

PALESTRA 9: ÁGUA PARA REÚSO

Abertas as inscrições para o ciclo de palestras "Os desafios do Saneamento"

Palestra 9: Água para Reúso



Ricardo Franci

INSCRIÇÕES GRATUITAS

Iniciativa e patrocínio:



Ricardo Franci Gonçalves

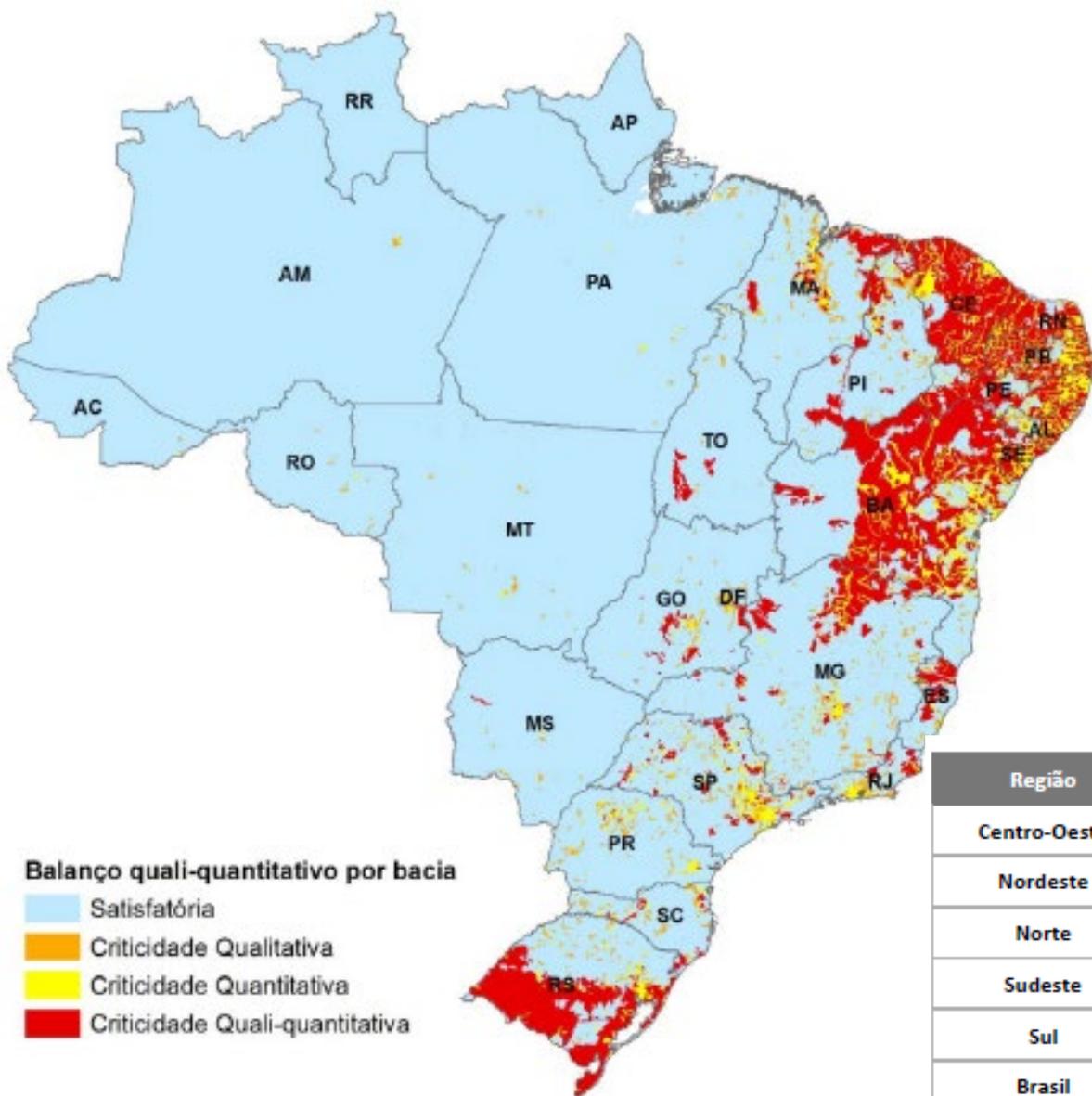
Prof. Titular, D.Ing.

DEA – CT – UFES

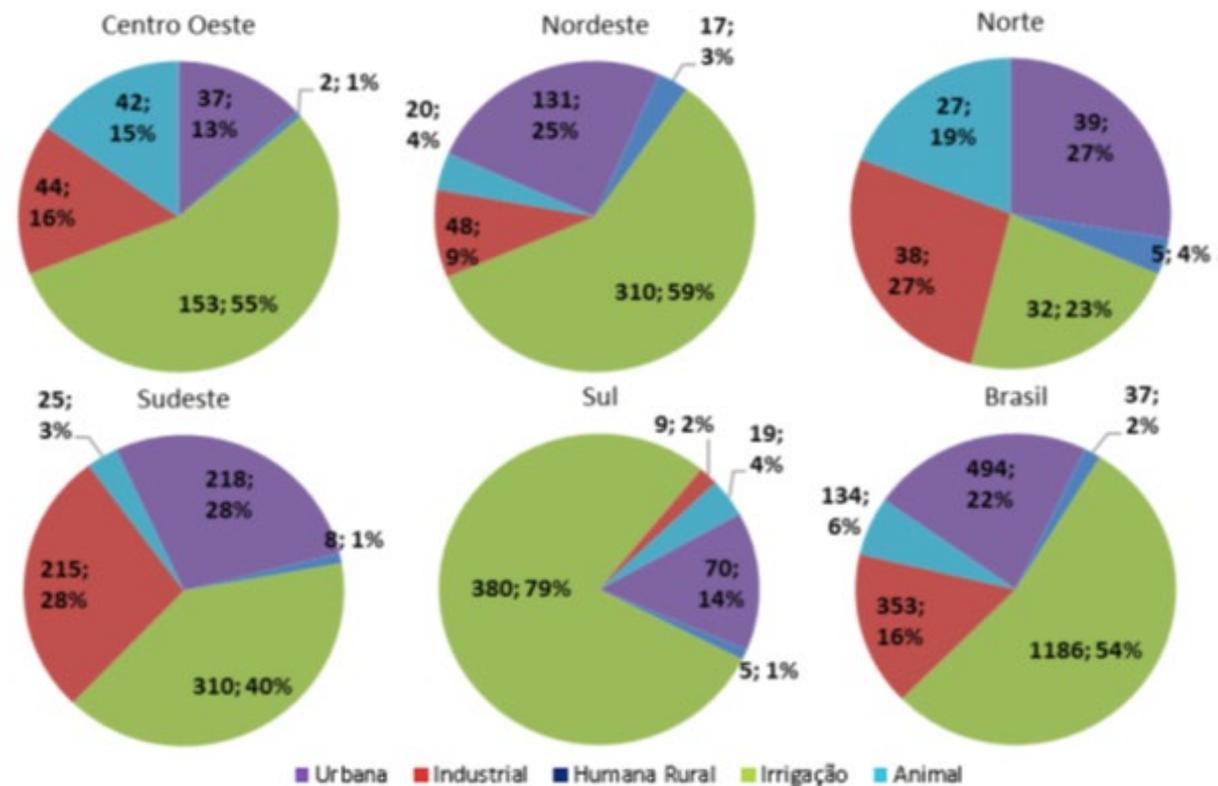
Fluxo Ambiental

Demanda de água e criticidade por região (Projeto Reúso – Interaguas)

<https://antigo.mdr.gov.br/saneamento/projeto-interaguas/projeto-reuso>

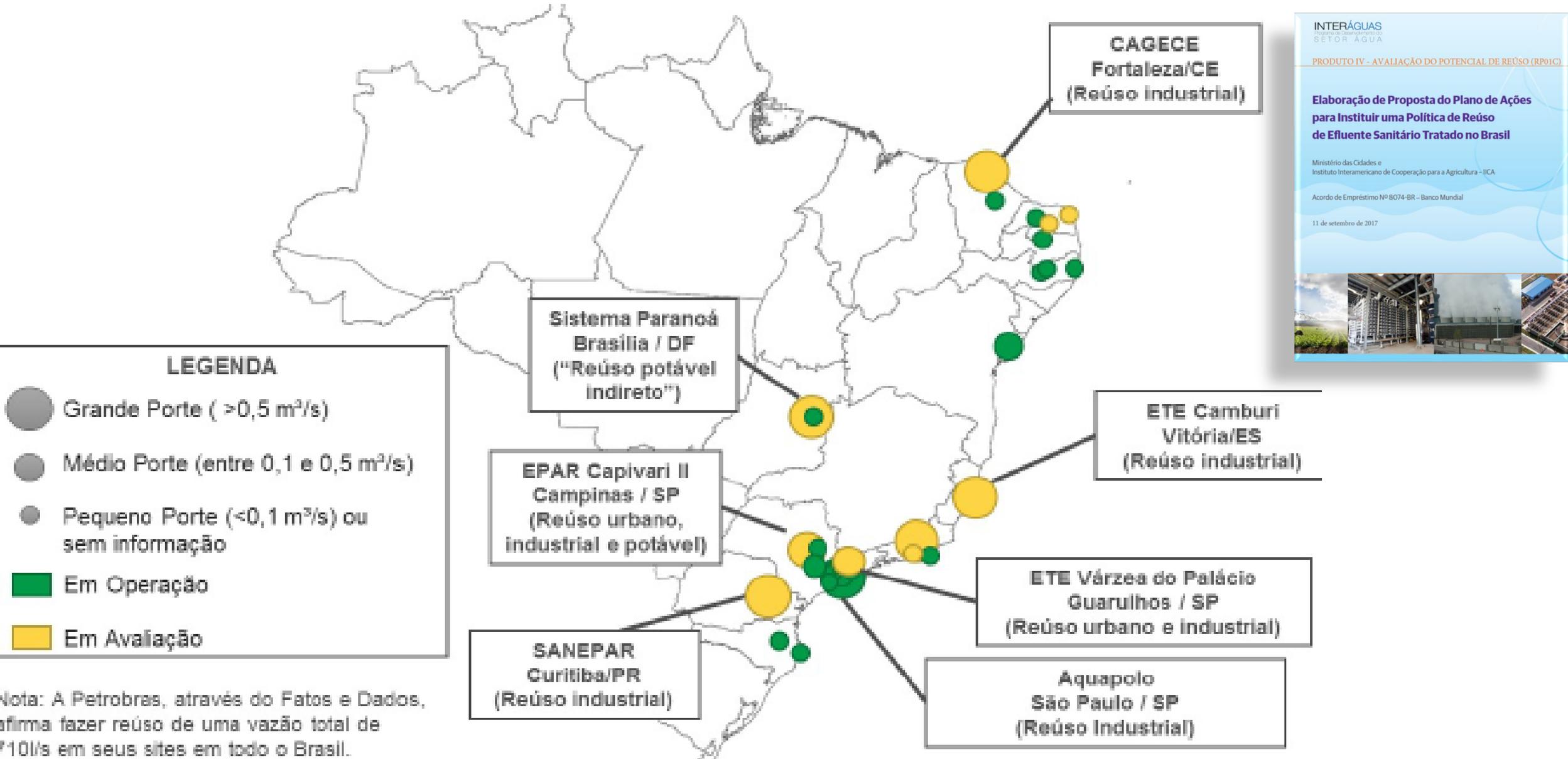


Vazões de retirada [m³/s e %] por setor, por região e para o Brasil, em 2014



Região	Área Total [km ²]	Área em Situação Crítica [km ²]	% em Relação a Área Total
Centro-Oeste	1.652.178	25.999	1,6%
Nordeste	1.558.160	758.698	48,7%
Norte	4.160.340	18.222	0,4%
Sudeste	926.428	163.821	17,7%
Sul	570.064	159.974	28,1%
Brasil	8.867.169	1.126.714	12,7%

Projeto de reúso de água previstos no Brasil





Corpus Academia

Aplysia

Le Buffet Master
Temporariamente
fechado

Multicoisas

R. Antônio Araújo Lira

Delícias do Trigo

Residencial Jardins

Condomínio do
Edifício Centaurus

Mirador Camburi

R. Sívino Greece

R. Est. Jataí Abreu Cássio

Av. Dante Michelini

Hotel Canto do Sol

Nobile Suites Diamond

Esgoto

EEE

Serviço De Orientação
ao Exercício
Temporariamente
fechado

Google



Água de reúso

Esgoto

Corpus Academia

Le Buffet Master
Temporariamente
fechado

Multicoisas

Aplysia

Delícias do Trigo

Condomínio do
Edifício Centaurus

Residencial Jardins

Mirador Camburi

Hotel Canto do Sol

Nobile Suites Diamond

Sivino Greece

R. Est. João Abreu Cagno

Av. Dante Machemini

Av. Dante Michel

Serviço De Orientação
ao Exercício
Temporariamente
fechado

EAA

EEE

Google

Reúso de água

- Todas as escalas devem ser exploradas
- Qualidade da água depende do uso
- O usuário é quem manda
- Viabilidade econômica
 - ✓ Reposição de componentes → Ex: membranas
 - ✓ Consumo de produtos químicos → Ex: físico-químico
 - ✓ Consumo de energia
- Valor da tarifa de água (não é OPEX)

Legislação sobre o reúso de água



Documento	Coliformes	Turbidez	DBO	Sólidos	Cloro residual
	Org/100mL	NTU	mg/L	mg/L	mg/L
Campinas (Classe A)	100 (Ct)	1	5	5 (SST)	> 1,5 (T) >1,0 (L)
Campinas (Classe B)	200 (Ct)	5	30	30 (SST)	< 3,0 (T) < 2,0 (L)
BA (Categoria A)	10 ³ (Ct)	-	-	-	-
BA (Categoria B)	10 ⁴ (Ct)	-	-	-	-
CE (Urbano)	5000* (Ct)	-	-	-	-
CE (Agrícola/florestal-a)	ND (Ct)	-	-	-	-
CE (Agrícola/florestal-b)	1000 (Ct)	-	-	-	-
CE (Aquicultura)	1000 (Ct)	-	-	-	-
SP (Irrestrito)	ND	2	10	-	≥ 1,0
SP (Restrito)	200 (Ct) 120 (E.Coli)	-	30	30 (SST)	≥ 1,0 (T)
RS (Urbano Classe A)	200 (Ct)	-	-	-	< 1,0 (T)
RS (Urbano Classe B)	10 ³ (Ct)	-	-	-	-
RS (Agrícola/florestal)	10 ⁴ (Ct)	-	-	-	-
MG (Agrossilvipastoril amplo)	10 ⁴ (Ct / E.Coli)	-	-	-	-
MG (Agrossilvipastoril limitado)	10 ⁶ (Ct / E.Coli)	-	-	-	-
MG (Urbano amplo)	10 ³ (Ct / E.Coli)	-	-	-	-
MG (Urbano limitado)	10 ⁴ (Ct / E.Coli)	-	-	-	-

Qualidade para diferentes formas de reuso

Parâmetro	Unidade	Esgoto bruto	Irrigação	Indústria		Reuso indireto
				Geral	Caldeira	
DBO	mg/l	400	30-50	<10	<5	<30
DQO	mg/l	600	50-100	<50	<50	<50
SST	mg/l	400	30-100	<10	<5	<30
N-tot	mgN/l	50	OK	<5	<1	<5
NH ₃ -N	mgN/l	40	OK	<1	<1	<1
NO ₃ -N	mgN/l	-	OK	<3	<3	<3
P	mgP/l	8	OK	<1	<1	<1
pH	-	7-8	>7	6-9	7-9	7-9
CF	UFC/100ml	10 ⁸	<1000	0	0	-
Ovos helm.	Nº/l	100	<1	0	0	-
Dureza	mg/lCaCO ₃	-	-	OK	<20	-
Cl ⁻	mg/l	-	<500	OK	<100	<500



Adrianus van Handel
Grande engenheiro!!

Fundamentos do Reuso de Água

1. Assegurar o eficiente tratamento das águas residuárias para satisfazer as normas de qualidade da água para aplicação na utilização planejada

The quality of water matters, not its degree of treatment
J. M. Simpson (Australian Water Association)

2. Proteção da saúde pública
3. Conseguir a aceitação pública

Turbidez < 2,0 NTU



Por que a turbidez da água de reúso é importante?



Água
cinza

Efluente
Anaeróbico

Efluente
aeróbico

Efluente
filtrado

Efluente
clorado

Vaso
sanitário



Turbidez nas águas de reúso

- 1º parâmetro organoléptico de aceitação (**verdade!**)
- Turbidez > 2,0 NTU é objeto de rejeição **FAKE NEWS**
- Tem relação direta com a concentração de patógenos **FAKE NEWS**
- Tem influência na desinfecção (**depende do processo!**)

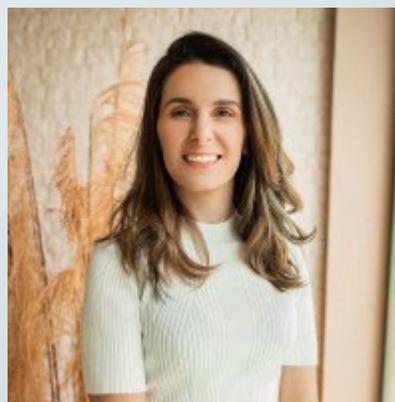


II-168 - Importância da turbidez da água de reúso na percepção e na sua aceitação por parte usuários

Autores:

Ricardo Franci Gonçalves (UFES)

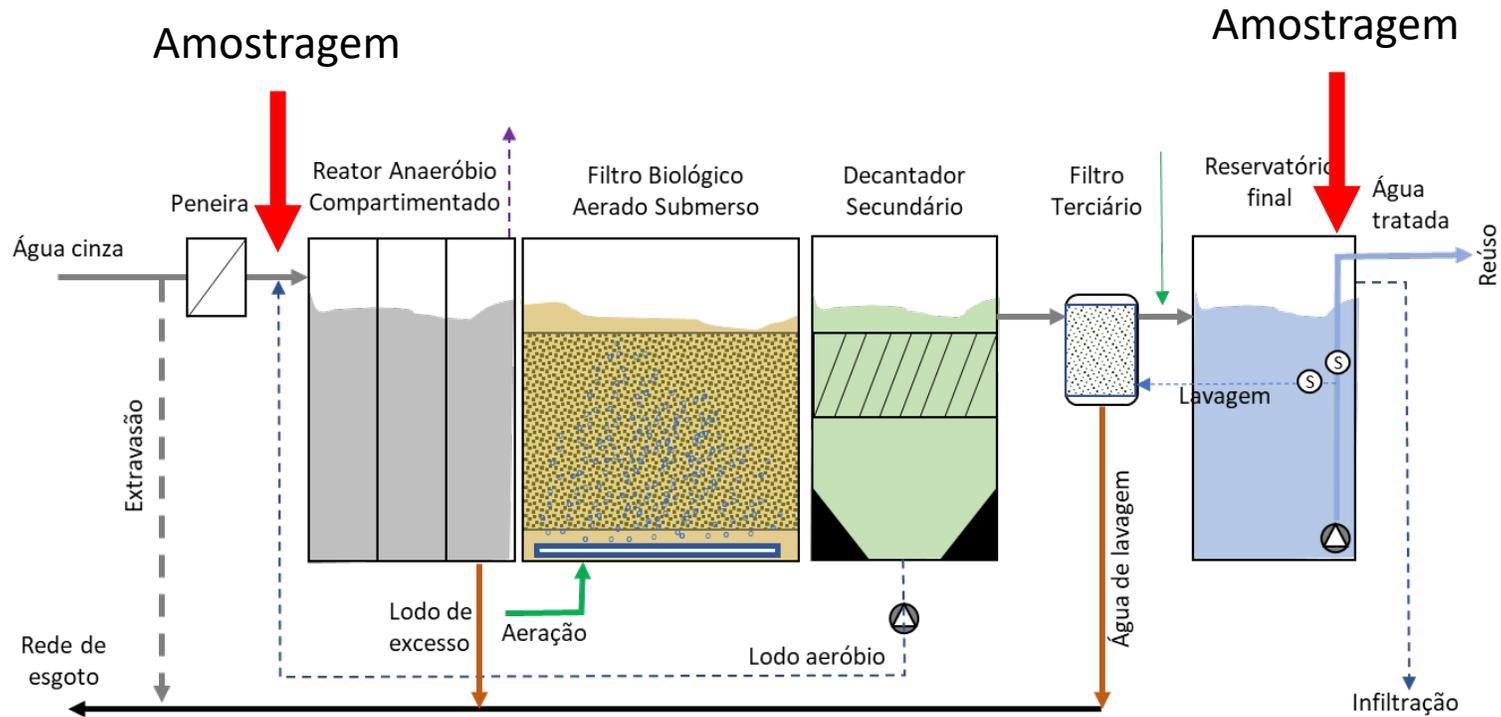
Graciele Zavarize Belisário (UFES)



ARTIGO 1

ASSOCIAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE PARÂMETROS DE CONTROLE DE
QUALIDADE DE ÁGUA – UMA META ANÁLISE DE TURBIDEZ E E.
COLI.

ETAC



Material e métodos

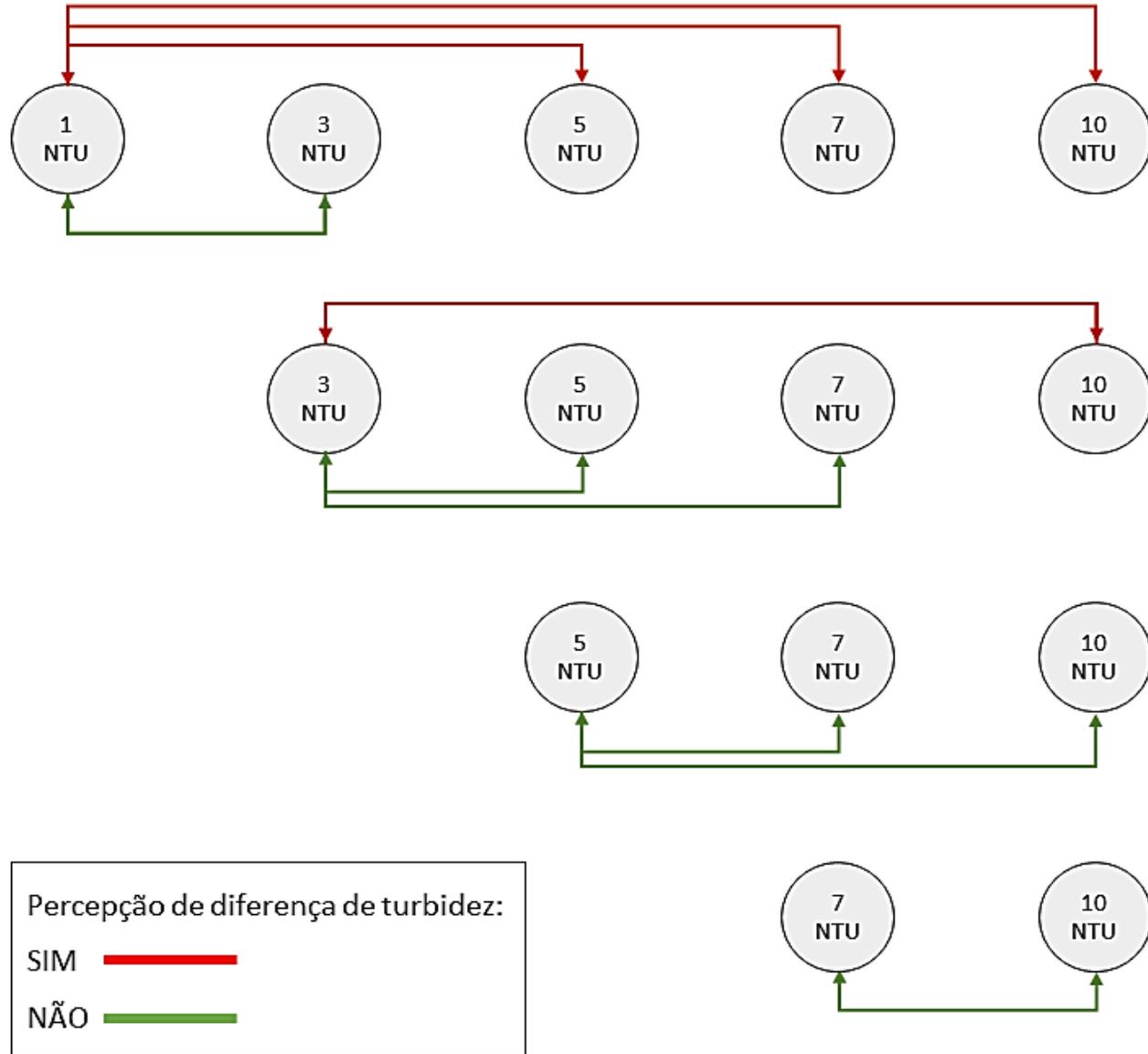
- Percepção da turbidez → amostras coletadas na entrada e na saída de uma ETAC de um edifício residencial de alto padrão, com 31 apartamentos.
- ETAC: peneiramento fino, RAC, FBAS, DEC, filtro rápido de areia, clorador com pastilha.
- Análises: pH, turbidez, SST, DBO, DQO, NTK, P-total, sólidos sedimentáveis, sulfeto, e E. coli
- Valores de turbidez foram calibrados com adição de água destilada.
- Amostras codificadas com letras de ordenação aleatória e apresentadas em temperatura ambiente de 25°C.



Formação do Juri

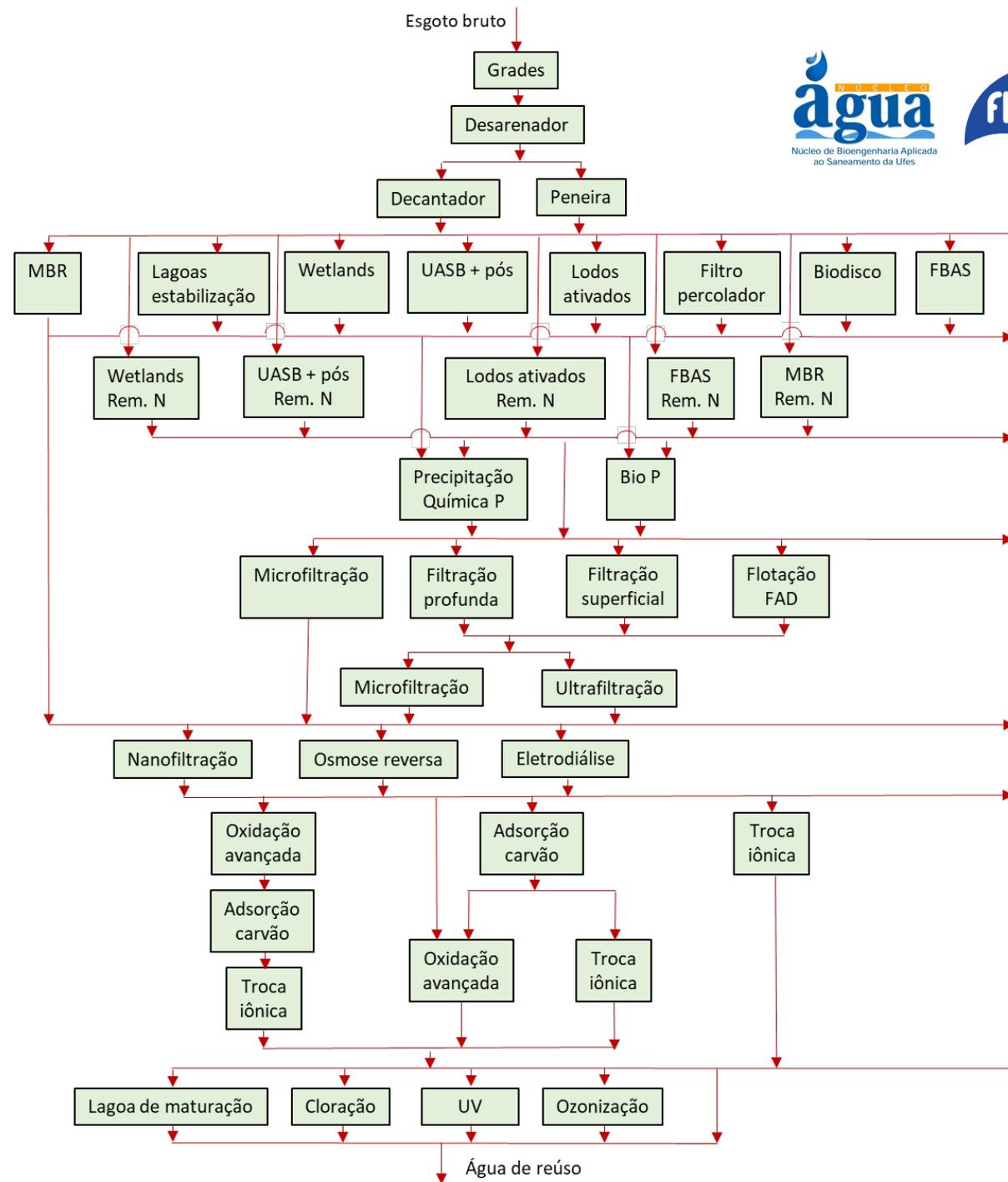
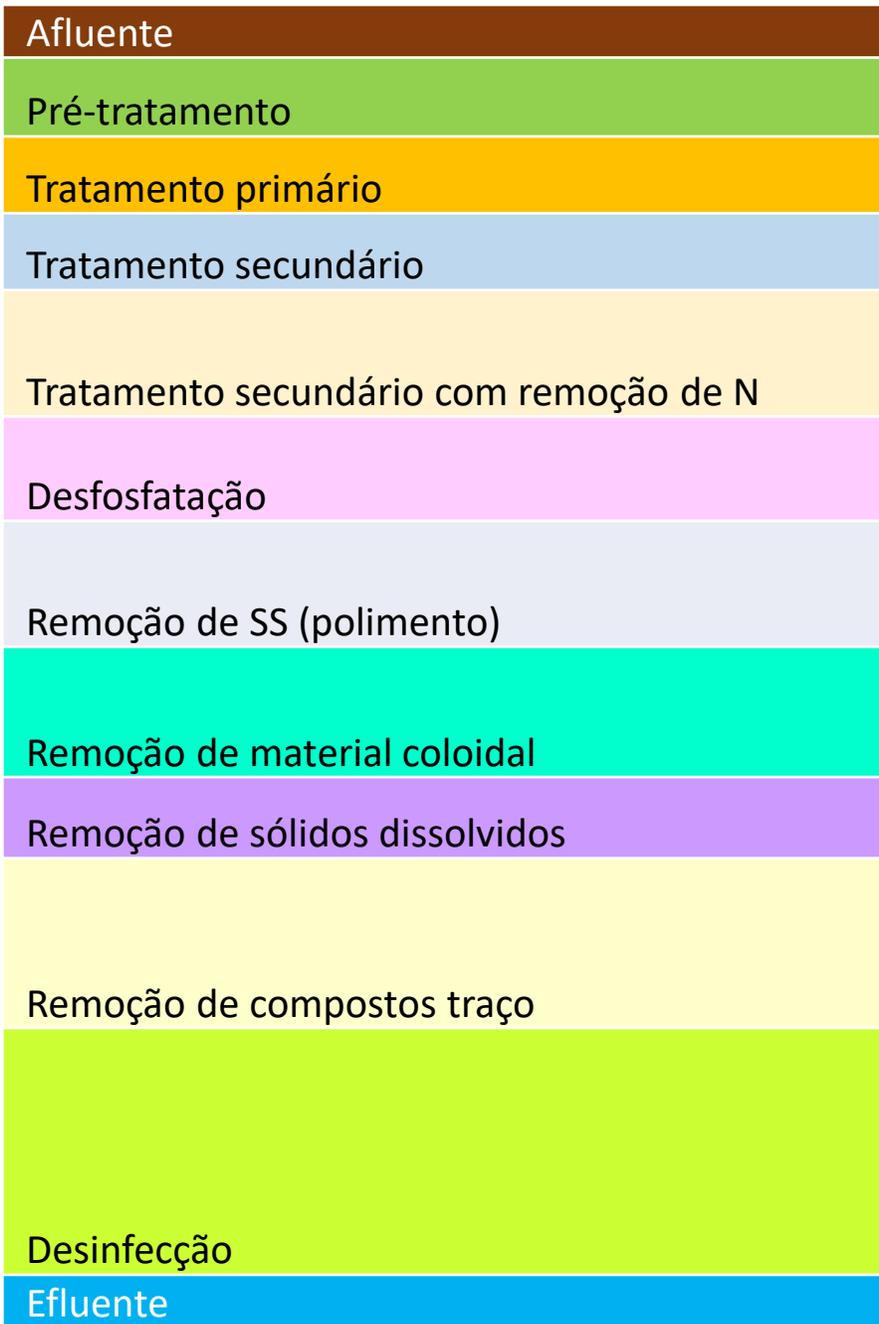
- 77 voluntários, na faixa etária de 18 a 50 anos
- 12 adultos selecionados com base na acuidade sensorial e o poder de discriminação para cores.
- Para análise das características sensoriais de aparência da água de reúso, foram realizados testes afetivos (método de aceitação por escala hedônica) e discriminativos (método triangular).
- Testes afetivos; turbidez de 2 UT, 3 UT, 5 UT, 8 UT e 10 UT
- Escala hedônica de Likert com 9 pontos → NBR 14441 (1998) → ‘gostei muitíssimo’ e ‘desgostei muitíssimo’
- Delineamento experimental → tipo blocos aleatorizados, utilizando-se o teste de FRIEDMAN (1937) para a comparação das medianas das notas dos grupos.

Diagrama de representação da percepção de turbidez pelos julgadores através do teste triangular



CONCLUSÕES

1. Os testes organolépticos indicaram que as amostras com menor turbidez apresentavam maior aceitação.
2. Amostras com até 3 UT não são diferenciadas de águas potáveis em termos de percepção visual.
Ricardo Franci Gonçalves
3. Amostras com 3 UT → diferença percebida com amostra de 10 UT.
Graciele Zavarize Belisário
4. Não faz um padrão muito restritivo para a turbidez (Ex: < 5 UT) nas águas para reuso não potável irrestrito em áreas urbanas.
5. Ademais, Turbidez não possui correlação forte com a presença de microrganismos (*E. coli*) na água de reúso.



Reúso agrícola

Lagoa facultativa + lagoa de maturação

Qualidade da água de reúso

$6,0 \leq \text{pH} \leq 9,0$

$\text{SS} \leq 100 \text{ mg/L}$

$\text{DBO} \leq 60 \text{ mg/L}$

$\text{DQO} \leq 200 \text{ mg/L}$

$\text{NTK} > 30 \text{ mg/L}$

$\text{P total} > 5,0 \text{ mg/L}$

$\text{Coli term.} \leq 10^3 \text{ NMP/100mL}$

$\text{Ovos de helmintos} < 1,0 \text{ ovo/L}$

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS TRANSFORMA ESGOTO EM FERTILIZANTE PARA AGRICULTURA



Reúso agrícola

Lagoa facultativa + lagoa de maturação

Qualidade da água de reúso

$6,0 \leq \text{pH} \leq 9,0$

$\text{SS} \leq 100 \text{ mg/L}$

$\text{DBO} \leq 60 \text{ mg/L}$

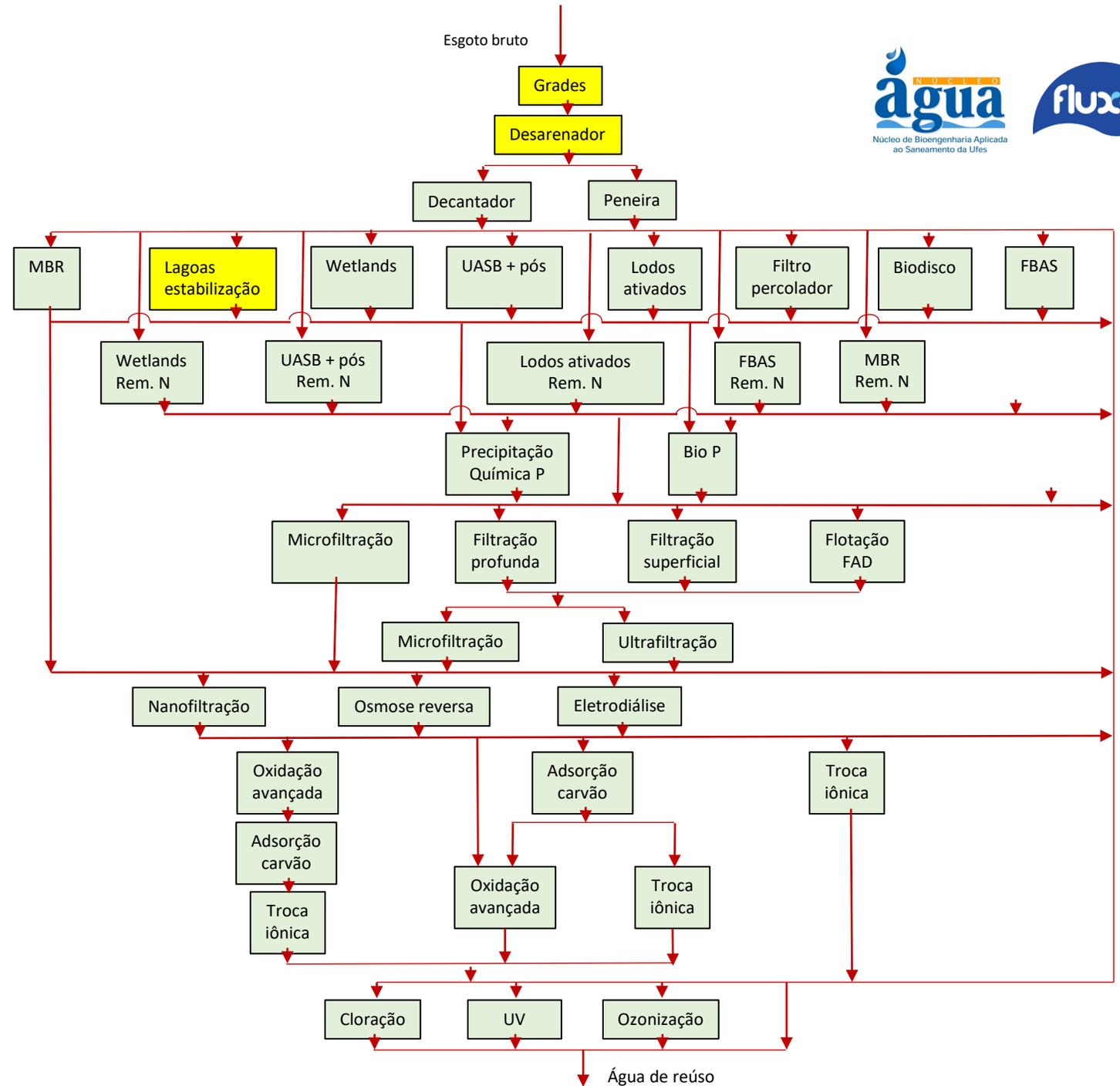
$\text{DQO} \leq 200 \text{ mg/L}$

$\text{NTK} > 30 \text{ mg/L}$

$\text{P total} > 5,0 \text{ mg/L}$

$\text{Coli term.} \leq 10^3 \text{ NMP/100mL}$

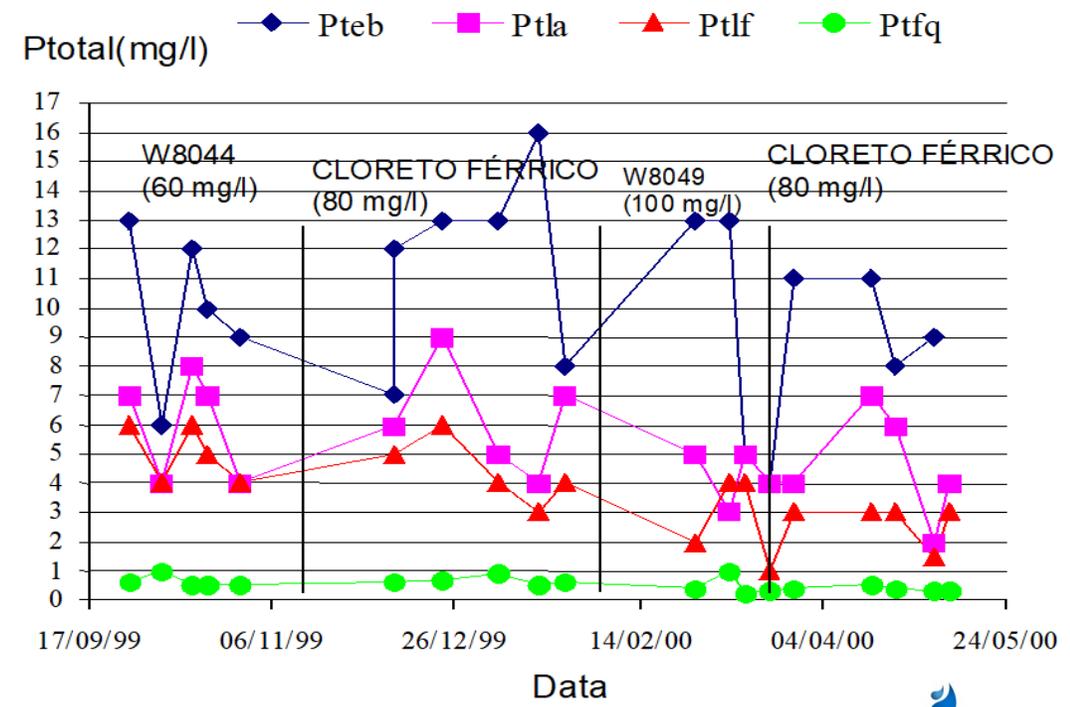
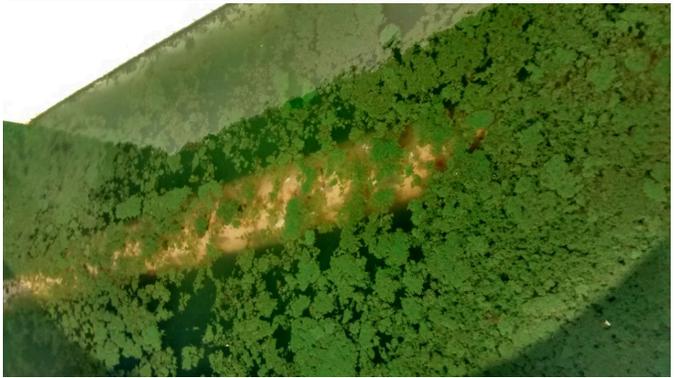
Ovos de helmintos $< 1,0 \text{ ovo/L}$



ETE Paranoá – UASB + Lagoa Alta Taxa – 70 mil hab



Ferreira, 2017
Gavazza, 2017

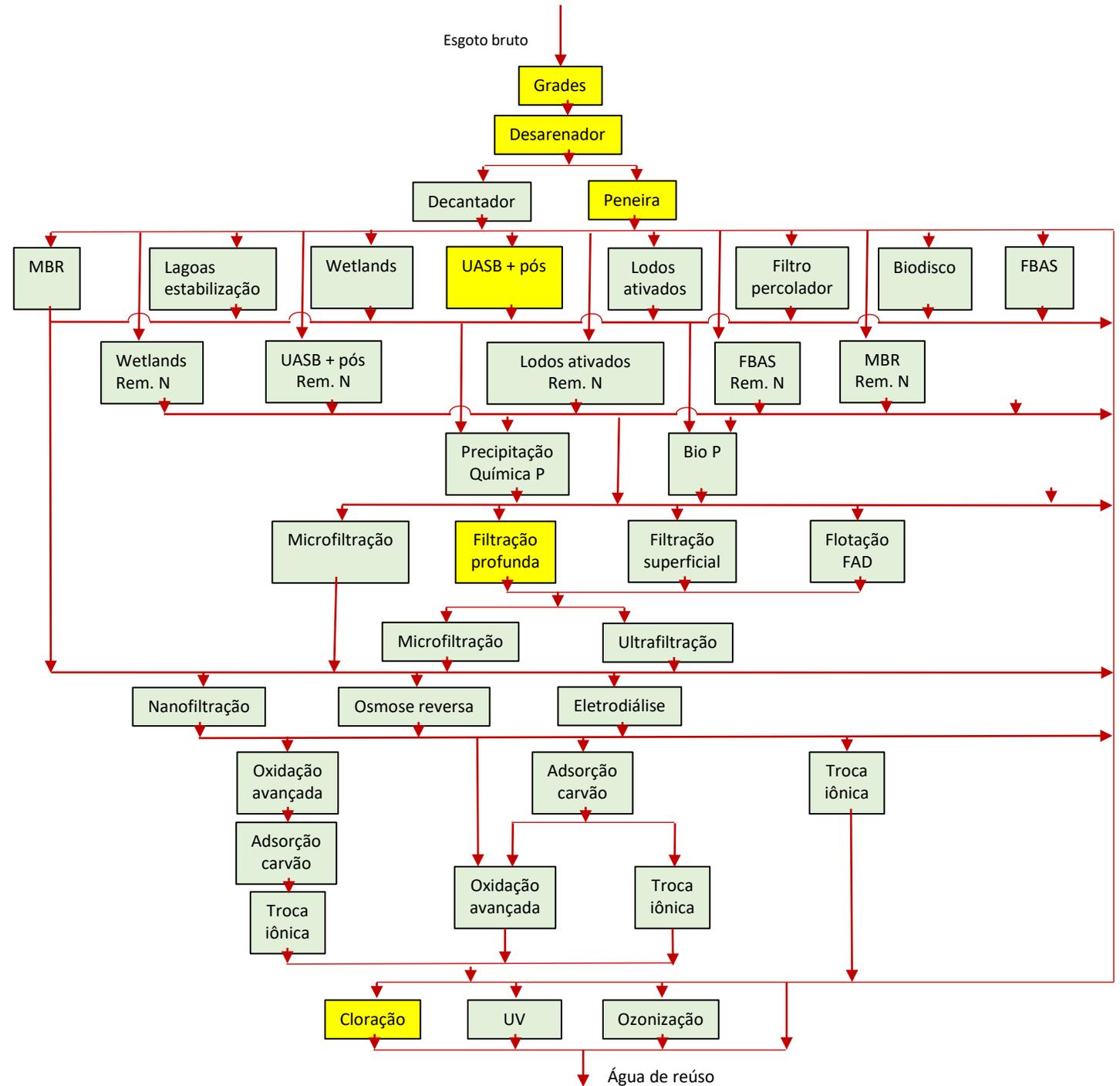


Descarga sanitária

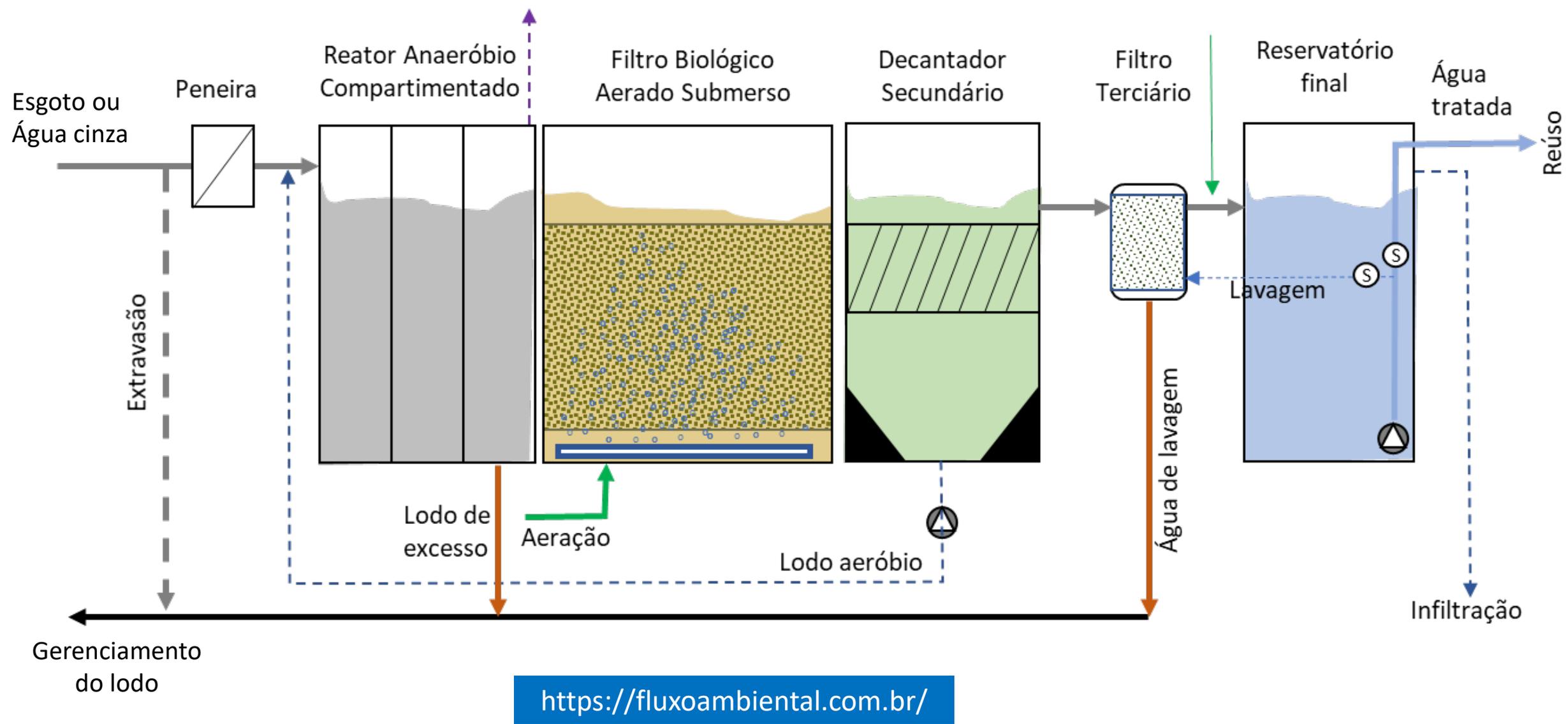
UASB + Filtro biológico
aerado submerso + filtro de
areia + cloração

Qualidade da água de reúso

pH \approx 7,0
Turbidez \leq 5,0 UT
SS \leq 10 mg/L
DBO \leq 10 mg/L
DQO \leq 50 mg/L
Coli term. \leq 10^3 NMP/100mL



EPAR biológica - FLUXO



RAC + FBAS + FA + FC + Cloração



ETE → Reúso - UNIMETAL SOROCABA (ES)



ETE COMPERJ → $Q_{med} = 3,0 \text{ L/s}$
(Reúso ...)



ETE 1 – UASB+FBAS+FA+FC+Cloração
Reúso → VALE Tubarão – SERRA (ES)

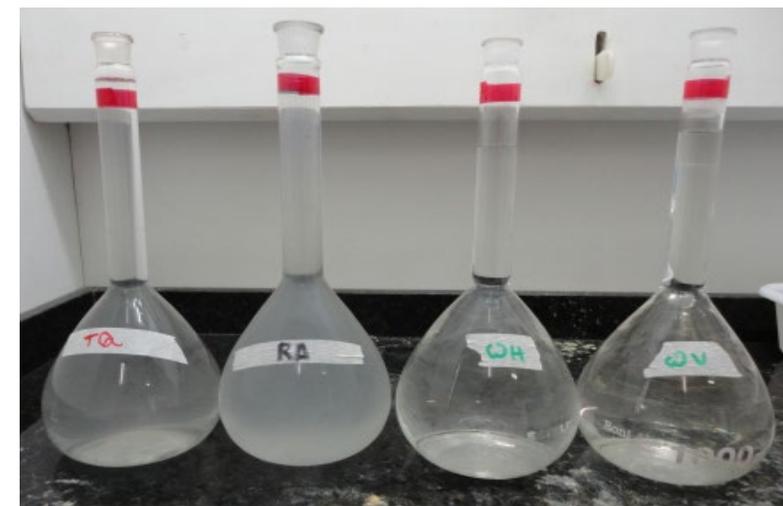




SICOOB Sta Lúcia

100 funcionários

10 m³/dia de reúso

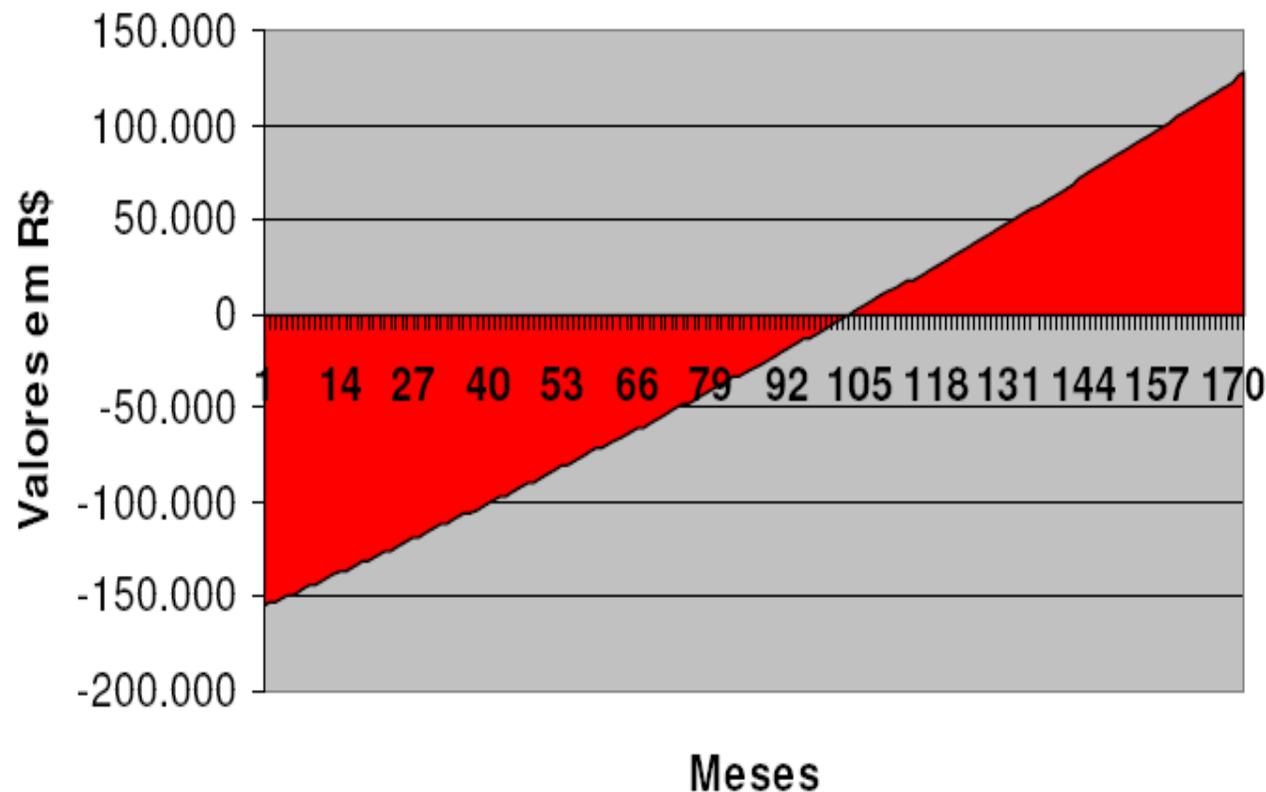


Economia gerada pelo reúso de águas cinzas

Estudo de Caso – Ed. Royal Blue, Vitória/ES



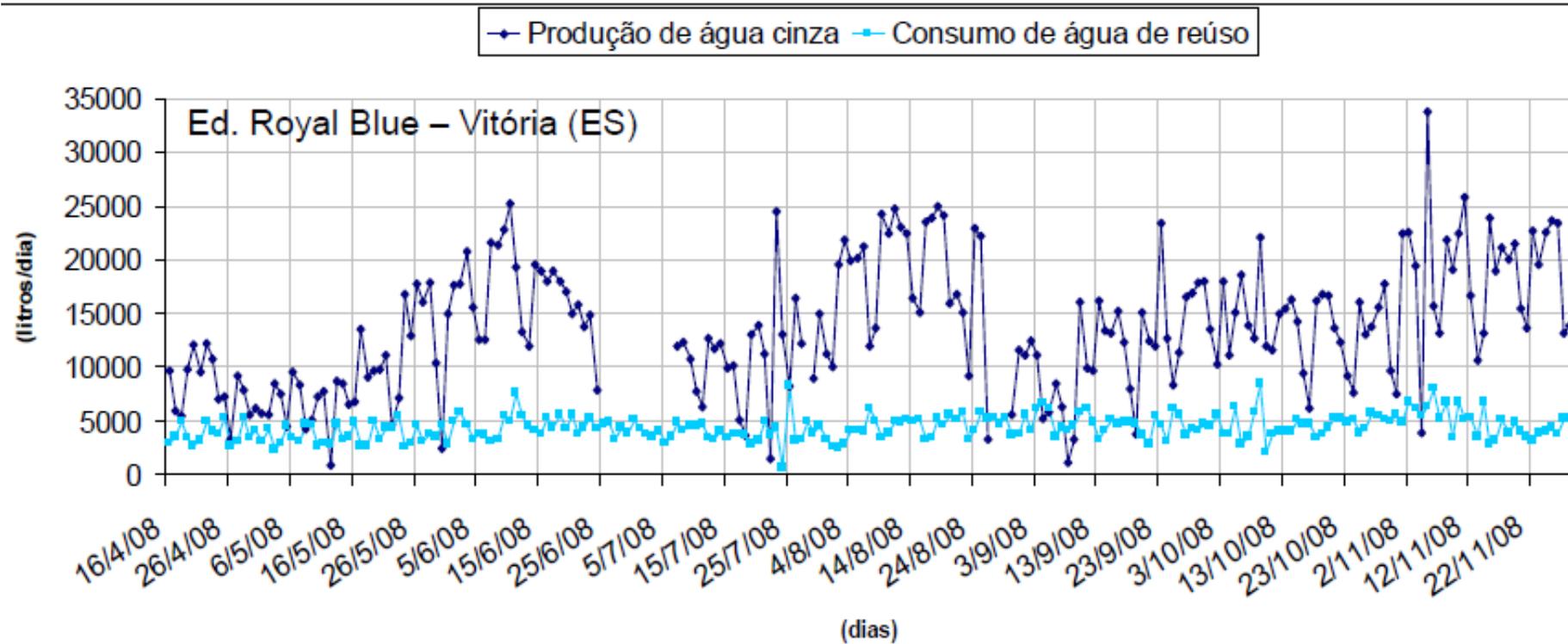
Fonte: Lorenge Construtora e Incorporadora Ltda, 2004



Cenário 1 – Tempo de Retorno para a implantação do sistema de reúso com BDI

TEMPO DE RETORNO: 103 MESES OU 8,5 ANOS

Balanço hídrico do edifício: demanda e oferta de água segundo uso e qualidade



Água de reúso corresponde a aproximadamente
32% da água cinza gerada

ETE – EACF ANTÁRTICA

✓ $Q_{\text{méd}} = 5,5 \text{ m}^3/\text{d}$

✓ RAC + FBAS + DEC + UV + Cloração



ETAC – EACF ANTÁRTICA

fluxo

✓ $Q_{\text{méd}} = 3,5 \text{ m}^3/\text{d}$

✓ EEE + An + FABS + DEC + UV + Cloração





Legislação sobre o reúso de água



Reúso potável indireto

(Ex: recarga de aquífero)

MBR + Osmose reversa +
Oxidação avançada → UV /
H₂O₂

Qualidade da água de reúso

pH ≈ 7,0 Turbidez ≤ 2,0 UT

SS ≤ 10 mg/L

DBO ≤ 5 mg/L

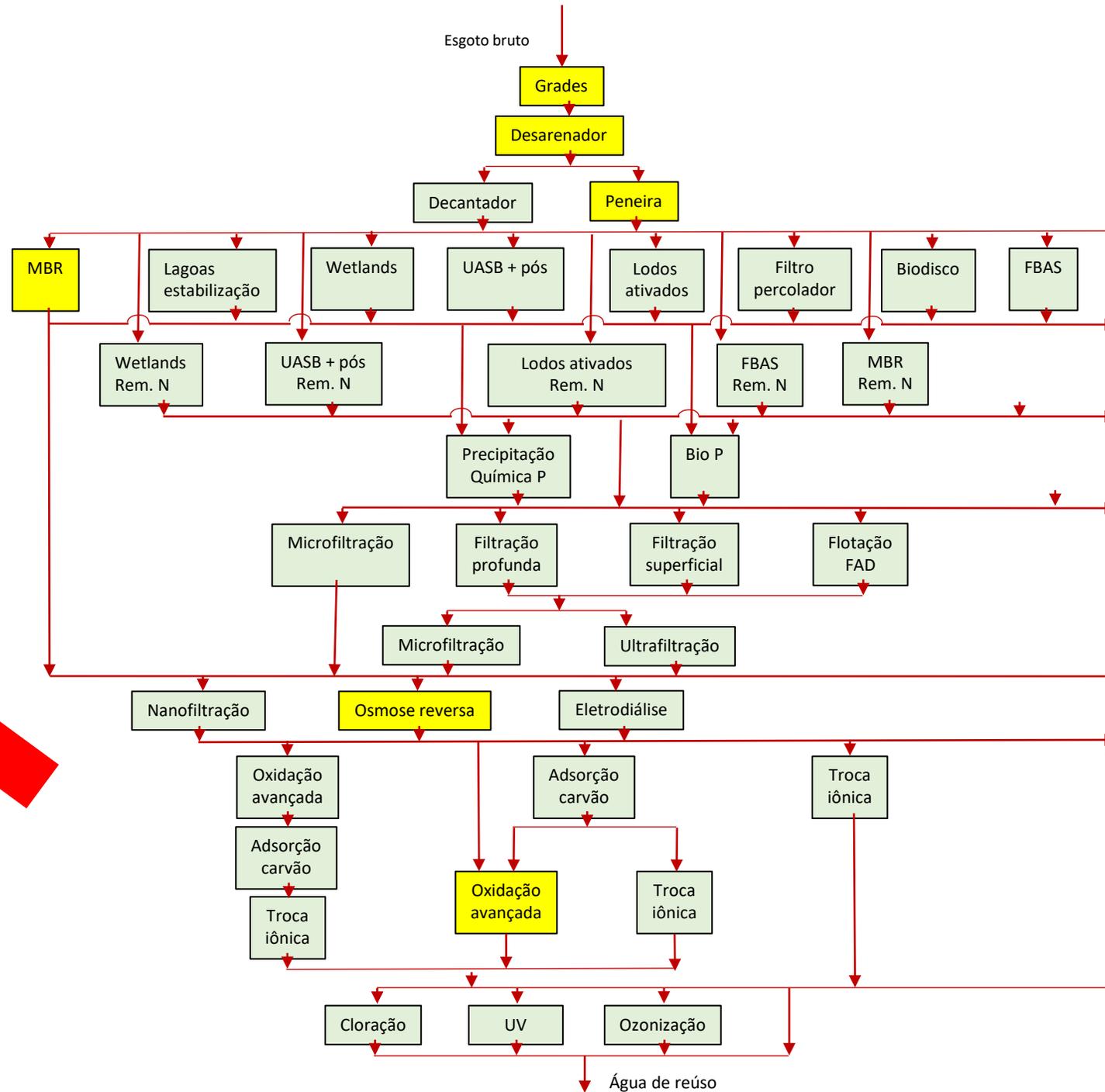
DQO ≤ 50 mg/L

N total ≤ 1,0 mg/L

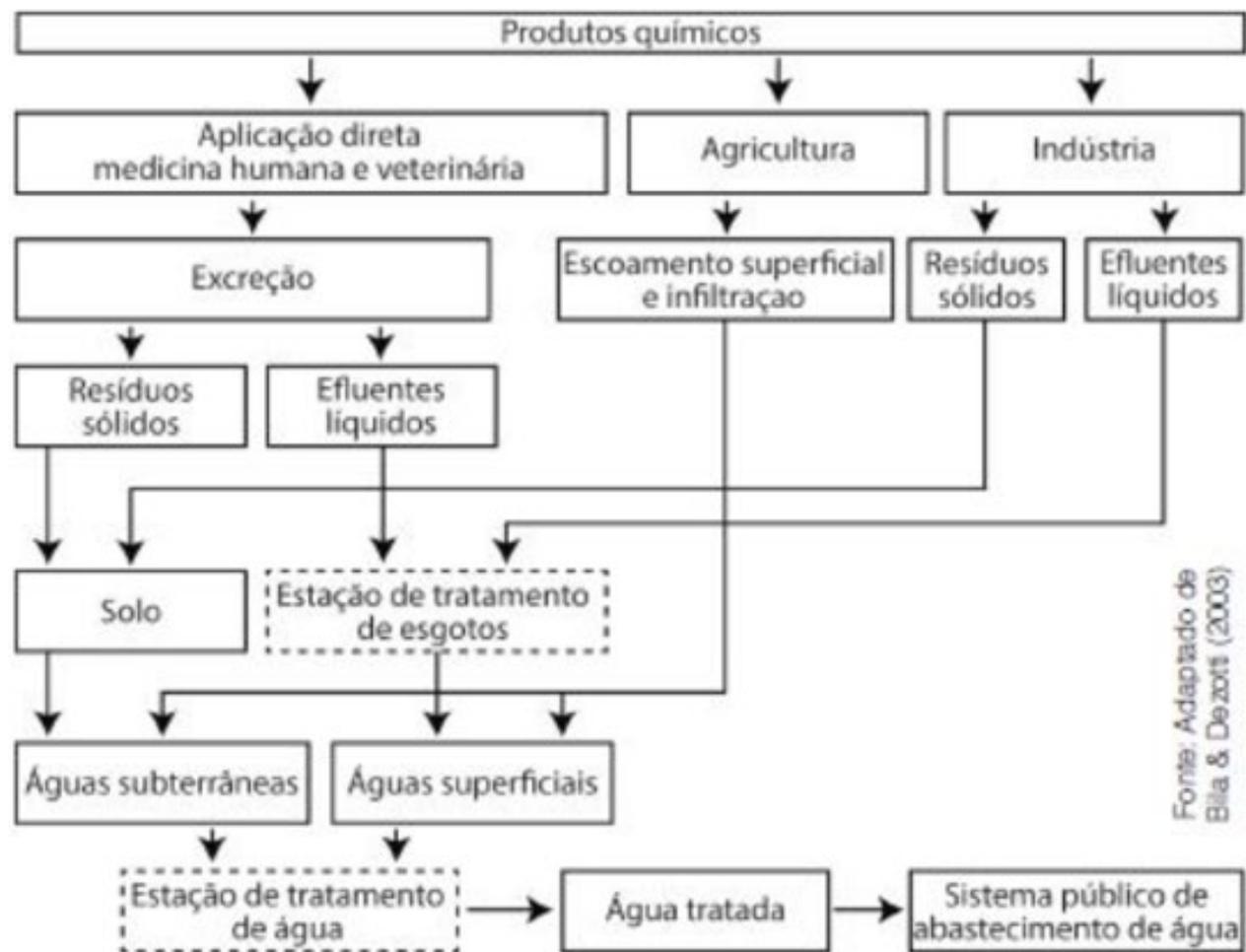
N-NH₄ ≤ 1,0 mg/L

N-NO₃ ≤ 3 mg/L

Coli term. ≤ 0,0 NMP/100mL



Origem e destino dos micropoluentes no ciclo da água urbana



Taxa de excreção de fármacos em humanos adultos.

O composto farmacêutico é excretado através das fezes e da urina como uma mistura composta pela substância sem qualquer alteração, seus metabólitos ou em sua forma conjugada inativa.

Composto	Taxa de Excreção (%)		Composto	Taxa de Excreção (%)	
	Composto Parental	Metabólitos		Composto Parental	Metabólitos
Analgésicos e anti-inflamatórios			Reguladores Lipídicos e Colesterol		
Acetaminofeno	3 ^a	93 ^a	Bezafibrato	50 ^c	22 ^b
Ácido Salicílico	8 ^a	85 ^a	Gemfibrozil	76 ^a	50 ^b 0 ^a
Codeína	10 ^a	0 ^a	Medicação Psiquiátrica		
Diclofenaco	15 ^b	<1 ^b	Carbamazepina	1-2 ^b 31 ^a	0-30 ^d 0 ^a
Ibuprofeno	10 ^a 15 ^e	5 ^a 69 ^e	Diazepam	10 ^d	-
Indometacina	10-20 ^b	80 ^b	β-Bloqueador		
Ketoprofeno	10 ^a	70 ^a	Atenolol	90 ^c 93 ^a	0 ^a
Naproxeno	10 ^a	60 ^a	Metoprolol	3-10 ^b 7 ^a	0 ^a
Antibióticos			Propranolol	<1 ^b	
Sulfametoxazol	30 ^a	0 ^a	Sotalol	75 ^a	0 ^a
Trimetoprim	43 ^a	0 ^a	Diuréticos		
Anti-hipertensivos			Furosemida	90 ^c 75 ^a	14 ^a
Irbesartan	80 ^a	6 ^a	Hidroclorotiazida	95 ^c 100 ^a	0 ^a

^aKhan; Ongerth (2004).

^bTernes (1998).

^cCalamare et al.(2003).

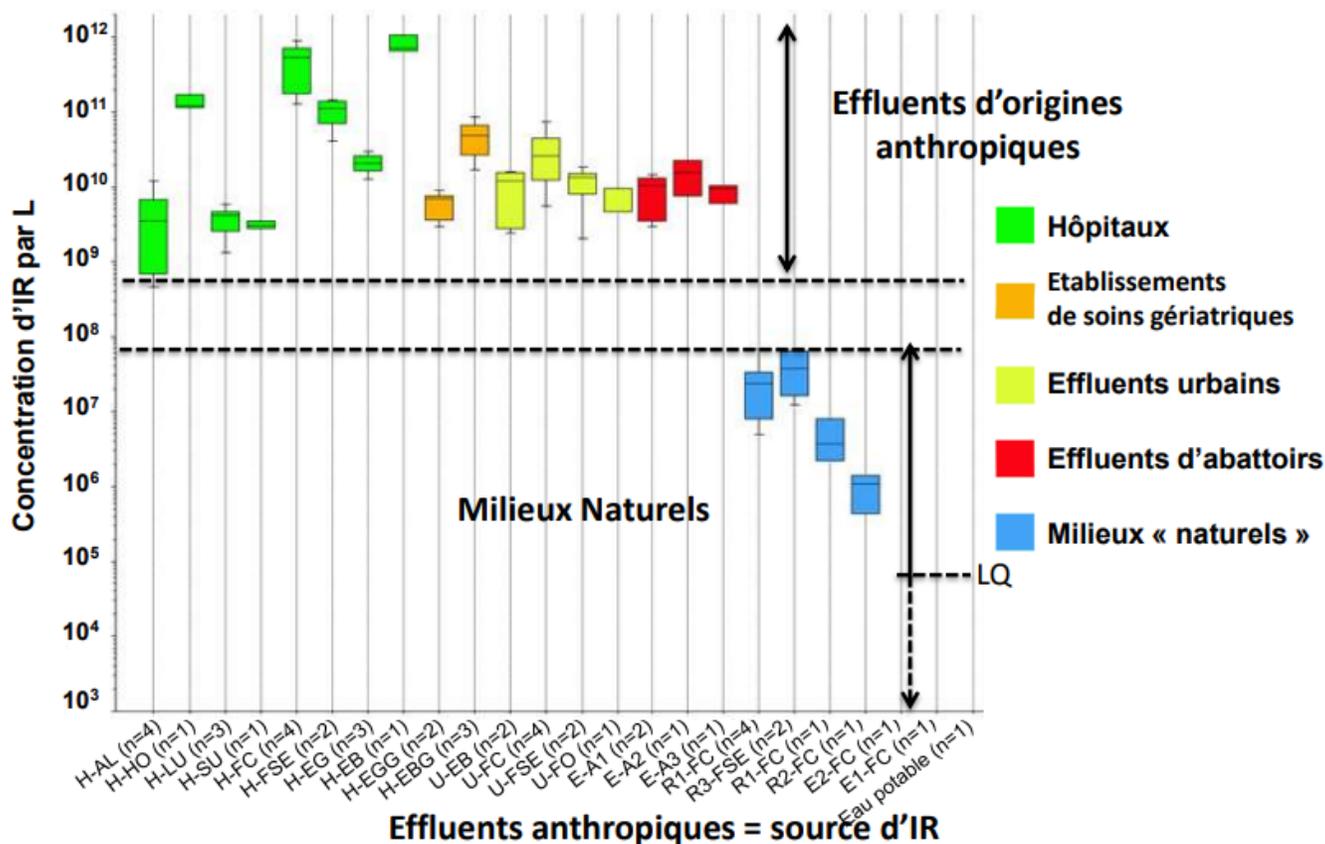
^dTernes; Joss (2006) apud Carballa et al. (2008).

^eWeigel et al. (2004).

Pesquisa realizada na França sobre micropluentes em esgoto sanitário

<https://ascomade.org/wp-content/uploads/2018/02/Les-traitements-en-station-depuration.pdf>

Concentrations des IR dans un panel d'effluents



Famille	Charbon actif en grain	Ozone	O ₃ +H ₂ O ₂
Médicaments Betabloquants (4)	Blue	Blue	Green
Médicaments Antibiotiques (10)	Green	Green	Blue
Autres médicaments (4)	Green	Blue	Blue
HAP (19)	Yellow	Green	Green
Alkylphénols (6)	Yellow	Green	Green
Pesticides urée et triazine (4)	Green	Yellow	Blue
Pesticides (glyphosate, AMPA) (2)	Yellow	Yellow	Blue
Métaux (15)	Red	Red	Red

R_w = rendement d'élimination entre sortie de traitement secondaire et sortie de traitement complémentaire pour chaque procédé

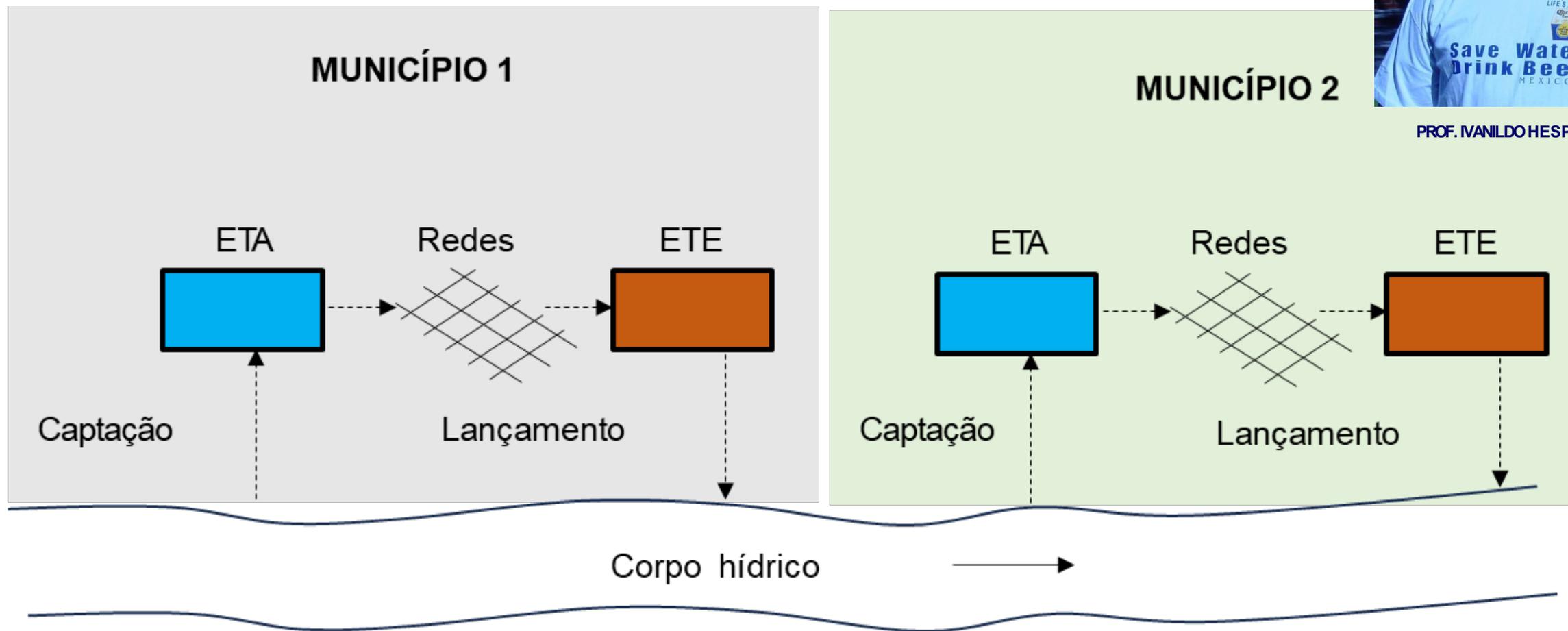


CAPEX + OPEX: OR → POA → GAC → Troca iônica

Reúso potável indireto não planejado



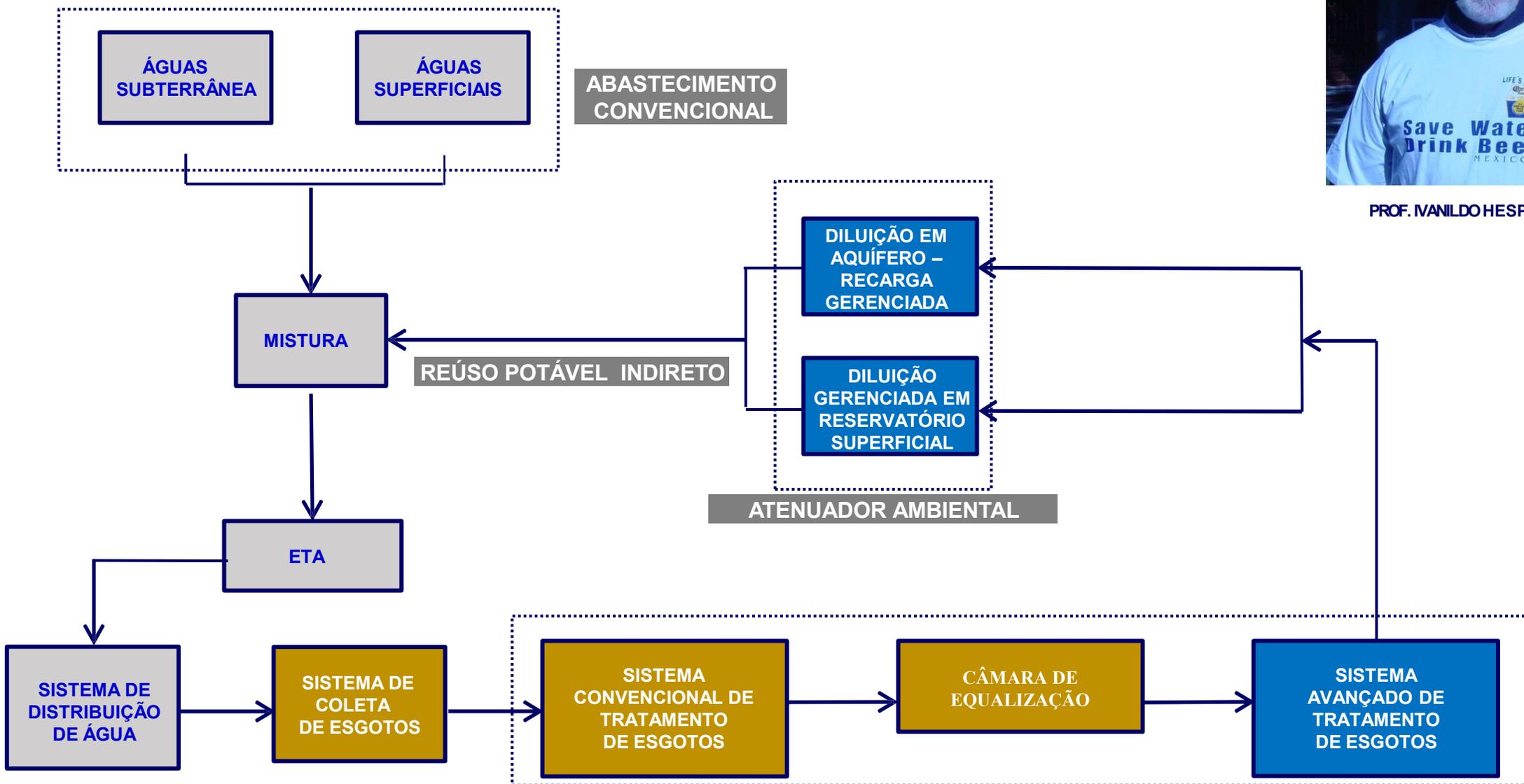
PROF. IVANILDO HESPANHOL



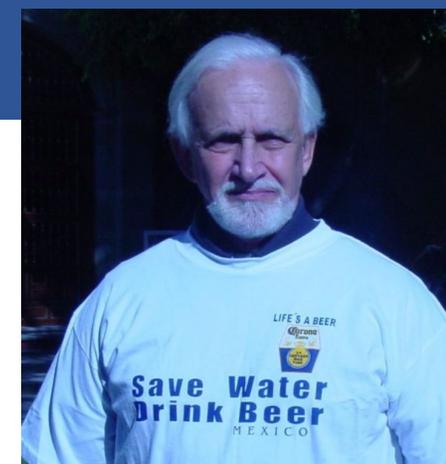
Reúso potável indireto planejado



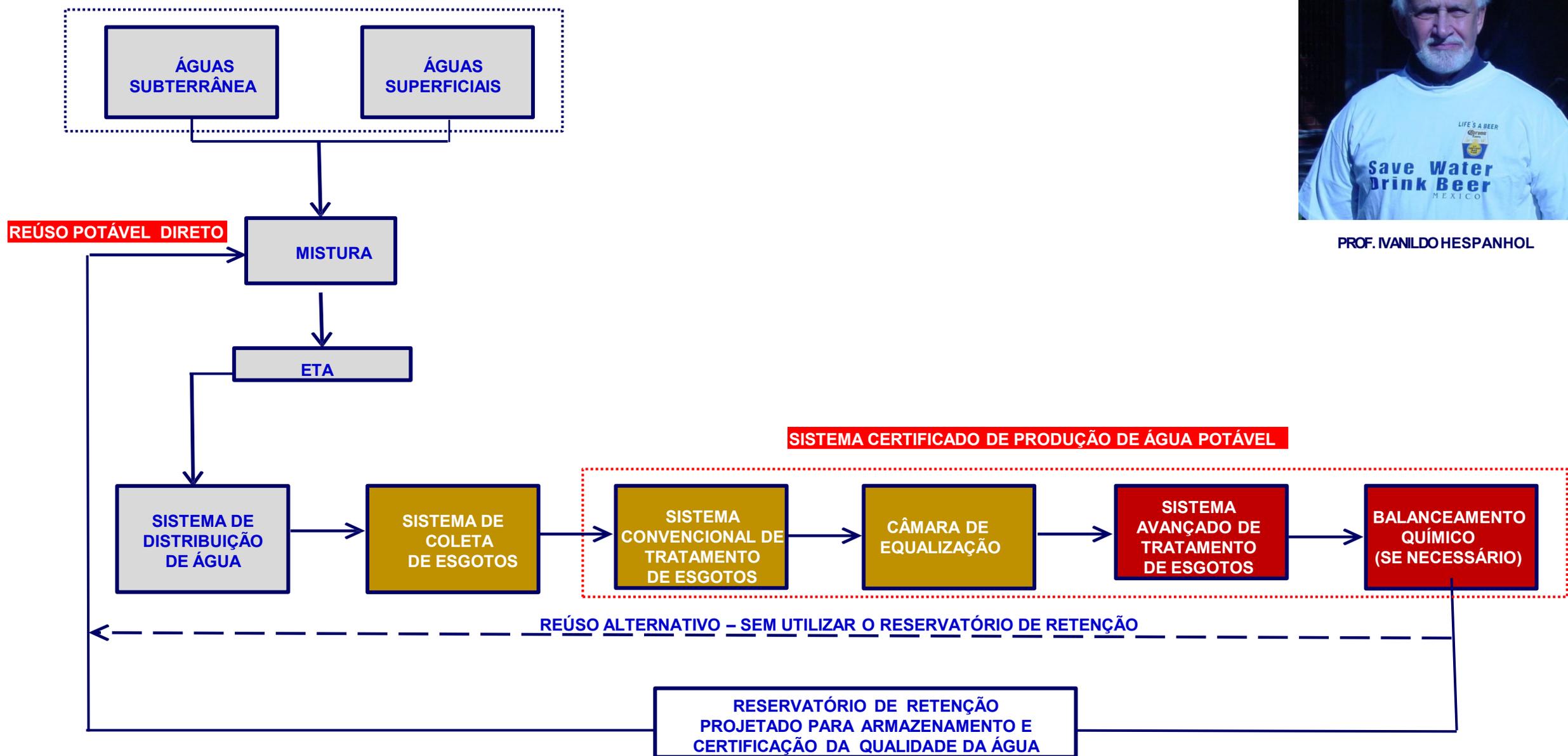
PROF. IVANILDO HESPANHOL



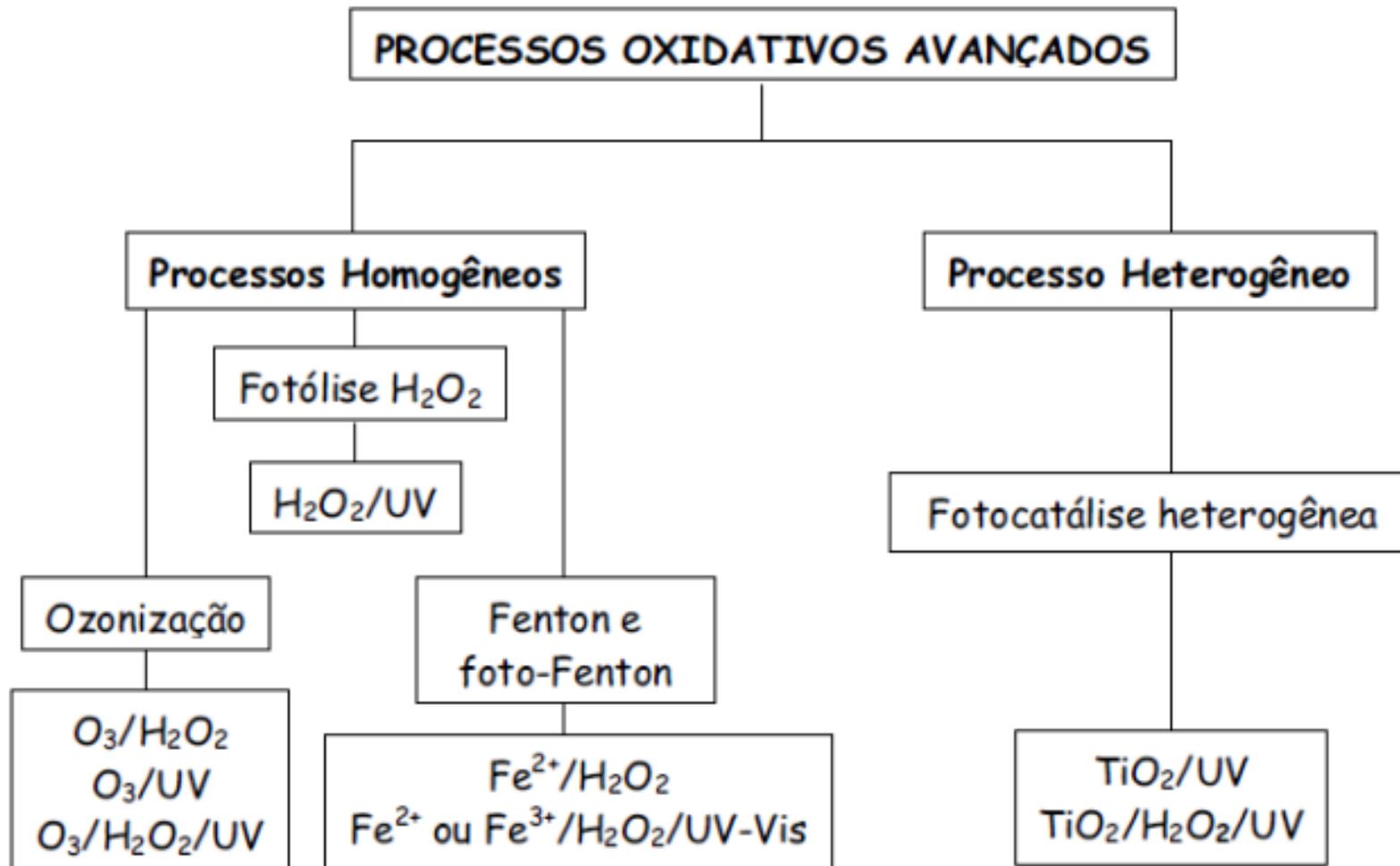
Reúso potável direto



PROF. IVANILDO HESPANHOL

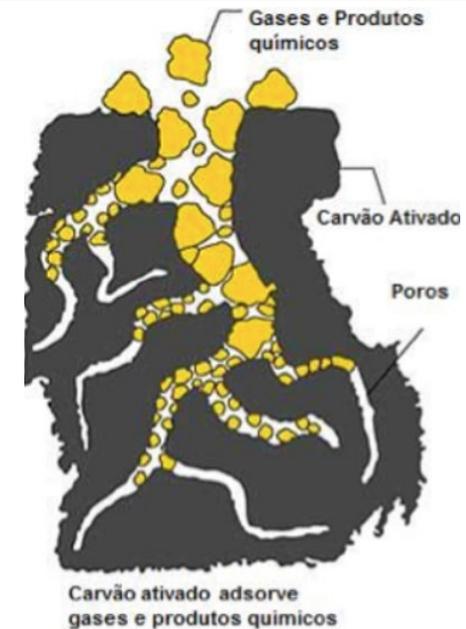
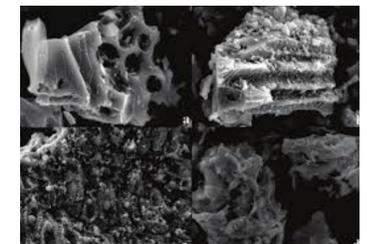


Processos de Oxidação Avançada (POA)



Adsorção em Carvão Ativado Granular (CAG)

- Leito de partículas de carvão ativado granular para adsorver os contaminantes presentes na solução.
- Carvão ativado → material poroso de origem vegetal ou mineral que passa por um processo de ativação para desenvolver uma estrutura porosa altamente desenvolvida.
- Essa estrutura possui uma grande área superficial e uma alta capacidade de adsorção.



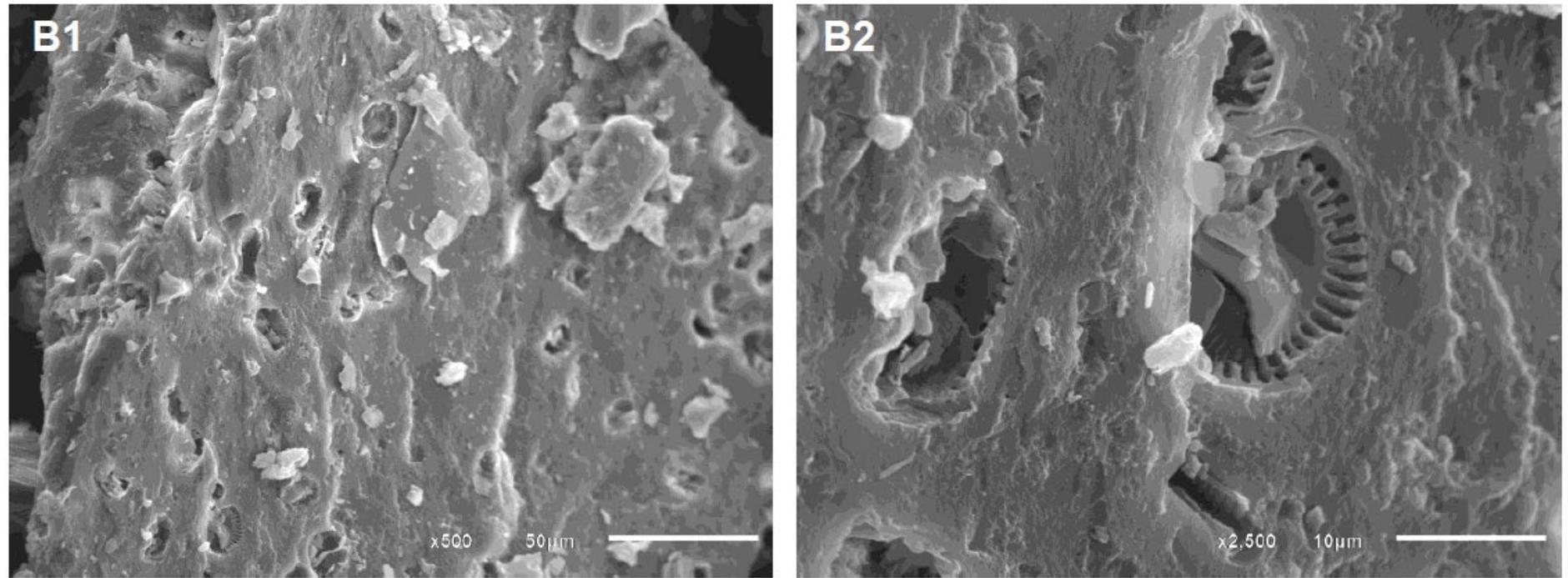
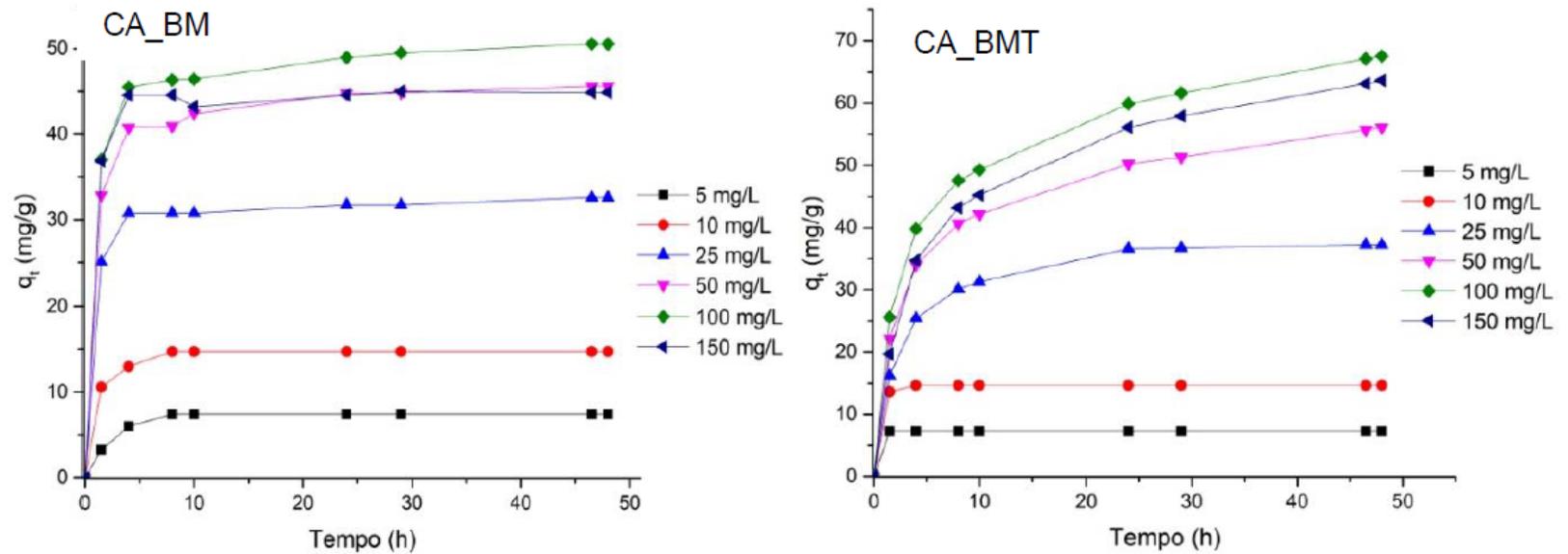
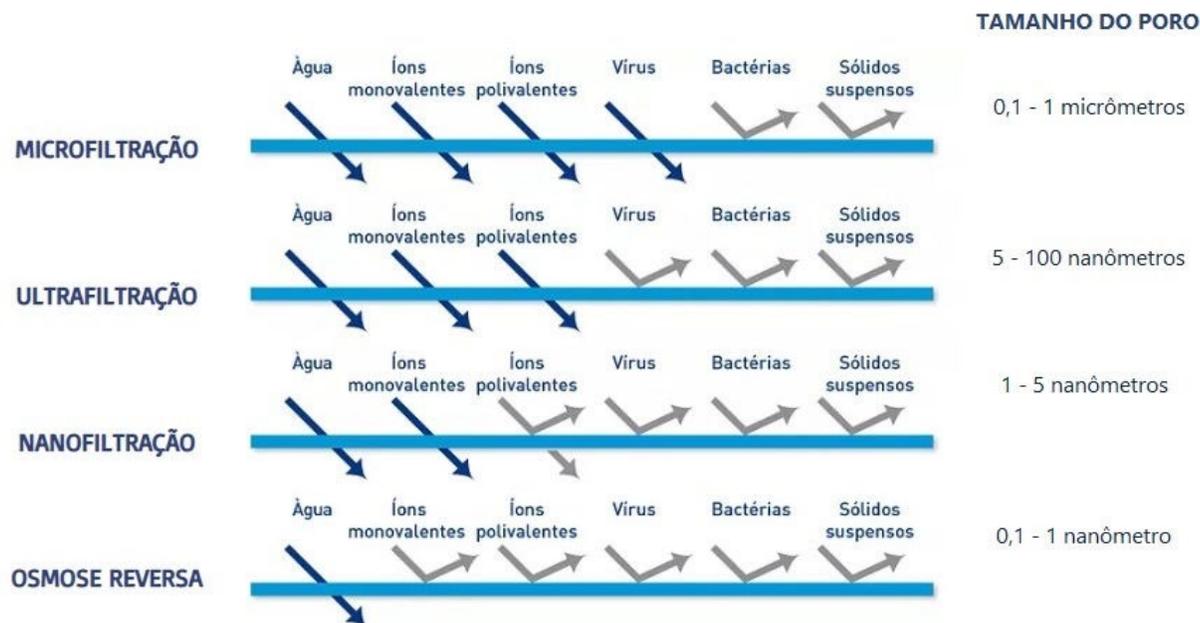


Figura 33: Relação da concentração inicial de 2, 4-D e o tempo de reação de adsorção.



Funcionamento de um processo com membranas filtrantes para remoção de micropoluentes

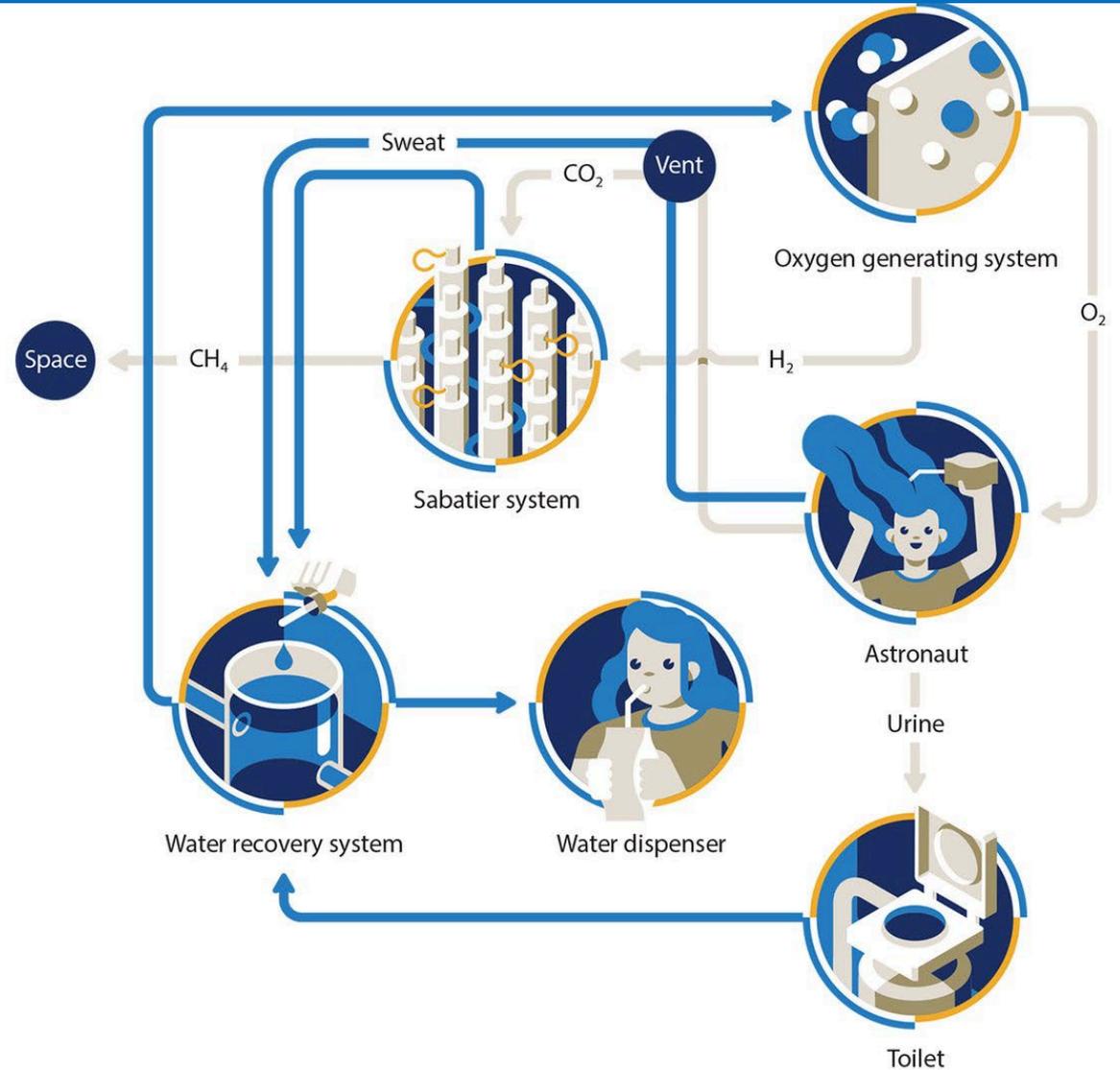
1. Alimentação
2. Filtração
3. Retenção e Fluxo
4. Limpeza e Manutenção



Estação espacial internacional



<https://www.nasa.gov/johnson/HWHAP/recycling-water-and-air>



<https://www.popsci.com/how-iss-recycles-air-and-water/>

Reúso de água

- ✓ Todas as escalas devem ser exploradas
- ✓ Qualidade da água depende do uso
- ✓ O usuário é quem manda
- ✓ Viabilidade econômica
 - Reposição de componentes → Ex: membranas
 - Consumo de produtos químicos → Ex: físico-químico
 - Consumo de energia
- ✓ Valor da tarifa de água (não é OPEX)

Panorama institucional

- ✓ ABNT (2019) → NBRs 16.782 e 16.783
- ✓ Maioria dos municípios não regulamentou o reúso
- ✓ Aprovação do projeto do sistema sanitário difícil
- ✓ Funcionamento do reúso predial sem fiscalização
- ✓ Insegurança → empreendedores

Tópicos necessários para consolidação do reúso descentralizado

- ✓ Legislação adequada a nível municipal, para impulsionar a prática e minimizar riscos.
- ✓ Incentivos econômicos ao construtor e aos usuários.
- ✓ Divulgação permanente de experiências e dos mais recentes desenvolvimentos tecnológicos.
- ✓ Disponibilização de serviços e equipamentos compatíveis com o mercado habitacional brasileiro.

PROPOSTA → Legislações municipais

1. Toda nova edificação deve ser projetada FLEX, com sistema hidrossanitário que faculte o aproveitamento de fontes alternativas de água.
2. O aproveitamento de fontes alternativas de água na edificação é uma deliberação do proprietário ou do condomínio, podendo ser implementado hoje ou no futuro.



Ricardo Franci Gonçalves

Universidade Federal do Espírito Santo

Fluxo Ambiental

e-mail: rfg822@gmail.com

Fone: 27 99293 9992