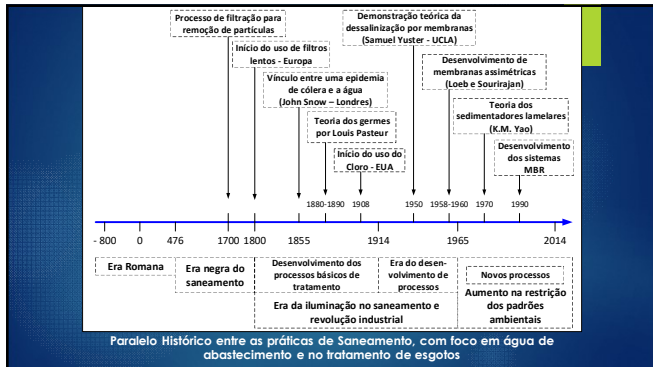
- Elementos da estrutura de abastecimento público de água para assegurar a sua qualidade para o uso final.

► Objetivo:

- Minimizar o risco à saúde da população, garantindo o fornecimento de uma água intrinsecamente segura dos pontos de vista:
 - Físico;
 - Microbiológico;
 - Químico.

Conceitos sobre abastecimento de água

- Como o ser humano vem se relacionando com a água ao longo do tempo?
- Que conceitos ou critérios foram utilizados no passado para a utilização de água para abastecimento?
- O que ocorreu com o passar do tempo?







Relatório CETESB de Qualidade de Águas Superficiais - 2014

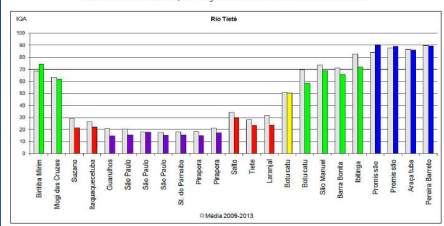
Tabela 1 – Percentagem da população atendida pela coleta e pelo tratamento de esgotos e ICTEM nas áreas urbanas das 22 USRBs.

Número	USRB	Descrição	População Urbana	Saneamento Básico		Carga Remanescente no Rio	ICTEM
				Coleta	Tratamento		
1	Mantiqueira		58.451	70	100	1.360	2,14
2	Paulista de Set.		1.564.762	95	81	58.015	5,75
3	Itororê		266.452	49	88	11.046	4,36
4	Pardo		1.132.342	98	89	17.468	2,62
5	Paracatu		5.588.059	95	86	198.560	6,44
6	225-226		23.529.224	95	92	189.176	5,53
7	Ribeirão Preto		1.277.881	71	53	84.215	2,81
8	Itapetininga		672.641	100	95	4.580	3,80
9	Itapetininga		1.451.547	98	57	46.403	3,42
10	Itapetininga		1.271.827	88	80	32.981	2,14
11	Ribeirão Preto		201.449	100	91	8.782	5,76
12	São Carlos		333.028	100	82	7.822	6,82
13	Itapetininga		1.518.005	98	76	45.576	3,88
14	São Carlos		609.844	91	86	19.651	4,37
15	Itapetininga		1.221.628	98	94	17.796	2,87
16	Itapetininga		497.683	96	87	10.162	5,85
17	São Carlos		641.115	95	85	8.979	7,84
18	São José dos Campos		160.827	95	100	2.495	8,22
19	São José		734.421	98	89	9.400	8,17
20	Itapetininga		339.519	98	100	3.447	8,67
21	Piracicaba		438.055	89	87	14.005	5,95
22	São José do Rio Preto		465.140	100	96	5.200	8,30
	Estado de São Paulo		42.228.839	95	81	1.099.931	6,38

Fonte: <http://apareceres.cetesb.org.br/web-content/sistema/relatorio/2014/relatorio-de-qualidade-de-aguas-superficiais-2014.pdf>

Impacto da Falta de Tratamento de Esgotos na Disponibilidade Hídrica

Gráfico 4.51- Perfil do IQA ao longo do Rio Tietê em 2014 e nos últimos 5 anos.



Perfil do IQA ao longo do Rio Tietê em 2014

Fonte: Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014 (recurso eletrônico) / CETESB. -- São Paulo : CETESB, 2015.

Problemas atuais associados à qualidade da água

Database Counter acesso em 05/03/2014

In addition to organic and inorganic substances, REGISTRY has:

REGISTRY 18,523,498 substances

CAS RN 180,298,414-6 is the most recent CAS Registry Number

CAS also provides specialized databases of chemical reactions, regulated chemicals, commercially available chemicals and Markush substance information.

Specialized Substance Collections Count

CASREACT⁽¹⁾ 71,828,088 Single and multi-step reactions, and synthetic preparations

CHEMIST⁽¹⁾ 188,978 Invented/regulated substances

CHEMREG⁽¹⁾ 47,198,778 Commercially available chemicals

CHEMSTR⁽¹⁾ 403,382 Commercial Markush structures

(1) More information on CASREACT statistics.

Em pouco mais de um ano:

Aumento de quase 50% no número de substâncias disponíveis comercialmente.

Database Counter acesso em 23/02/2016

In addition to organic and inorganic substances, REGISTRY has:

REGISTRY 86,969,759 substances

CAS RN 197,243,464-0 is the most recent CAS Registry Number

CAS also provides specialized databases of chemical reactions, regulated chemicals, commercially available chemicals and Markush substance information.

Specialized Substance Collections Count

CASREACT⁽¹⁾ 86,492,064 Single and multi-step reactions, and synthetic preparations

CHEMIST⁽¹⁾ 345,462 Invented/regulated substances

CHEMREG⁽¹⁾ 192,519,642 Commercially available chemicals

CHEMSTR⁽¹⁾ 1,114,092 Searchable Markush structures

(1) More information on CASREACT statistics.

<http://www.cas.org/content/cas>

AP: Drugs found in drinking water

Updated 07/22/2016 2:02 PM

By Jeff Davis, Martha Mendoza and Justin Pritchard, Associated Press



At the Orange County Sanitation District, a settling basin is used to filter water as part of the advanced wastewater treatment system for water in Southern California, in Fountain Valley, Calif. Pharmaceuticals in water are among the emerging threats across the nation and around the globe, research shows.

By Rex Francis, AP

A vast array of pharmaceuticals — including antibiotics, anti-cancer drugs, mood stabilizers and painkillers — have been found in the drinking water supplies of at least 41 million Americans, an Associated Press investigation shows.

To be sure, the concentrations of these pharmaceuticals are tiny, measured in quantities of parts per billion or trillion. Yet before the levels of a medicine show, also, whether reach their water is safe.

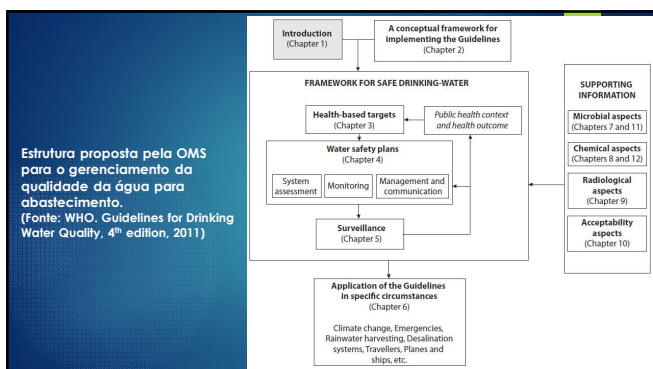
WATER DEPARTMENTS: Reports rarely released to public.

BOTTLED WATER: Is it any safer?

NEW YORK CITY: Sedative traces found in water.

LOS ANGELES: Water tops national trade list.

<http://www.nbcnews.com/video/nbc-news/23558929#23558925>



Abordagem para a adoção do conceito de barreiras múltiplas

- ▶ Baseada na ferramenta de avaliação de perigos e pontos críticos de controle;
- ▶ Definição da estrutura integrante do sistema de abastecimento de água;
- ▶ Identificação de perigos associados ao abastecimento de água para abastecimento;
- ▶ Definição dos pontos críticos do sistema;
- ▶ Definição de ações de controle.

Princípios da Ferramenta de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)

- ▶ Princípio 1 – Análise dos Perigos e medidas preventivas
- ▶ Princípio 2 – Identificação dos Pontos Críticos de Controle do processo.
- ▶ Princípio 3 – Estabelecimento de limites críticos.
- ▶ Princípio 4 – Estabelecimento de procedimentos de monitoração
- ▶ Princípio 5 – Estabelecimento de ações corretivas
- ▶ Princípio 6 – Estabelecimento de procedimento de verificação
- ▶ Princípio 7 – Estabelecimento de procedimento de controle de registros.

Definição de Perigo e Ponto Crítico de Controle

- ▶ **Perigo:** é um agente de natureza biológica, física, química ou condição do sistema de produção de água com o potencial de causar um efeito adverso na saúde.
- ▶ **Ponto crítico de controle:** é a etapa no processo onde um controle deve ser aplicado, essencial para prevenir, eliminar ou reduzir a um nível aceitável, o risco associado a um perigo.

Referência: NBR 14.900/2002 – Sistemas de gestão da análise de perigos e pontos críticos de controle – Segurança de alimentos.

Tópico para discussão 1 (10 minutos)

- ▶ Quais os principais perigos associados aos sistemas de abastecimento de água?
- ▶ Apresentar os perigos potenciais relacionados ao sistema de abastecimento de água para fins potáveis.

Perigos associados ao sistema de abastecimento público

- ▶ Presença de agentes infecciosos;
- ▶ Presença de contaminantes químicos;
- ▶ Presença de substâncias que afetem as características organolépticas da água;
- ▶ Desabastecimento;

Tópico para discussão 2 (10 minutos)

- ▶ Para os perigos identificados, quais os principais pontos de controle?
- ▶ Levando-se em consideração os componentes que integram o sistema de abastecimento de água, quais seriam os pontos que necessitam de controle?

Pontos críticos de controle no sistema de abastecimento de água

- ▶ Mais contemplados:
 - Manancial;
 - Sistema de adução de água até a estação de tratamento;
 - Sistema de tratamento de água;
 - Sistema de armazenagem e distribuição;
 - Reservatórios residenciais.
- ▶ Pouco considerados:
 - Coleta e tratamento de esgotos;
 - Lançamento de efluentes nos mananciais;
 - Drenagem de áreas urbanas e agrícolas.



Principais barreiras preconizadas nos planos de segurança da água

1. Mananciais protegidos:
 1. Planos de uso e ocupação do solo devem prever a proteção das áreas de mananciais.
2. Definição de padrões de qualidade:
 1. Ministério da saúde define padrões baseados nas diretrizes da OMS;
 2. Critérios baseados na avaliação individual dos riscos associados aos agentes de perigo.
3. Estrutura de tratamento de água:
 1. A maioria dos sistemas de tratamento no Brasil utilizam tecnologias do pré-guerra.

Principais barreiras preconizadas (cont.)

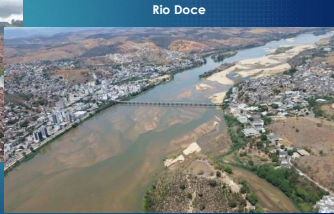
4. Integridade da estrutura de distribuição:
 1. Manutenção de pressão hidráulica positiva no interior da rede;
 2. A falha no fornecimento compromete a sua eficiência.
5. Monitoramento:
 1. Coleta e análise periódica de amostras em pontos críticos da estrutura de abastecimento;
 2. Problemas para assegurar um monitoramento adequado em todo o país.
6. Manutenção periódica de reservatórios e redes de distribuição:
 1. Necessidade de programas de sanitização das estruturas de armazenagem e distribuição de água.

Barreira 1: Manancial protegido

- ▶ A maioria dos mananciais utilizados para abastecimento não são protegidos.



Reservatório Guarapiranga



Rio Doce

Barreira 2: Definição de padrões de qualidade

- ▶ A variedade de substâncias químicas disponíveis comercialmente inviabiliza o monitoramento adequado da qualidade da água;
- ▶ Atualmente a portaria do Ministério da Saúde Controla algo em torno de 100 variáveis de qualidade.

Barreira 3: Estrutura de tratamento de água

- ▶ A maioria das estações de tratamento de água utilizam o sistema convencional de tratamento de água;
 - ▶ Desenvolvido antes da Segunda Guerra Mundial.
- ▶ As técnicas de tratamento comumente utilizadas não afetam diversos contaminantes potencialmente presentes no mananciais.

Barreiras 4 (integridade das estruturas), 5 (Monitoramento) e 6 (Manutenção de redes de reservatórios)

- ▶ Não são suficientes para assegurar a oferta de uma água intrinsecamente segura;
- ▶ Aumento no risco de doenças associados ao uso da água;
- ▶ Necessidade de uma nova abordagem para a produção e monitoramento de água para abastecimento público.

Falta de atenção aos Pontos Críticos relacionados aos esgotos

- ▶ As ações relacionadas ao abastecimento de água são completamente desvinculadas dos problemas com os esgotos;
- ▶ Os principais problemas relacionados à presença de compostos químicos e agentes biológicos nos mananciais têm a sua origem nos esgotos, ou drenagem superficial;
- ▶ A escassez de água resulta na utilização de fontes com a qualidade comprometida.

Abordagem a ser utilizada

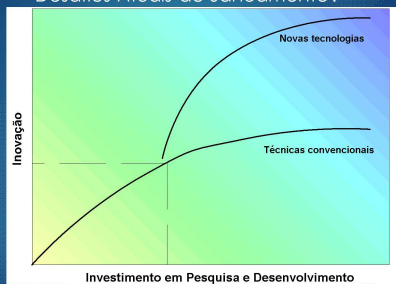
- ▶ Estabelecimento de padrões de qualidade com base em parâmetros que representem grupos específicos de contaminantes;
- ▶ Utilização de ensaios para avaliação de efeitos potenciais na saúde humana considerando-se a ação conjunta de diversos contaminantes:
 - ▶ Ensaio de toxicidade;
 - ▶ Ensaios de estrogenicidade e androgenicidade.
- ▶ Utilização de novas tecnologias para tratamento de água e efluentes;
- ▶ Controle na fonte de contaminantes críticos.

Padrões de Qualidade da Água Purificada e da Água para Injetáveis

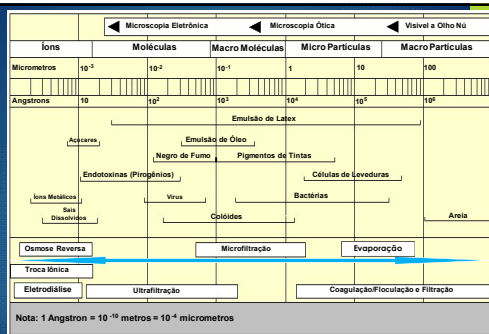
Parâmetro	Água Purificada	Água para Injetáveis
pH	5 a 7	5 a 7
Condutividade Elétrica	Estágio 1: $\leq 1,3 \mu\text{S/cm}$	
	Estágio 2: $\leq 2,1 \mu\text{S/cm}$	
	Estágio 3: valor associado à medida do pH	
Carbono Orgânico Total*	500 partes por bilhão (ppb)	
Bactérias**	100 UFC/mL	10 UFC/mL
Endotoxinas	--	< 0,25 UE

* Pode-se utilizar o teste para substâncias oxidáveis em substituição a este parâmetro.
 ** Somente como recomendação

Qual a relevância da Inovação Tecnológica para os Desafios Atuais do Saneamento?



Relação entre inovação e investimento em P&D na atualidade



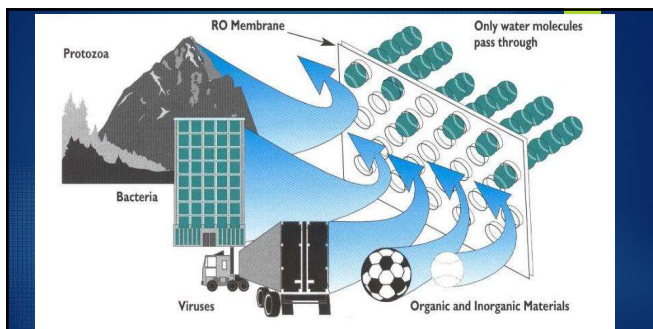
Nota: 1 Angstrom = 10^{-10} metros = 10^{-4} micrometros

Técnicas de Tratamento em Função do Contaminante

Opções tecnológicas para tratamento de águas e esgotos

Tecnologia	Classe de contaminante				
	CID	GID	COD	SS	Bactérias e vírus
Evaporação	E / B	NE	B	E	E
Troca iônica e eletrodeionização e eletrodialise	E	E	NA	NA	NA
Osmose reversa	B	NA	B	E	E
Adsorção em carvão ativado	NA	NA	E / B	NA	NA
Radiação ultravioleta	NA	NA	NA	NA	B / E
Sistema convencional de tratamento de água	NA	NA	NA	E	E
Micro e ultrafiltração	NA	NA	B	E	E
Oxidação química/fotoquímica	NA	NA	E / B	NA	E
Sistemas biológicos de tratamento	NA	NA	B / E	B	NA

E = Eficiente; B = Bom; NE = Não afeta o contaminante
 CID – Compostos Inorgânicos Dissolvidos; GID – Gases Ionizáveis Dissolvidos; COD – Compostos Orgânicos Dissolvidos; SS – Sólidos em suspensão.



Capacidade de Separação de Contaminantes do Sistema de Osmose Reversa

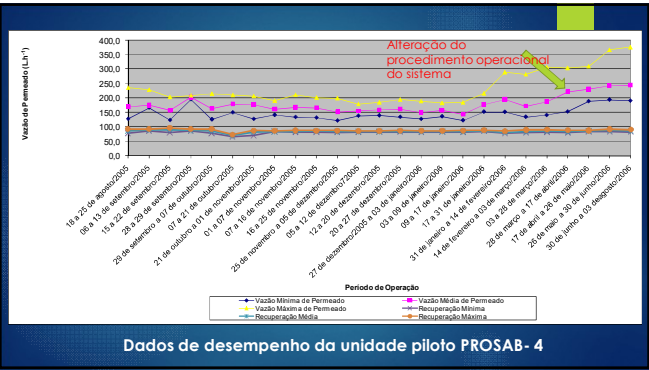
Pesquisas relacionadas à aplicação e modificação de membranas - Histórico

- ▶ 2004 – Início das pesquisas com membranas para tratamento de água – PROSAB-4 e 5;
- ▶ 2008 - Pesquisa iniciada no Laboratório do Centro Internacional de Reuso de Água – CIRRA para modificação de membranas:
 - ▶ Obtenção de patente no Brasil relacionada à membranas modificadas com argila;
 - ▶ Não foram feitos ensaios de desempenho para avaliar fluxo ou capacidade de separação.
- ▶ 2011 - Desenvolvimento de pesquisa em colaboração com a Escola de Engenharia e Ciências Aplicadas de Harvard:
 - ▶ Modificação de membranas de Polietilenoforma com nanopartículas de argila;
 - ▶ Obtenção de patente internacional e nos EUA.
- 2012 - Pesquisa de aplicação de membranas modificadas com nanopartículas de argila para tratamento de esgotos;
- 2014 – Início de pesquisas para a produção de membranas condutivas para processo simultâneo de oxidação eletroquímica e filtração;
- 2016 – Desenvolvimento de Pesquisa para a produção de de água potável a partir de esgotos domésticos tratados:
 - Projeto em parceria com a Companhia de Saneamento do Município de Campinas e Comitê de Bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

Resultados PROSAB – 4 e 5

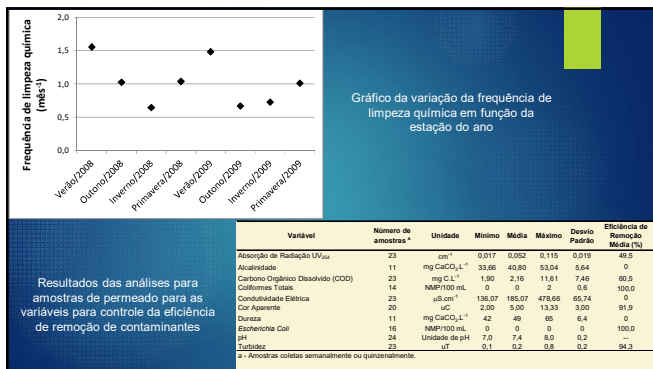
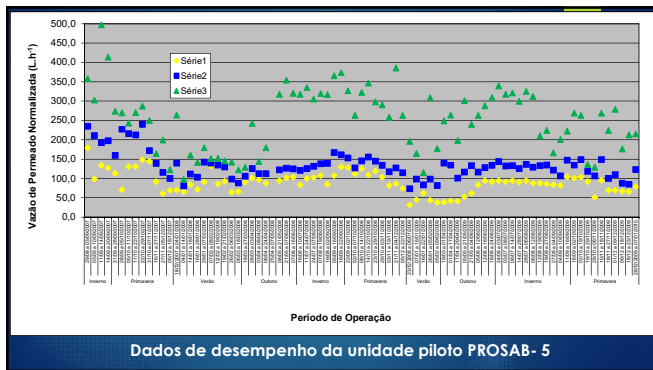
- ▶ **PROSAB-4:**
 - ▶ Avaliação do tratamento direto de água para abastecimento pelo processo de ultrafiltração;
 - ▶ Instalação de unidade piloto no Reservatório Guarapiranga;
 - ▶ Avaliação do desempenho do sistema por um período de 1 ano (2005/2006);
 - ▶ Identificação e adoção de procedimentos operacionais para aumento do desempenho do sistema.
- ▶ **PROSAB-5:**
 - ▶ Reconfiguração do sistema de ultrafiltração → membrana menos restritiva e maior nível de automação;
 - ▶ Definição de parâmetros de operação otimizados;
 - ▶ Avaliação da remoção de desreguladores endócrinos.





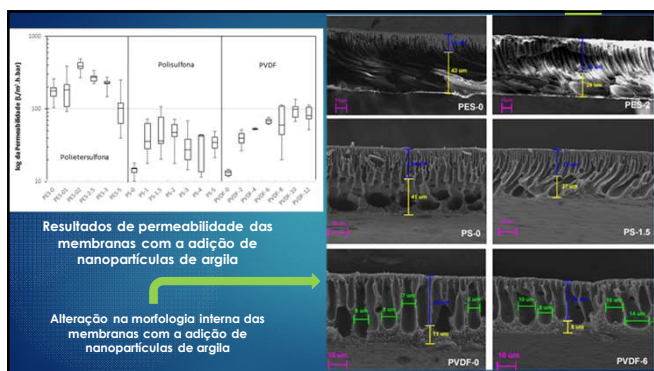
Resultados das análises de amostras do permeado realizadas pela SABESP (Setembro de 2005 a Março de 2006)						
Variável	Nº de Amostras	Média	Valores Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Eficiência de Remoção (%)
Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	79	31,48	26,00	36,00	2,07	5,24%
Carbono Orgânico Total (mg C.L ⁻¹)	24	1,08	0,29	2,10	0,59	76,37%
Coliformes Totais (NMP.100 mL ⁻¹)	18	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	100,00%
Contagem de Algas (UPA.mL ⁻¹)	27	7,60E-01	0,00E+00	3,73E+00	9,40E-01	99,99%
Cor aparente (mg Pt.Coil)	80	3,7	2,5	5,0	1,25	88,79%
Escherichia Coli (NMP.100 mL ⁻¹)	18	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	100,00%
Ferro (mg Fe.L ⁻¹)	81	0,01	0,00	0,11	0,02	50,00%
Manganês (mg Mn.L ⁻¹)	81	0,01	0,00	0,13	0,02	66,67%
pH (unidades)	82	7,24	6,80	7,60	0,17	—
Turbidez (uT)	82	0,13	0,07	0,55	0,07	95,50%

Resultados das análises de amostras do permeado, realizadas pelo CIRRA (Agosto de 2005 a Abril de 2006)						
Variáveis	Nº de Amostras	Média	Valores Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Eficiência média de Remoção (%)
Absorção de Radiação UV (cm ⁻¹)	17	0,03	0,02	0,08	0,01	66,7%
Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	20	37,02	31,35	41,28	2,15	9,7%
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	25	133,92	105,00	159,30	14,45	5,6%
Cor aparente (mg Pt.Coil.L ⁻¹)	22	1,8	< 1	3,5	1,27	93,7%
Dureza total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	22	29,80	25,26	35,90	2,27	10,7%
Fósforo Total (mg P.L ⁻¹)	11	0,02	< 0,01	0,04	0,01	33,3%
Microcistinas (µg.L ⁻¹)	12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	—	—
Nitrogênio Ammoniacal (mg N.L ⁻¹)	10	0,19	0,09	0,63	0,16	—
Nitrogênio Kjeldahl (mg N.L ⁻¹)	12	0,83	0,09	2,49	0,67	54,6%
Nitrogênio orgânico (mg N.L ⁻¹)	9	0,60	0,28	1,85	0,48	53,8%
pH (unidades)	23	7,38	6,84	7,89	0,22	—
Turbidez (uT)	21	0,20	0,05	0,47	0,12	59,4%



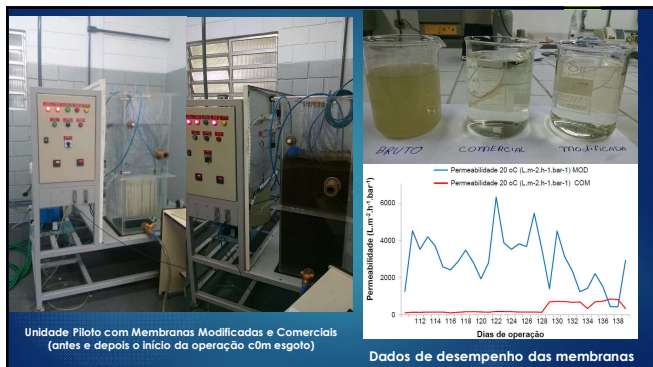
Modificação de membranas com nanopartículas de argila

- ▶ Uso de nanopartículas de argila para melhoria do desempenho de membranas de ultrafiltração;
- ▶ Polímeros utilizados:
 - ▶ Polietersulfona;
 - ▶ Polisulfona;
 - ▶ Fluoreto de polivinilideno.
- ▶ Objetivo:
 - ▶ Alterar a morfologia das membranas e suas propriedades físico químicas para reduzir a ocorrência de depósitos e aumentar a sua permeabilidade;
 - ▶ Avaliar as membranas para o tratamento de água e esgotos.



MONTAGEM DO MÓDULO DE MEMBRANAS (PLACAS PLANAS)







Projeto de Reúso de Água Potável da SANASA/Campinas

- Proposta de avaliação de sistema de tratamento para produção de água de reúso potável a partir de esgotos domésticos tratados;
- Instalação de um sistema piloto para avaliar processos complementares de tratamento do efluente de um sistema MBR;
- Avaliar a eficiência de tratamento e remoção de compostos orgânicos com potencial estrogênico e androgênico.

	Osmose + Cloração					Osmose + Carvão + Cloração					Osmose + UV + Cloração					Osmose + UV + Carvão + Cloração				
	13/jul	20/jul	27/jul	03/ago	10/ago	17/ago	24/ago	31/ago	06/set		13/jul	20/jul	27/jul	03/ago	10/ago	17/ago	24/ago	31/ago	06/set	
A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1		A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	
CE20	ND	76,97	15,52	ND	9,72	ND	25,06	ND	24,51	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	43,87	ND	ND
CE50	ND	ND	65,6	ND	29,31	ND	66,09	ND	53,09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LT	ND	ND	1,52	ND	1,41	ND	1,53	ND	1,86	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
FT	1	2	8	1	16	1	4	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1
Salinidade	2	0	0	2	0	2	2	0	2	2	2	2	1	1	1	0	0	1	1	
pH	6,96	6,69	6,23	6,27	6,31	5,17	5,33	6,33	6,39	6,45	4,78	4,77	5,46	5,55	6,17	6,25	5,35	5,35		

LT = Unidade Toxicológica
 FT = Fator de diluição em que não se observa efeito tóxico
 CE 20 = concentração efetiva da amostra que causa 20% de inibição na bioluminescência de microrganismos
 CE 50 = concentração efetiva da amostra que causa 50% de inibição na bioluminescência de microrganismos

Resultados de Toxicidade Química das Amostras da Unidade Piloto

Desafios de uma nova legislação para controle da qualidade da água para abastecimento

- Compreensão da complexidade para assegurar a qualidade da água dos mananciais;
- O fato de se monitorar um conjunto específico de variáveis de qualidade não assegura a sua adequação para uso;
- A legislação deve levar em consideração os avanços tecnológicos e incentivar o seu desenvolvimento.
- Necessidade de programas de monitoramento baseados em ensaios capazes de avaliar o efeito sinérgico dos contaminantes sobre a saúde humana;
- Uso de tecnologias mais eficientes para enfrentar os desafios relacionados à proteção de mananciais e tratamento de água para abastecimento.

Muito obrigado pela atenção!