

## ***Wetlands Construídos: “Limites e Possibilidades”***

**Prof. Rodrigo de Freitas Bueno**  
**E-mail: [rodrigo.bueno@ufabc.edu.br](mailto:rodrigo.bueno@ufabc.edu.br)**

# *Wetlands: Conceitos*

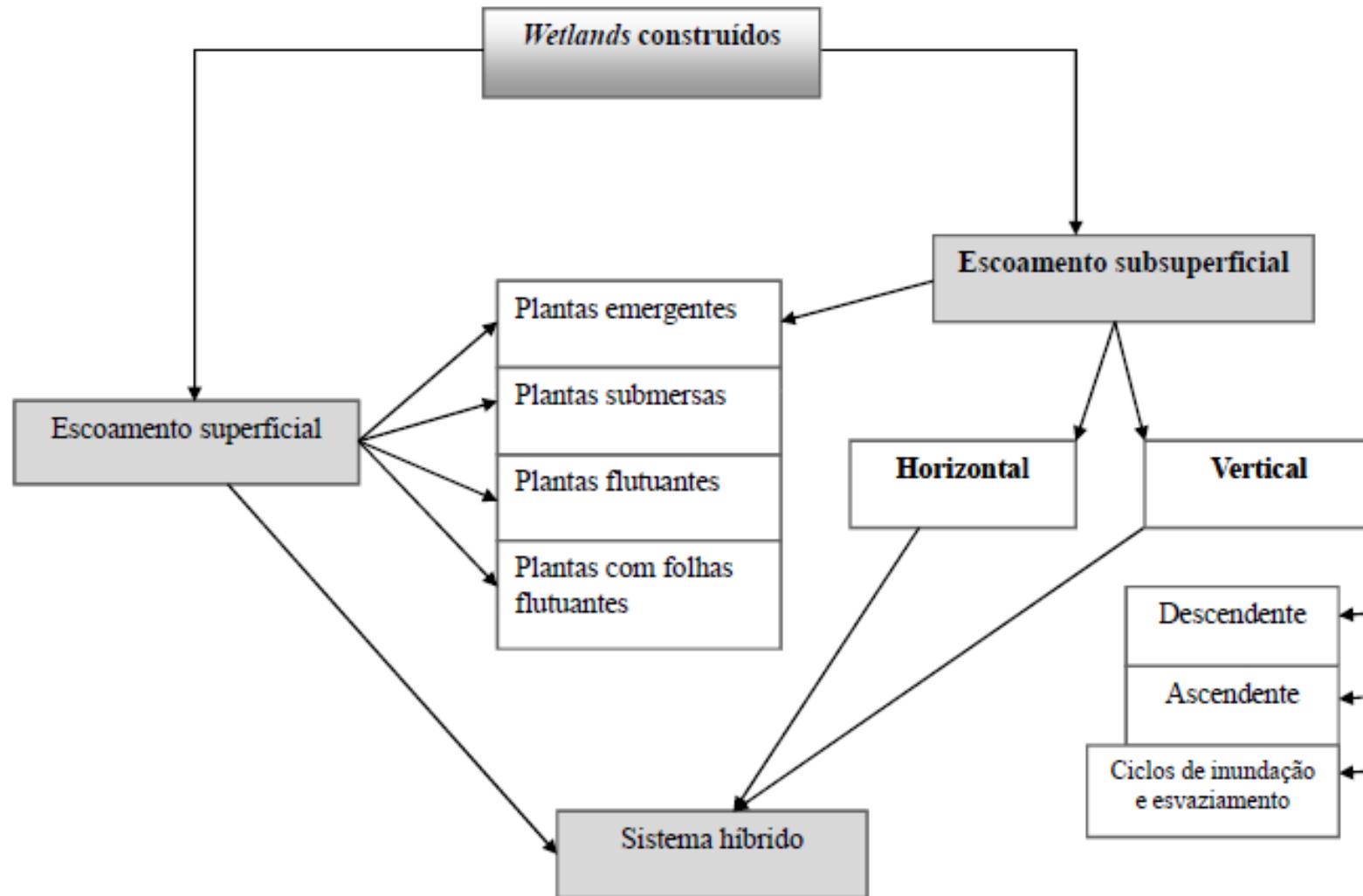
- Ecossistema de transição entre ambientes terrestres e aquáticos.
- A utilização de ***Wetlands Naturais*** como pontos receptores de esgotos não é recomendada como alternativa ecologicamente correta.



***Wetlands naturais***

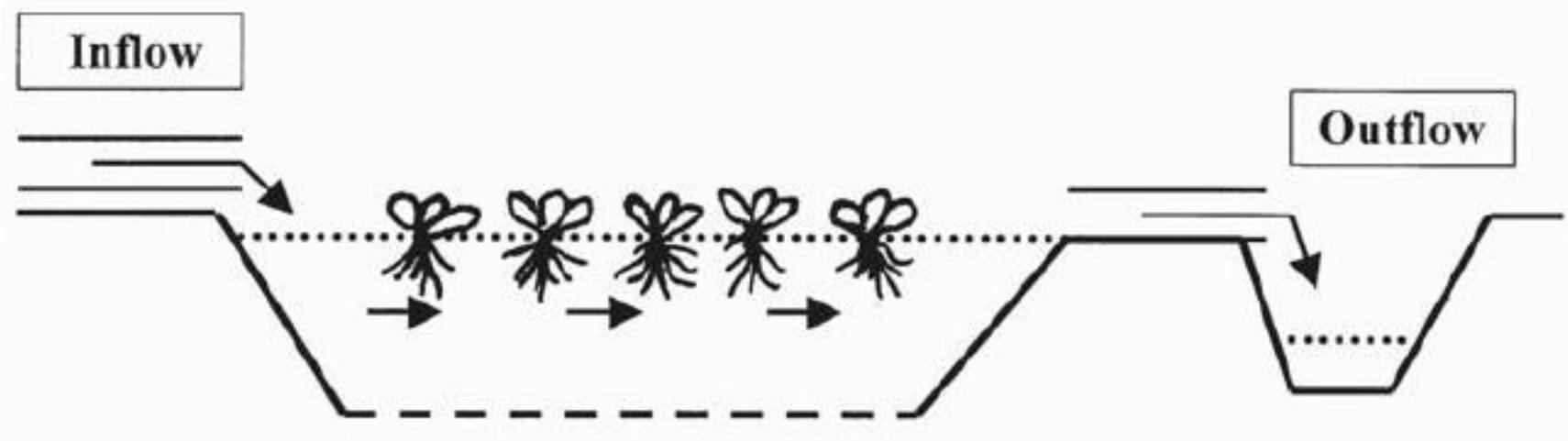
***Wetlands construídos***

# *Wetlands – Aplicações*



Fonte: adaptado de VYMAZAL e KROEPFELOVÁ (2008)

## Sistemas com macrófitas de flutuação livre



Schematic representation of the constructed wetland with free floating macrophytes

# *Wetlands – sistemas*

## Sistemas com macrófitas de flutuação livre



Constructed wetland with Water hyacinth Aqua III in San Diego, California, USA. Photo by George Tchobanoglous,

# *Wetlands – sistemas*

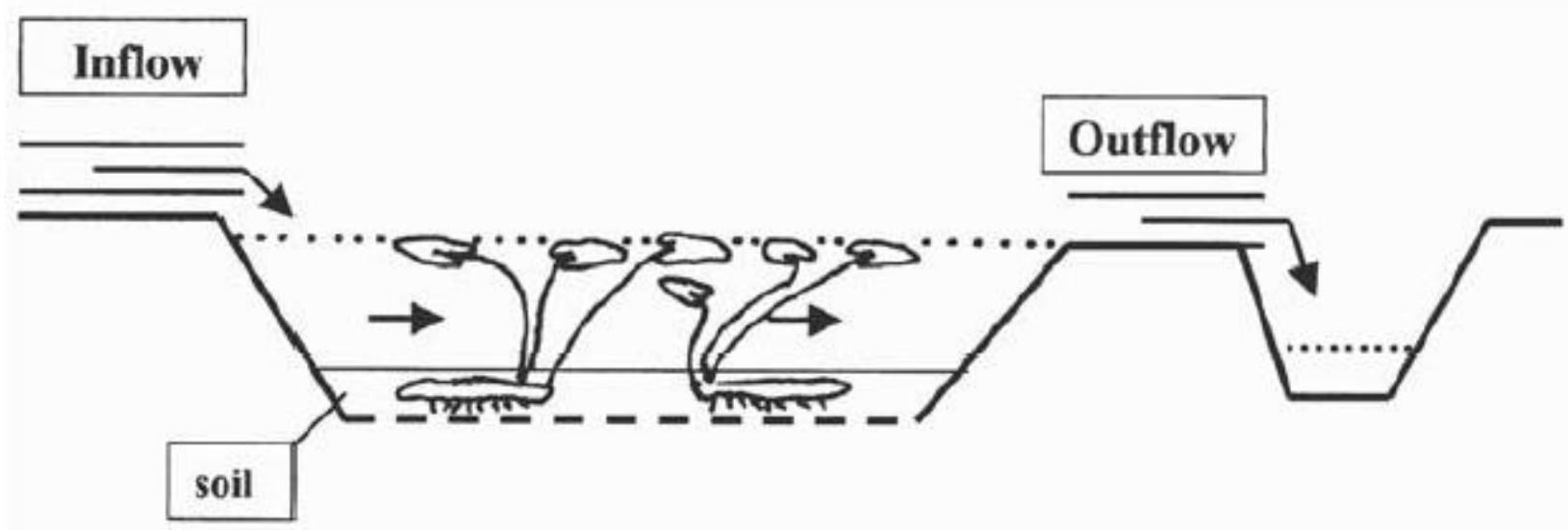
## Sistemas com macrófitas de flutuação livre

Eficiência de tratamento de zonas húmidas construídas em grande escala com jacinto de água. Resultados de 17 sistemas\*:

Parameter	Concentration			Loading		
	Inflow	Outflow	Efficiency (%)	Inflow	Outflow	Removal
		(mg L <sup>-1</sup> )			(kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	
BOD <sub>5</sub>	80	14.1	75.7	96	20	76
TSS	48.2	9.3	64.4	109	56	53
					(g m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )	
TN	14.6	6.6	59.5	838	431	407
TP	3.8	2.2	46.7	200	127	73

\*Japan (Oki, 1983), USA-Texas (Dinges, 1979; Dinges and Doersam, 1987), Iowa (Wooten and Dodd, 1976), Mississippi (Wolverton and McDonald, 1976, 1979), Florida (Kruzic, 1979; Stewart, 1979; Swett, 1979; Stewart et al., 1987; Reddy et al., 1982), California (Crites and Tchobanoglous, 1998), Thailand (Orth and Sapkota, 1988).

## Sistemas com macrófitas de folhas flutuantes



Schematic representation of a constructed wetland with floating-leaved macrophytes.  
From Vymazal (2001a)

## Sistemas com macrófitas de folhas flutuantes



Constructed wetland in Bainikeng in south China. The pond planted with *Nelumbo nucifera* Gearth is the third stage of a hybrid constructed wetland. Photo by Jan Vymazal

## Sistemas com macrófitas de folhas flutuantes

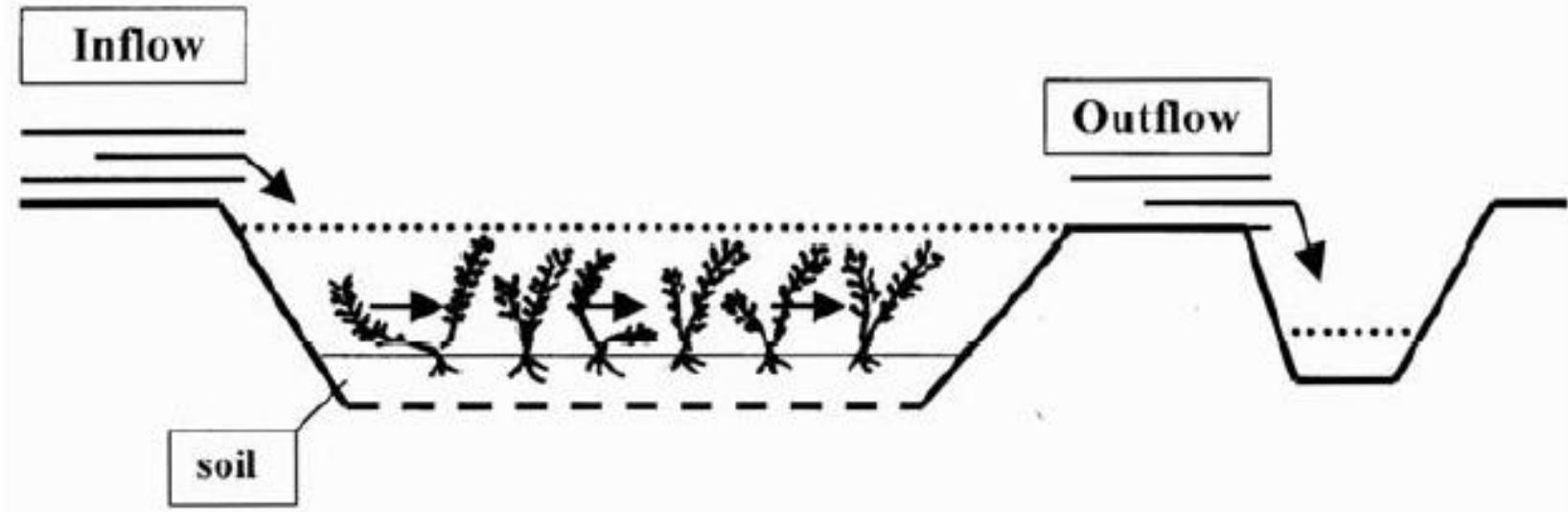
Treatment effect of a *Nelumbo* pond in a constructed wetland in Bainikeng, China.  
Results and data calculated from Wang et al. (1994) and Yang et al. (1994).

Parameter	Inflow	Outflow	Removal	Inflow	Outflow	Removed
	(mg l <sup>-1</sup> )	(%)			(kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	
BOD <sub>5</sub>	17.2	14.9	13	145	126	19
COD	60	56.2	6	506	474	32
SS	26.7	23.9	10	225	202	23
TN	21.9	20.2	8	185	170	18
TP	1.95	1.75	10	16.5	14.8	1.7
NH <sub>4</sub> -N	14.9	14.7	1	126	124	2
NO <sub>3</sub> -N	0.08	0.08	0	0.68	0.68	0

As zonas húmidas construídas com macrófitas de folhas flutuantes são muito raras e não há diretrizes sobre como projetar, operar e manter esses sistemas. Além disso, os resultados dos sistemas existentes são muito limitados e portanto, a utilidade desses sistemas é questionável.

# *Wetlands – sistemas*

## Sistemas com macrófitas submersas



Schematic representation of a constructed wetland with submerged macrophytes

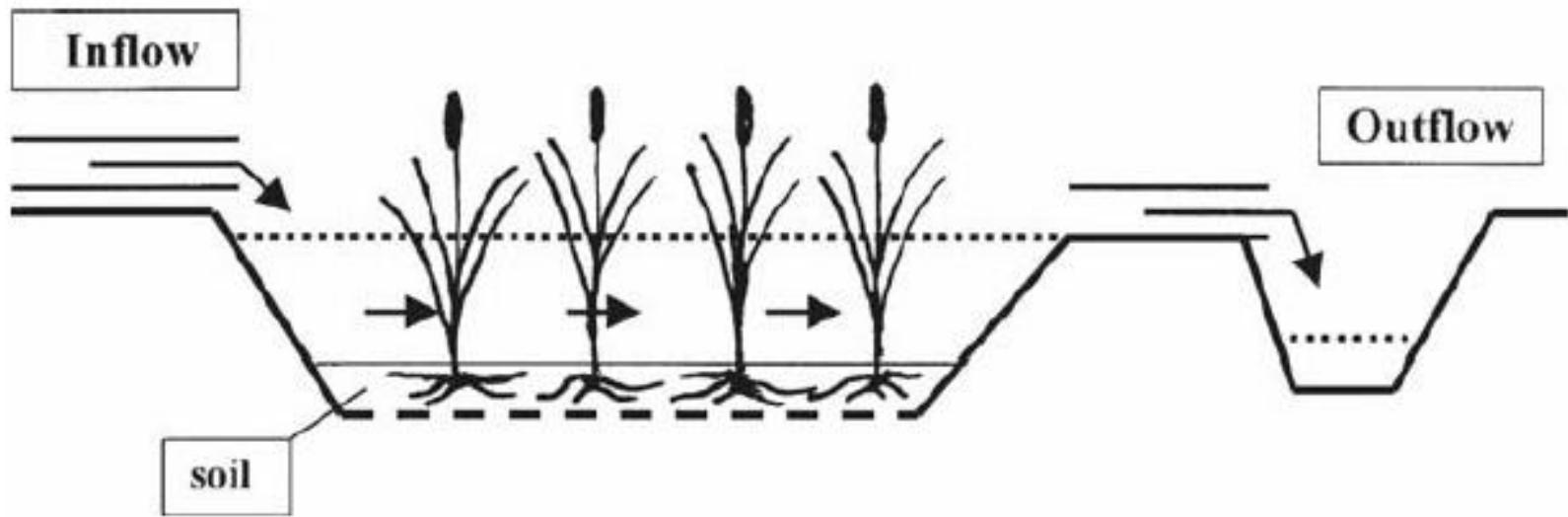
# *Wetlands – sistemas*

## Sistemas com macrófitas submersas



Stormwater Treatment (147 ha) in south Florida with *Ceratophyllum demersum* L.  
Currently provides P removal from nutrient-rich water of the Agricultural Area

## Sistemas com macrófitas emergentes



Schematic representation of the free water surface constructed wetland with emergent macrophytes. From Vymazal (2001a)

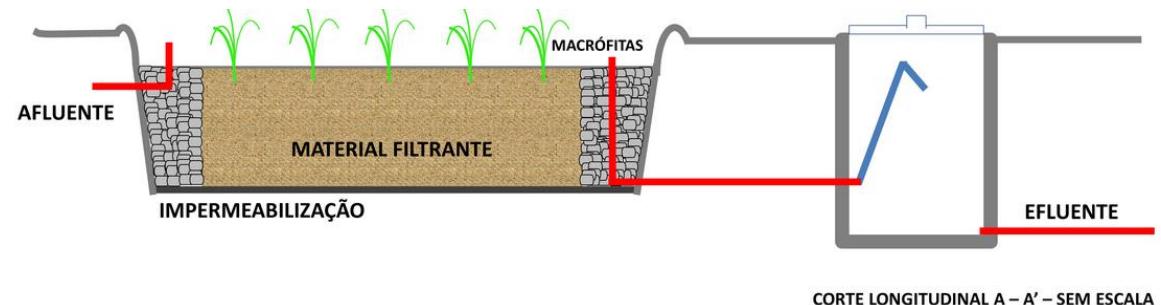
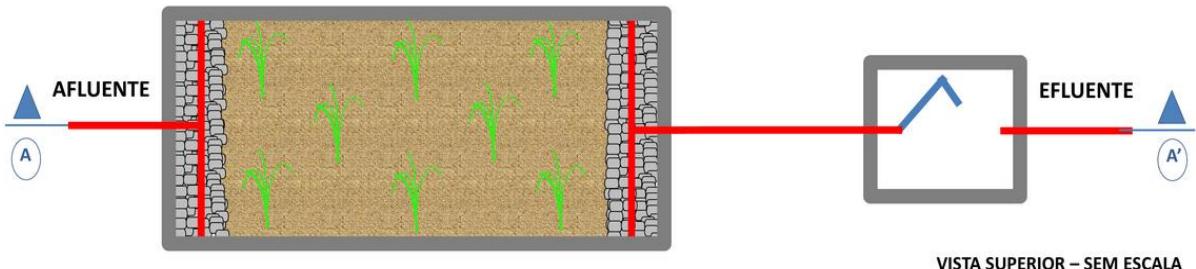
# *Wetlands – sistemas*

## Sistemas com macrófitas emergentes



Examples of water distribution at the inflow of FWS constructed wetlands. Top: Casino, NSW, Australia; bottom: Pensacola, Florida, USA. Photos by Jan Vymazal

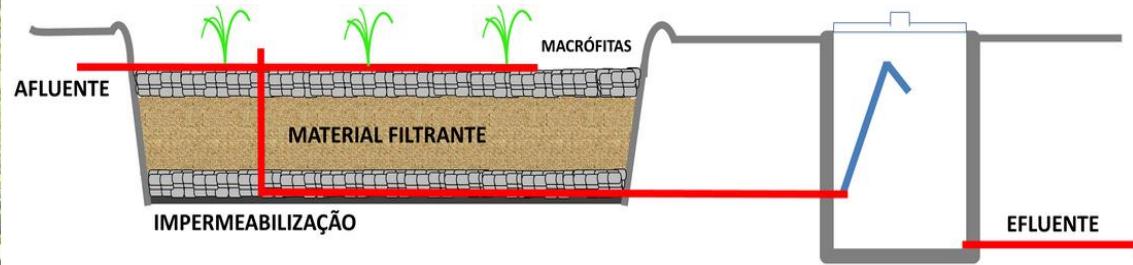
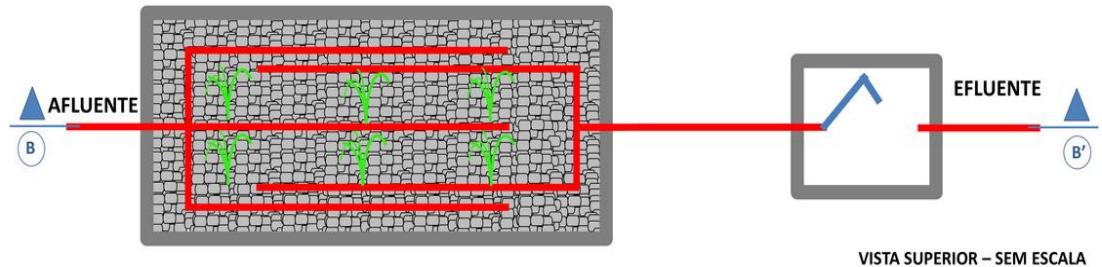
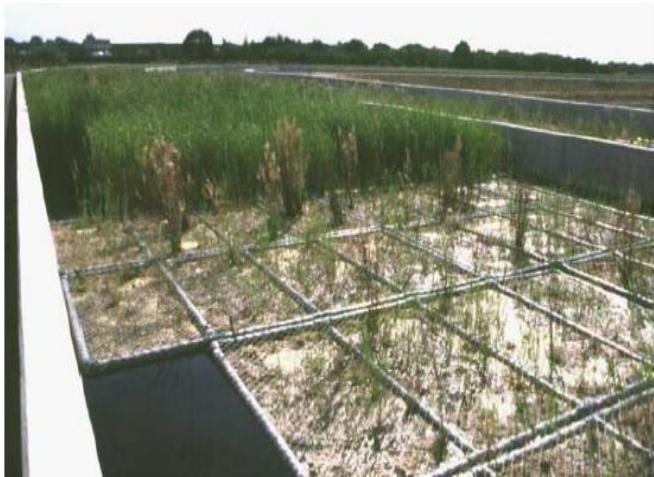
# *Escoamento Subsuperficial - Horizontal*



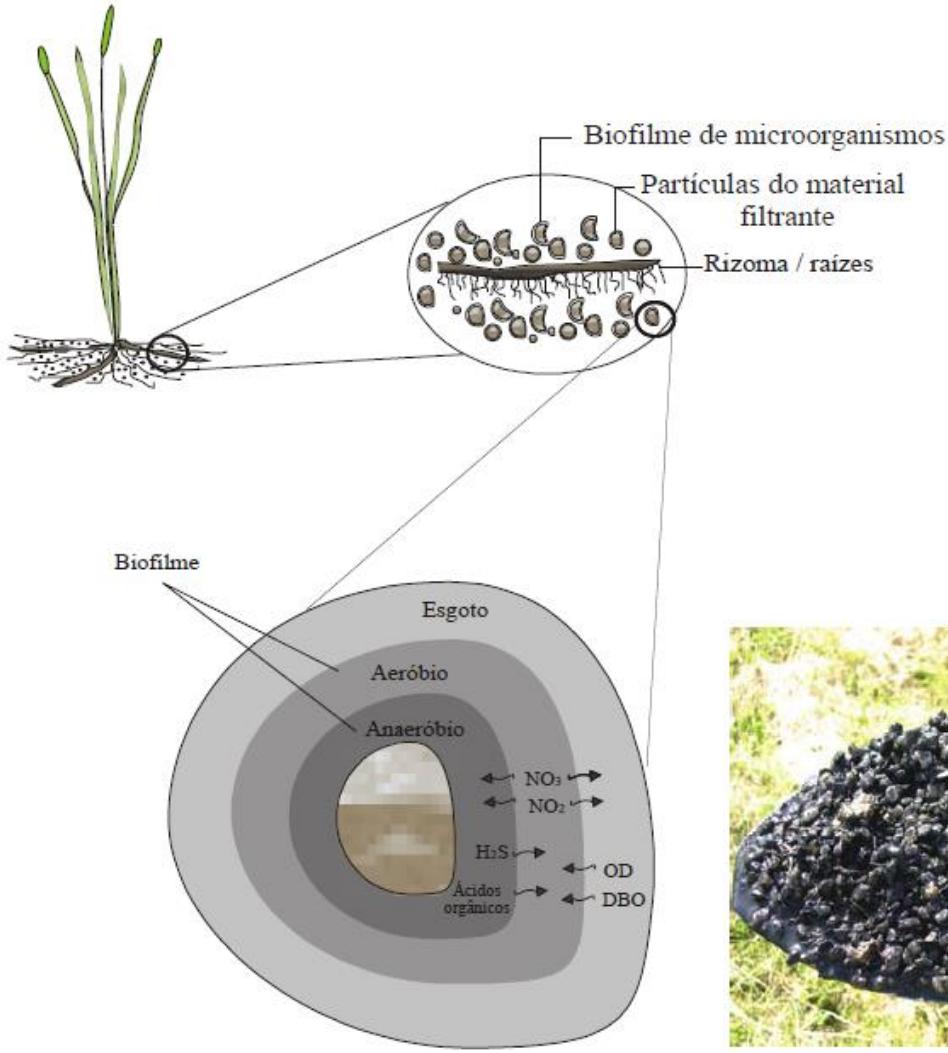
# *Escoamento Subsuperficial - HORIZONTAL*



# *Escoamento Subsuperficial - VERTICAL*

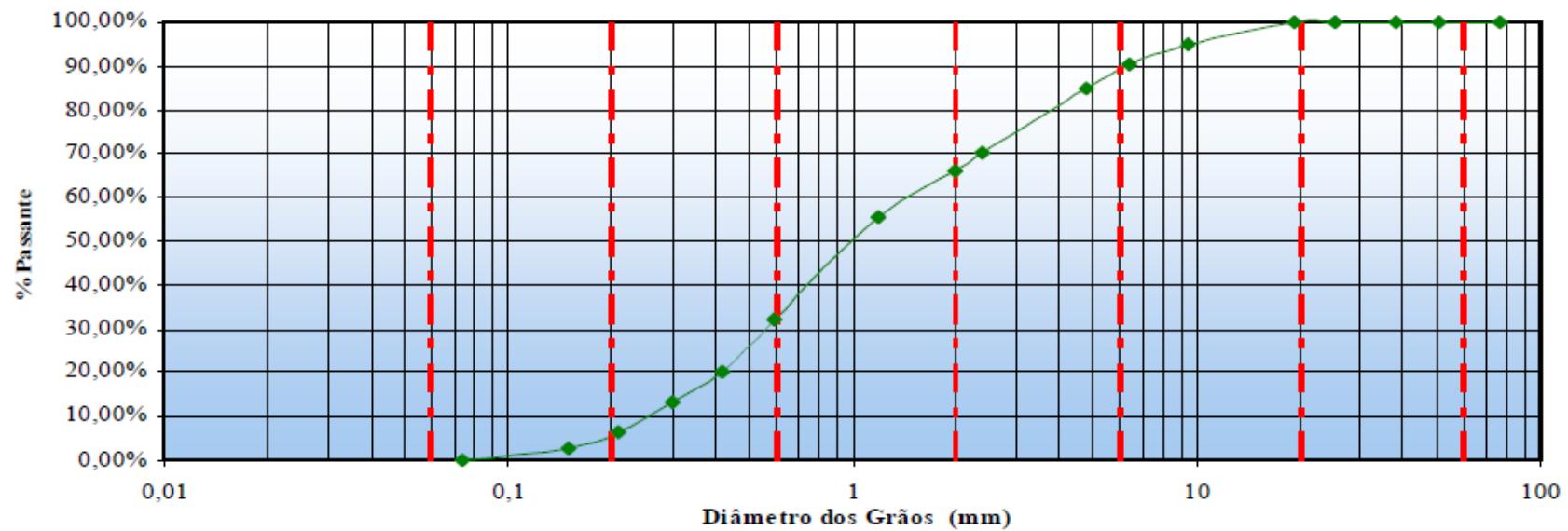


# Elementos Atuantes



# *Critérios essenciais – material filtrante*

**Curva Granulométrica**



**Recomendações:** (NBR 13969/97 – ABNT, 1997) =  $d_{10}$  entre 0,25mm e 1,20mm ;  $U < 4$

**Literatura internacional:**  $d_{10}$  superior a 0,20mm e  $U < 5$

**FONTE: GESAD - UFSC**

# *Critérios essenciais – impermeabilização*





# WETLAND PLANTS

Exemplos de macrófitas emergentes incluem:

*Acorus calamus* (Sweet flag)

*Baumea articulata* (Jointed twigrush)

*Bolboschoenus (Scirpus)* (Papyrus)

*Eleocharis* spp. (Spikerushes)

*Glyceria maxima* (Sweet managrass)

*Juncus* spp. (Rushes)

*Phalaris arundinacea* (Reed canarygrass)

*Phragmites australis* (Common reed)

*Panicum hemitomon* (Maidencane)

*Pontederia cordata* (Pickerelweed)

*Sagittaria* spp. (Arrowheads)

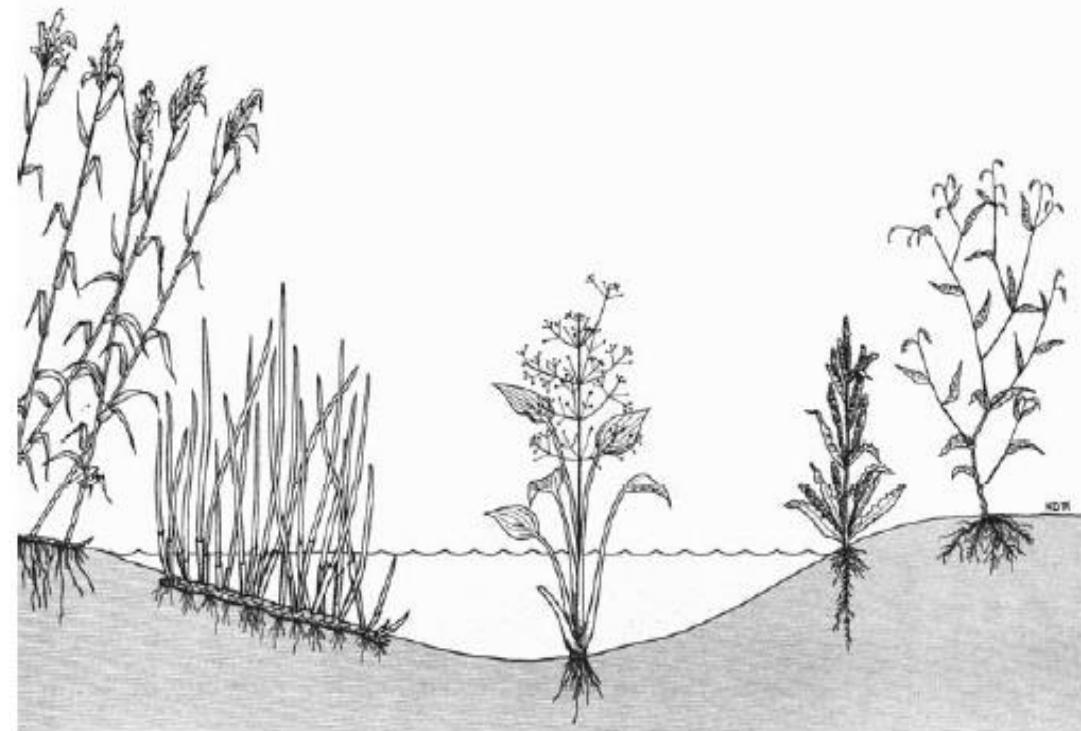
*Scirpus* spp. (Bulrushes)

*Sparganium* spp. (Bur-reeds)

*Spartina* spp. (Cordgrasses)

*Typha* spp. (Cattails)

*Zizania aquatica* (Wild rice)

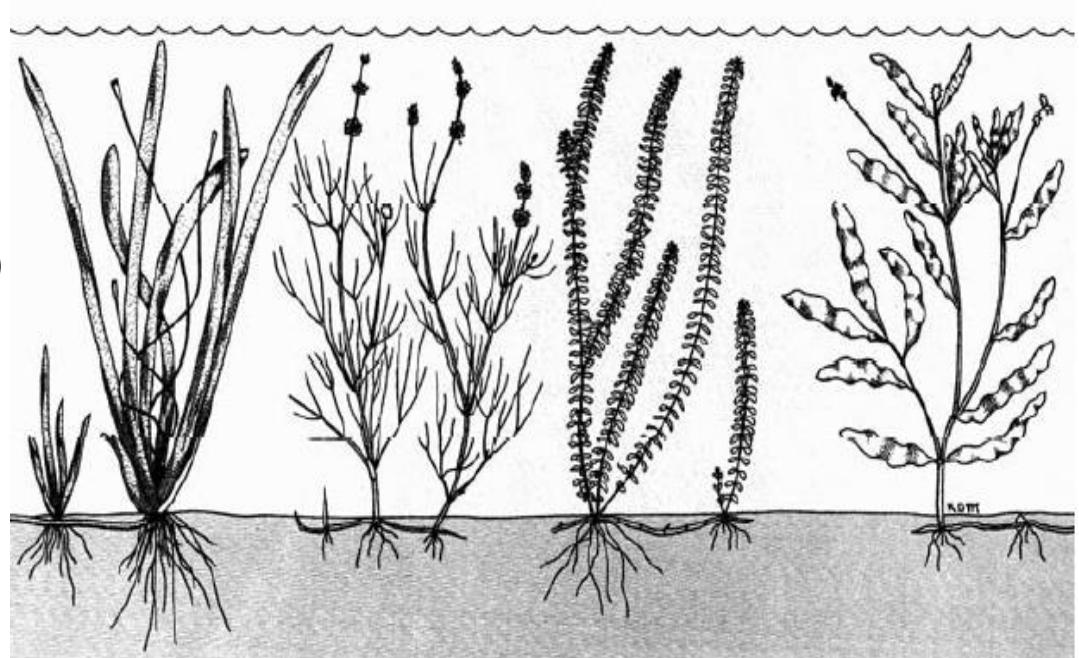


Emergent macrophytes  
(from Sainty and Jacobs, 1981, drawing by David Mackay).

# WETLAND PLANTS

**Exemplos de macrófitas submersas incluem:**

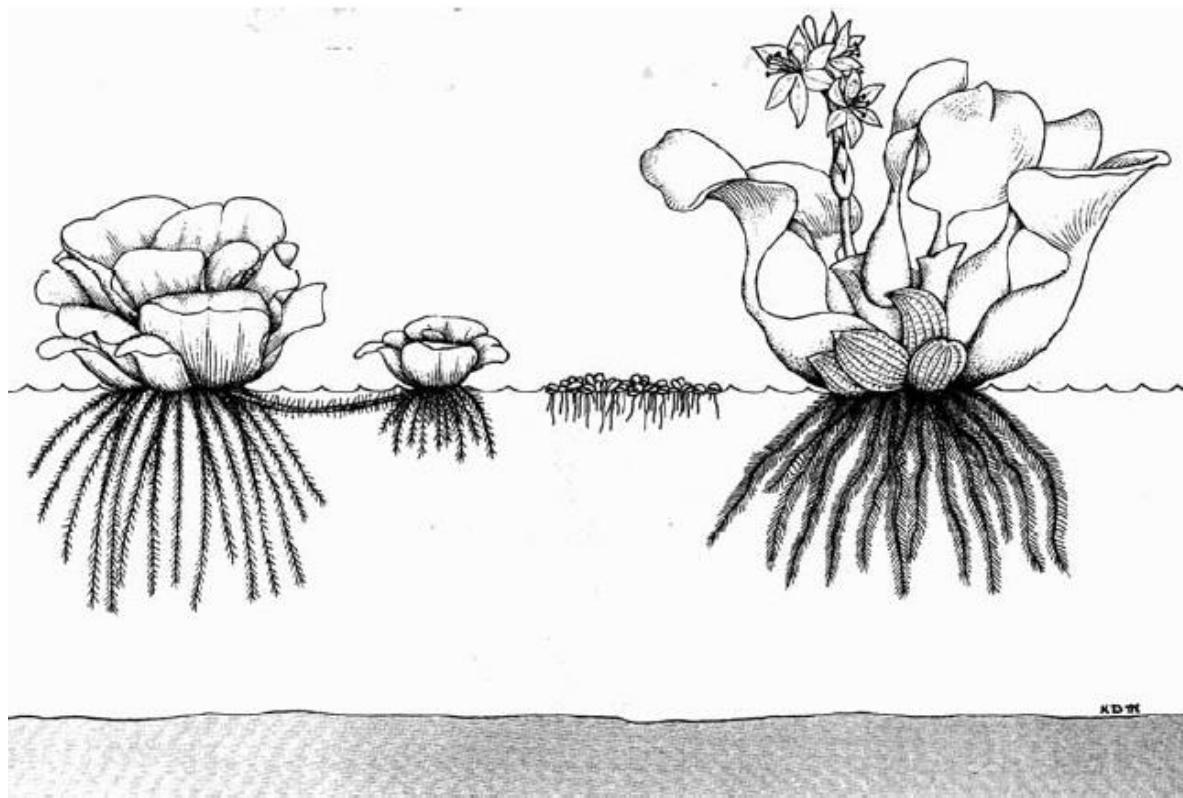
- Cacomba caroliniana* (Fanwort)
- Ceratophyllum* spp. (Coontails)
- Eggeria densa* (Brazilian waterweed)
- Elodea* spp. (Waterweeds)
- Hydrilla verticillata* (Hydrilla)
- Isoëtes* spp. (Quillworts)
- Myriophyllum* spp. (Watermilfoils)
- Najas* spp. (Water nymphs, Naiads)
- Potamogeton* spp. (Pondweeds)
- Utricularia* spp. (Bladderworts).



Submerged macrophytes  
(Sainty and Jacobs, 1981, drawing by David Mackay)

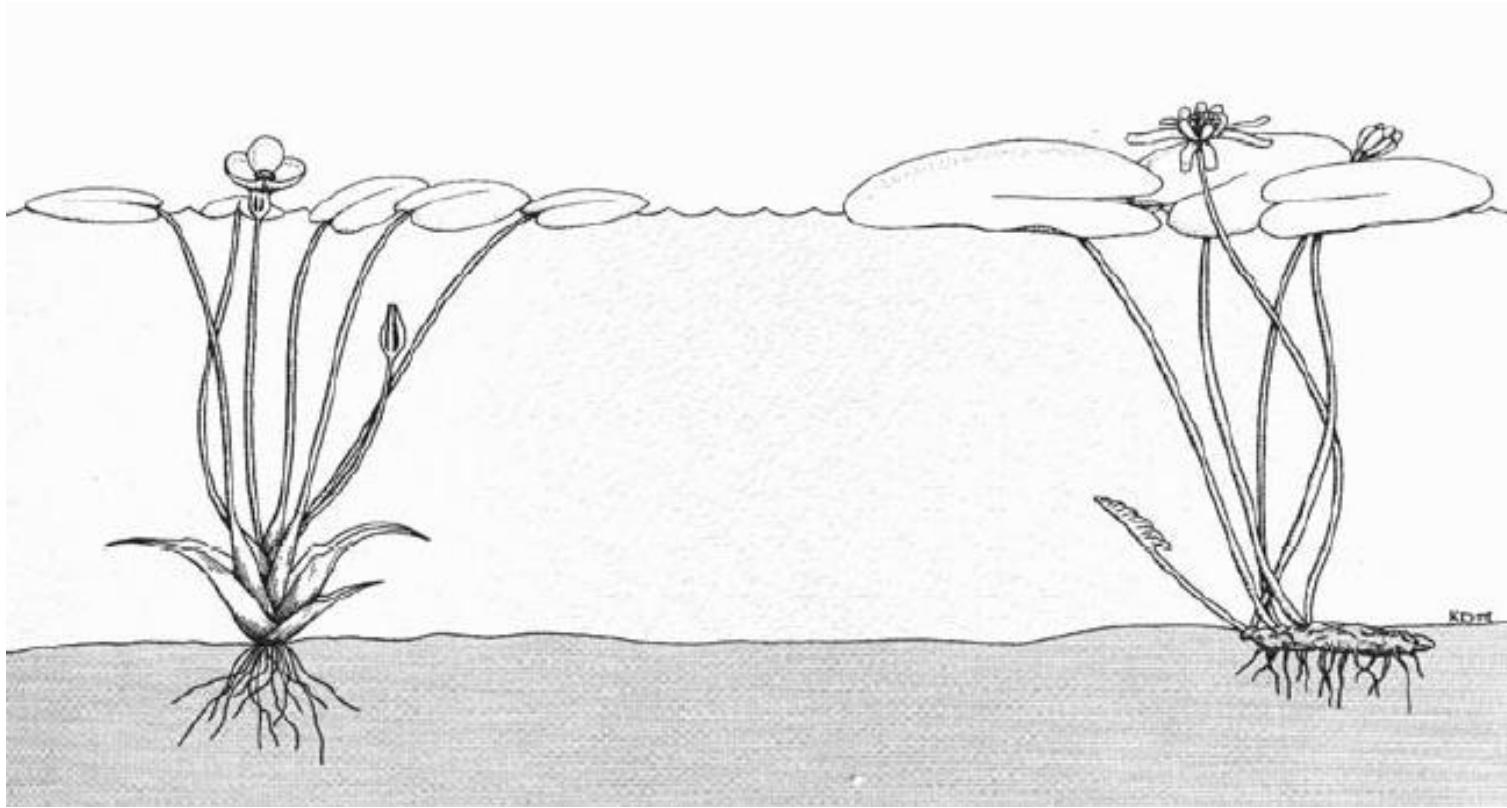
# WETLAND PLANTS

## Macrophtes de folhas flutuantes



Free floating macrophytes  
(Sainty and Jacobs, 1981, drawing by David Mackay)

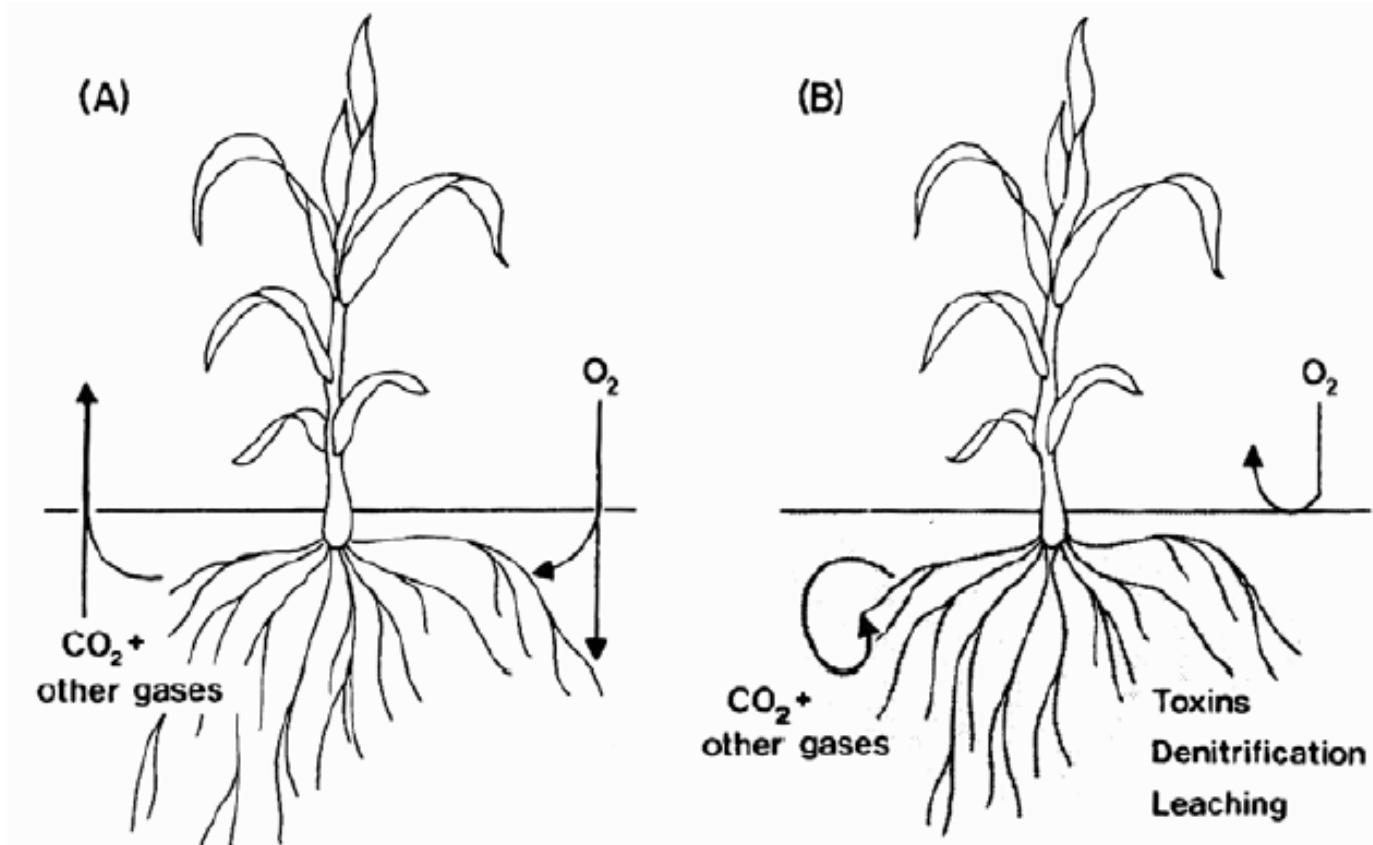
## Macrófitas de folhas flutuantes enraizadas



Floating-leaved rooted macrophytes  
(Sainty and Jacobs, 1981, drawing by David Mackay)

# WETLAND PLANTS

Efeito das inundações na troca de gás entre raízes, solo e atmosfera e na lixiviação e na formação de toxinas no solo.



(A) Bem aerado ( $3.5 - 17 \text{ L.O}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}$ ) (B) Inundado  
Jackson and Drew (1984)

# Vegetação: Macrofitas



Viveiro Itubanaiá – Vale do Ribeira

# Vegetação: Macrofitas



*Eichhornia crassipes*



*Pistia stratiotes*

# Vegetação: Macrófitas



*Ipomea aquatica*



*Phragmites australis*



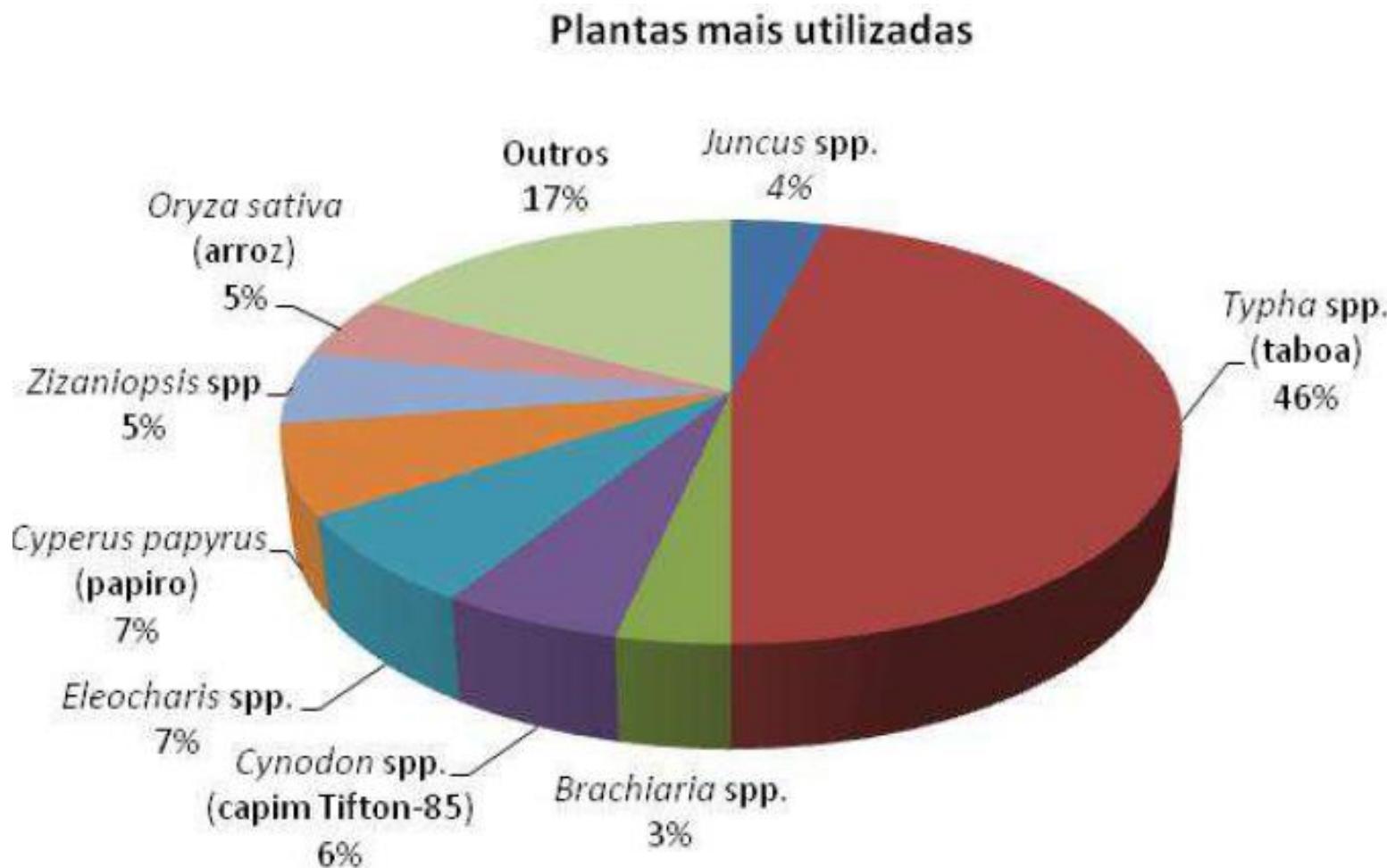
*Phalaris arundinacea*

# Vegetação: Macrófitas



***Typha* sp. = popularmente conhecida como taboa**

# Plantas mais utilizadas: Baseados em estudos no Brasil



FONTE: GESAD - UFSC

# Dimensionamento – WC HORIZONTAL

Cinética de primeira ordem aplicável aos reatores tipo pistão:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t)$$

onde:

$C_o$  = concentração afluente em termos de DBO (mg/L);

$C_e$  = concentração efluente em termos de DBO (mg/L);

$K_T$  = constante de reação cinética de 1º ordem – dep. da temp. T ( $d^{-1}$ );

T = tempo de retenção hidráulico (d).

$$A = \frac{Q_a x (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T x p x n}$$

onde:

A = área superficial requerida ( $m^2$ );

$Q_a$  = vazão afluente ( $m^3/d$ );

$C_o$  = concentração afluente em termos de DBO (mg/L);

$C_e$  = concentração efluente em termos de DBO (mg/L);

$K_T$  = constante de reação cinética de primeira ordem ( $d^{-1}$ );

n = porosidade do material filtrante ( $m^3$  de vazios / $m^3$  de material).

p = profundidade média do filtro (m).



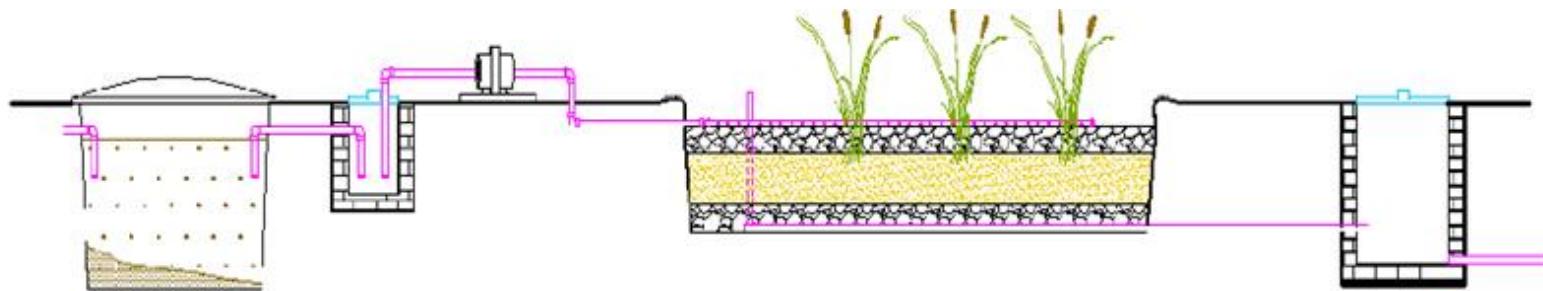
# WC Horizontal: relação área per capita

WETLAND CONSTRUÍDO – FLUXO HORIZONTAL				
AFLUENTE	VAZÃO (L/d)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	RELAÇÃO ÁREA PER CAPITA (m <sup>2</sup> /PESSOA)	REFERÊNCIAS
<b>Esgoto universitário</b>	1200	4,00	0,50 (mínimo)	Valentim (2003)
	200	4,00	3,00 (máximo)	Valentim (2003)
<b>Esgoto sanitário</b>	6480	6,00	0,14 (mínimo)	Avelar, <i>et al.</i> (2009ab)
	450	24,00	8,00 (máximo)	Borges, <i>et al.</i> (2008)
<b>Águas superficiais</b>	7,8	0,41	3,92 (mínimo)	Meira, <i>et al.</i> (2001)
	15,7	0,41	7,88 (máximo)	Meira, <i>et al.</i> (2001)
<b>Águas residuárias laticínios</b>	60	2,14	5,48 (mínimo)	Matos, <i>et al.</i> (2010a)
	60	2,25	5,62 (máximo)	Matos, <i>et al.</i> (2010c)
<b>Águas residuárias suinocultura</b>	576	4,24	1,10 (mínimo)	Hussar (2001)
	800	26,4	4,95 (máximo)	Matos, <i>et al.</i> (2010bd)
<b>Águas cinza</b>	450	8,00	2,66 (mínimo)	Magri, <i>et al.</i> (2011)
	300	7,20	3,60 (máximo)	Monteiro, <i>et al.</i> (2009)
<b>Lixiviado de aterro sanitário</b>	50000	5000	15,00 (mínimo)	Bidone (2007)
	18000	5000	42,00 (máximo)	Bidone (2007)

FONTE: Adaptado de Sezerino, 2009 - GESAD - UFSC

# Dimensionamento – WC VERTICAL

Balanço de oxigênio (Platzer, 1999):



**Balanço de O<sub>2</sub> – equações:**

$$\text{Demanda de O}_2 \text{ (g/d)} = (0,85 * 0,7 * \text{DQO}_{\text{aflu}}) + (4,3 * \text{NTK}_{\text{aflu}}) - (0,1 * 2,9 * \text{NTK}_{\text{aflu}})$$

$$\text{Convecção de O}_2 \text{ (g/d)} = 0,3 * Q * 1000$$

$$\text{Difusão de O}_2 \text{ (g/d)} = 1 * \text{área prevista} * [24 - (1,5 * \text{número de aplicações})]$$

$$\text{Balanço} = \text{convecção de O}_2 \text{ (g/d)} + \text{difusão de O}_2 \text{ (g/d)} - \text{demanda de O}_2 \text{ (g/d)} > 0$$

# WC Horizontal: Eficiências alcançadas



100 trabalhos publicados no BR entre 1999-2011

## Para relação - 2 m<sup>2</sup>/pessoa

- remoção de 90% de DBO<sub>5</sub>;
- remoção de 90% de SS;
- remoção de 20% de amônia;
- remoção de 30% de fósforo.

# WC Vertical: Limites e Possibilidades

## POSSIBILIDADES



**Para relação - 1,2 m<sup>2</sup>/pessoa**

pH = 6,29 ± 0,35

DQO = 72%

NH<sub>4</sub>-N = 78% com nitrificação de 73%

SS = 70% de remoção



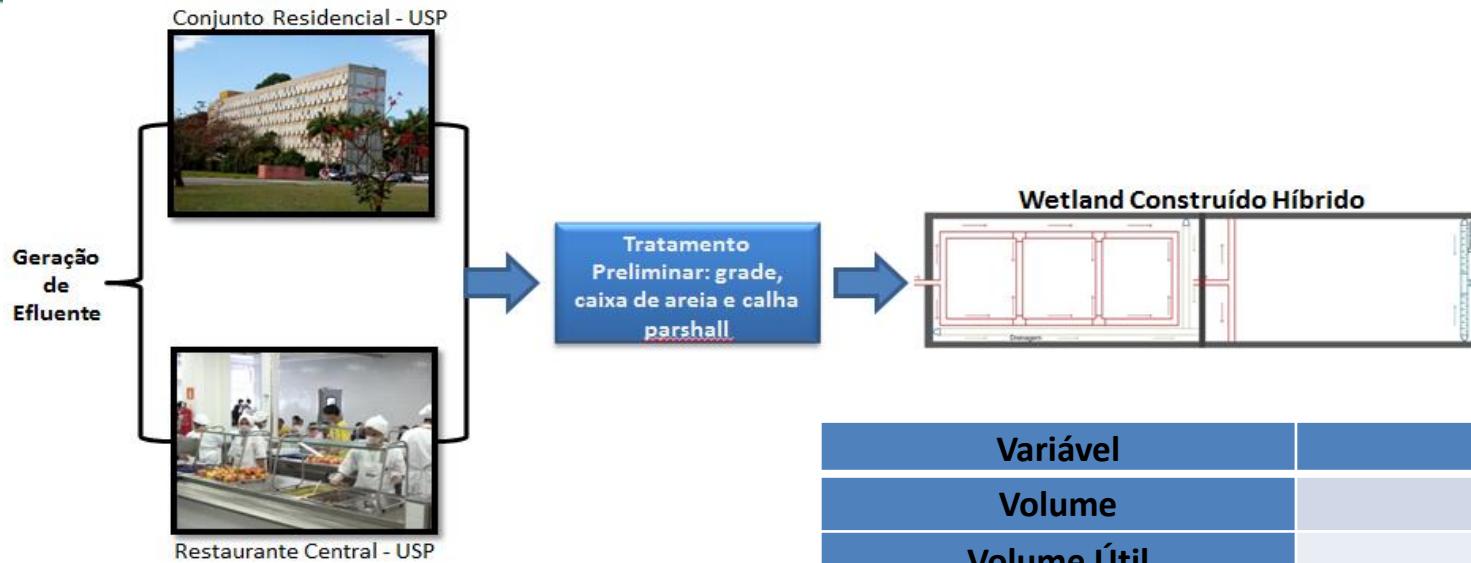
# Wetlands Construídas: Tratamento de água cinza visando o reúso não potável (Monteiro, 2009).



- Para relação 1 m<sup>2</sup>/pessoa;
- Vazão afluente: 297 L/min;
- Turbidez: 92% - < 6,0 NTU;
- Cor: 76% - valor médio de 76 U.C;
- DQO e DBO: 60%
- Sulfeto: 70%
- O.G.: 71%
- Surfactantes: 70 %

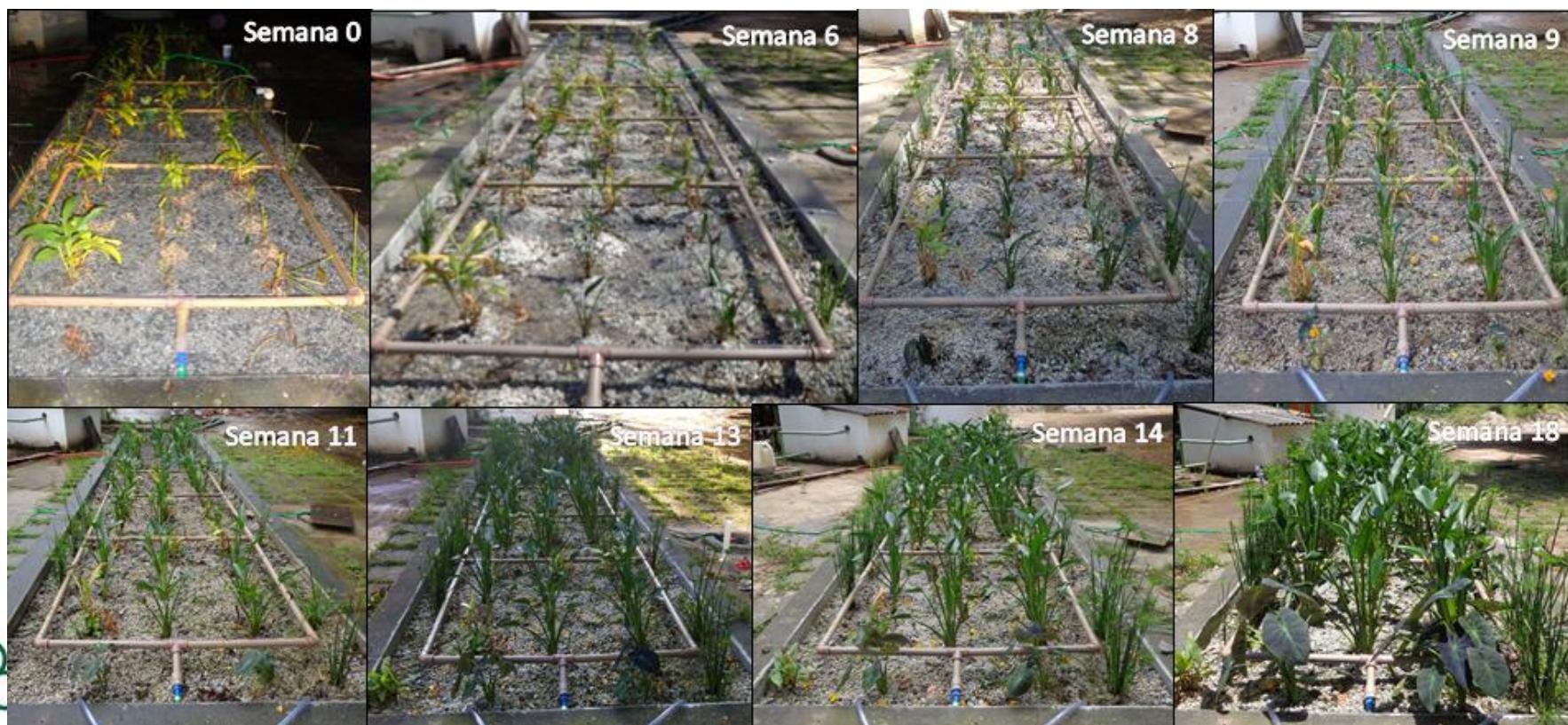


# Wetlands Construídas: Tratando esgoto sanitário (Victoretti, 2013).



Variável	WCH
Volume	<b>3960L</b>
Volume Útil	<b>1777L</b>
Área	<b>7,2 m<sup>2</sup></b>
Vazão	<b>200L/dia</b>
Taxa de aplicação superficial de projeto	<b>200KgDBO/ha.dia</b>
Taxa de aplicação superficial efetiva	<b>214KgDBO/ha.dia</b>
Aplicações por dia	<b>8</b>
Duração de cada aplicação	<b>5min</b>
Intervalo entre as aplicações	<b>3h</b>
Volume por aplicação	<b>25L</b>

# Wetlands Construídas: Tratando esgoto sanitário (Victoretti, 2013)



# Wetlands Construídas: Tratando esgoto sanitário (Victoretti, 2013)

Variável DQO	Esgoto Bruto	Efluente WCFV	Efluente WCFH
Média (mg/L)	<b>669</b>	<b>253</b>	<b>78</b>
Mínimo (mg/L)	<b>448</b>	<b>124</b>	<b>11</b>
Máximo (mg/L)	<b>850</b>	<b>350</b>	<b>170</b>
C.V. (%)	<b>0,19</b>	<b>0,25</b>	<b>0,71</b>
Desvio Padrão	<b>130,1</b>	<b>63,9</b>	<b>55,7</b>

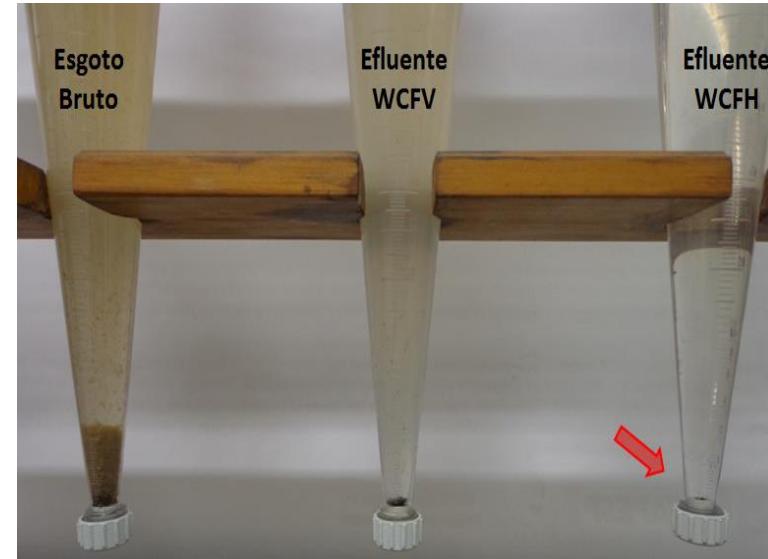
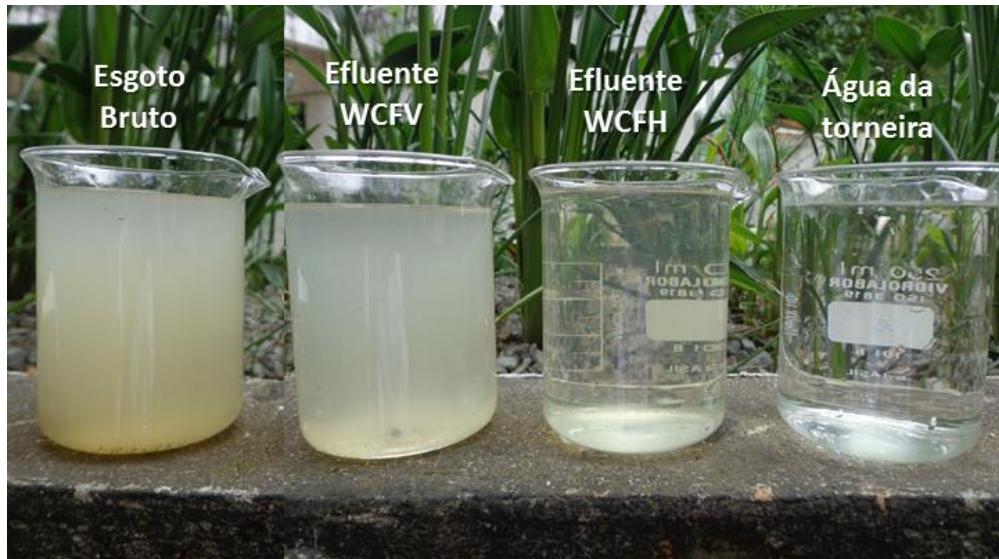
Variável Fósforo	Esgoto Bruto	Efluente WCFV	Efluente WCFH
Média (mgP/L)	<b>5,4</b>	<b>3,5</b>	<b>1,9</b>
Mínimo (mgP/L)	<b>4,1</b>	<b>2,2</b>	<b>1,1</b>
Máximo (mgP/L)	<b>6,5</b>	<b>4,8</b>	<b>3,5</b>
C.V. (%)	<b>0,12</b>	<b>0,18</b>	<b>0,31</b>
Desvio Padrão	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>

Variável Nitrogênio	NKT (mgN/L)			NH <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgN/L)		
	Esgoto Bruto	Efluente WCFV	Efluente WCFH	Esgoto Bruto	Efluente WCFV	Efluente WCFH
Média	<b>69</b>	<b>44</b>	<b>32</b>	<b>47</b>	<b>37</b>	<b>28</b>
Mínimo	<b>53</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>24</b>	<b>17</b>
Máximo	<b>81</b>	<b>62</b>	<b>44</b>	<b>56</b>	<b>44</b>	<b>40</b>
C.V. (%)	<b>0,12</b>	<b>0,26</b>	<b>0,27</b>	<b>0,12</b>	<b>0,19</b>	<b>0,23</b>
Desvio Padrão	<b>8,1</b>	<b>11,3</b>	<b>8,6</b>	<b>5,5</b>	<b>6,8</b>	<b>6,4</b>

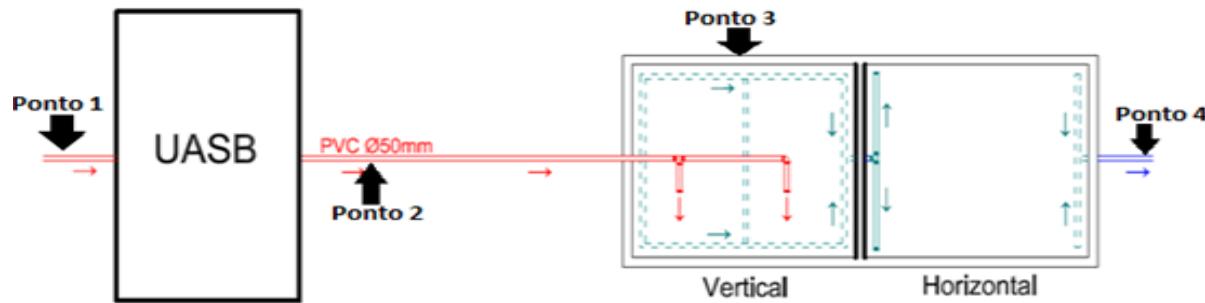
# Wetlands Construídas: Tratando esgoto sanitário (Victoretti, 2013)

Variável	Sólidos em Suspensão Totais		
	Esgoto Bruto	Ef. WCFV	Ef. WCFH
Média	229	41	12
Mínimo	152	24	4
Máximo	328	66	26
C.V. (%)	0,20	0,34	0,57
Desvio Padrão	45,7	14,1	6,6

Variável	Esgoto Bruto	Efluente WCFV	Efluente WCFH
Média (NTU)	123	19	5
Mínimo (NTU)	82	9	2
Máximo (NTU)	177	36	7
C.V. (%)	0,17	0,44	0,21
Desvio Padrão	21,1	8,3	1,0



## Tratamento de Esgoto Sanitário por Sistema Híbrido de Wetlands Construído como pós-tratamento de efluentes de reator UASB (Simões, 2014)



# Tratamento de Esgoto Sanitário por Sistema Híbrido de Wetlands Construído como pós-tratamento de efluentes de reator UASB (Simões, 2014)

Variável Turbidez	Esgoto Bruto	UASB	Efluente WCFV	Efluente WCFH
Média (NTU)	150	80	10	3
Mínimo (NTU)	50	30	5	1
Máximo (NTU)	240	190	22	5
C.V. (%)	20,0	25,0	18	10
Desvio Padrão	15	22	15	5

Variável DQO	Esgoto Bruto	UASB	Efluente WCFV	Efluente WCFH
Média (mg/L)	700	265	93	27
Mínimo (mg/L)	550	173	30	13
Máximo (mg/L)	820	450	168	48
C.V. (%)	12	34	46	42
Desvio Padrão	86,6	89,1	72,8	11,3

Variável $\text{NH}_3^-$	Esgoto Bruto	UASB	Efluente WCFV	Efluente WCFH
Média (mgN/L)	87	80	34	26
Mínimo (mgN/L)	71	68	22	18
Máximo (mgN/L)	110	107	56	35
C.V. (%)	14	15	33	21
Desvio Padrão	12,2	12,0	11,4	5,6

Variável Fósforo	Esgoto Bruto	UASB	Efluente WCFV	Efluente WCFH
Média (mgP/L)	8,2	6,5	5,0	3,9
Mínimo (mgP/L)	6,5	3,1	2,9	1,9
Máximo (mgP/L)	10,0	9,0	7,0	5,9
C.V. (%)	15,0	27,0	32,0	37,0
Desvio Padrão	1,2	1,8	1,6	1,4

DQO > 92%     $\text{NH}_3^-$  > 80%     $P_{\text{total}}$  > 75%

# IMPLEMENTAÇÃO DE WETLANDS CONSTRUÍDAS EM ESCALA REAL PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO EM RESIDÊNCIAS DA BARRA DO RIBEIRA NO MUNICÍPIO DE IGUAPE – SÃO PAULO

ETAPA DE TRATAMENTO	RESIDÊNCIA 1	RESIDÊNCIA 2
Caixa de Gordura	20 litros	20 litros
Tanque Séptico	1000 litros	1000 litros
Filtro Anaeróbio	1000 litros	1000 litros
Wetland Construída	10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>

\* A área das wetlands foi considerada de  $\pm 2\text{m}^2/\text{hab.}$ , valor recomendado pela literatura.

**Residência 1 (A) e Residência 2 (B).**



**Figura 4:** Sistema de drenagem da WC de fluxo horizontal e sistema de alimentação do fluxo vertical da WC-Híbrida

# Vale do Ribeira



- Para relação 2 m<sup>2</sup>/pessoa

- Turbidez: < 5,0 NTU

- Cor: < 10 U.C

- DQO e DBO: > 80%

- NH<sub>3</sub>: > 60%



A

B

C

D





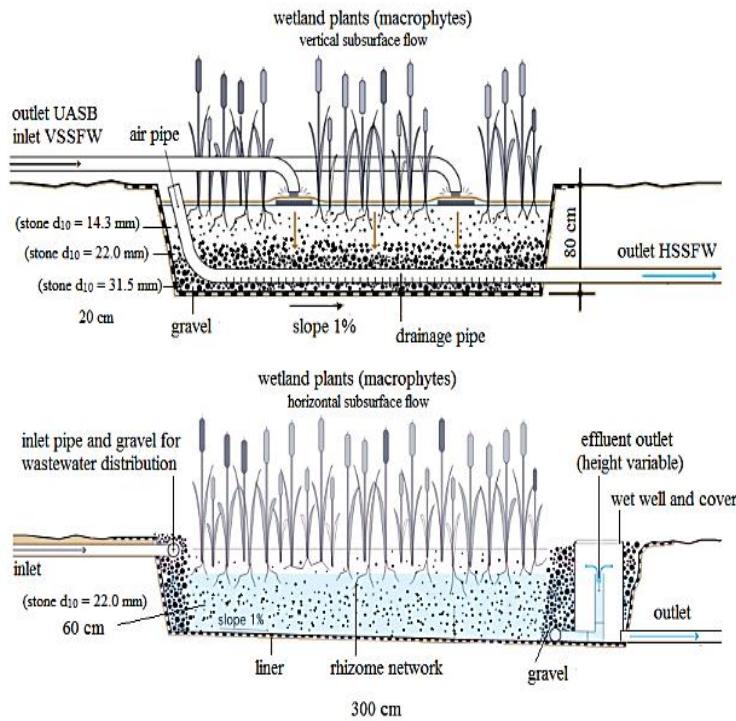




# UASB TECHNOLOGY AND CONSTRUCTED WETLAND HYBRID FOR DOMESTIC WASTEWATER

Rodrigo F. Bueno<sup>1</sup>, Fábio Campos<sup>2</sup> and Roque P. Piveli<sup>2</sup>

Reactor UASB



wetland plants (macrophytes)



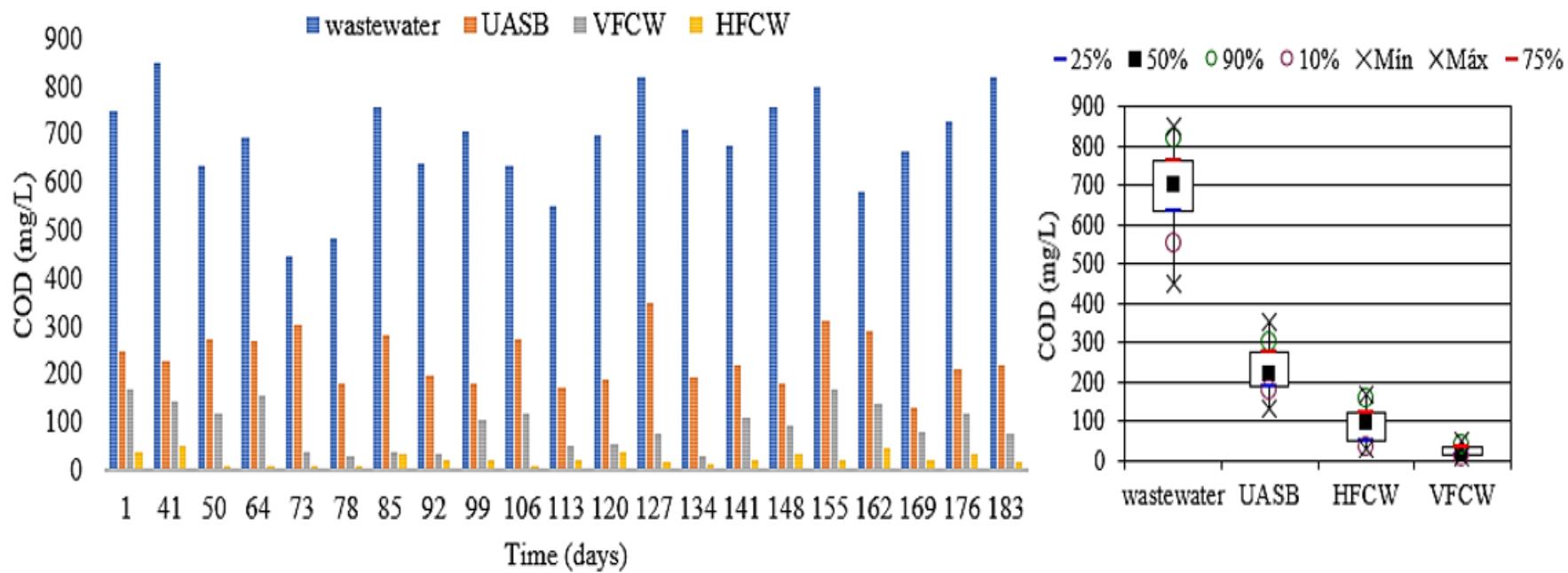
# UASB TECHNOLOGY AND CONSTRUCTED WETLAND HYBRID FOR DOMESTIC WASTEWATER

Rodrigo F. Bueno<sup>1</sup>, Fábio Campos<sup>2</sup> and Roque P. Piveli<sup>2</sup>

Parameters	Unit	n	Raw Wastewater	UASB	Wetland (VFCH)	Wetland (HFCH)
COD	mg/L	21	687±107	234±56	93±47	24±13
TSS	mg/L	21	303±100	95±30	33±10	5±4
Alkalinity	mgCaCO <sub>3</sub> /L	21	199±42	215±33	236±55	266±47
Nitrite	mgN/L	12	< 0.1	< 0.1	0.2±0.1	< 0.1
Nitrate	mgN/L	12	< 0.1	< 0.1	1.8±0.5	< 0.1
TKN	mgN/L	21	82±12	72±12	35±11	27±9
Ammonia	mgN/L	21	63±10	55±8	27±9	23±8
P-total	mgP/L	12	7.4±1.6	5.6±1.8	4.0±1.4	2.7±1.0
pH	-	12	6.9±0.2	6.9±0.2	7.2±0.3	7.5±0.3
Turbidity	NTU	21	150±15	80±22	10±5	3±1
Sedimentantary residue	mL/L	12	32±10	15±5	1.0±1.0	< 1.0
Faecal Coliforms	CFU/100mL	12	9.2x10 <sup>5</sup>	2.0x10 <sup>5</sup>	1.6x10 <sup>4</sup>	4.5x10 <sup>3</sup>
Helminth eggs	Eggs/100mL	6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

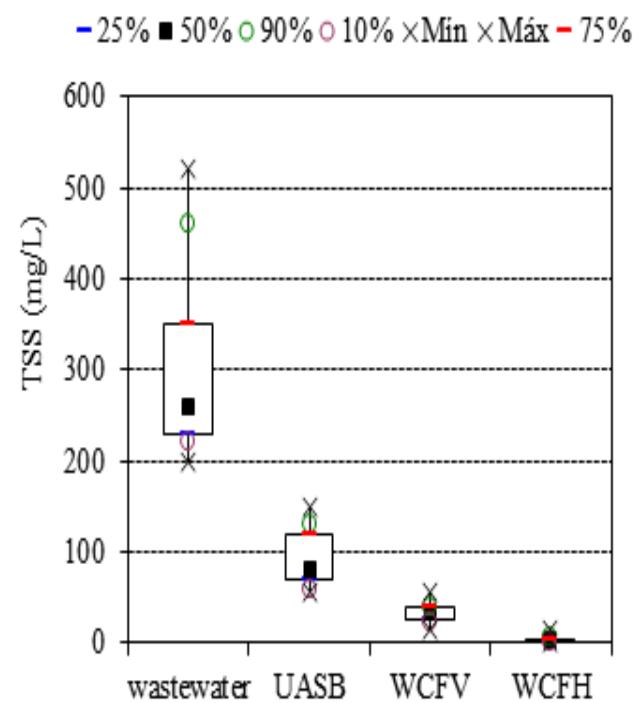
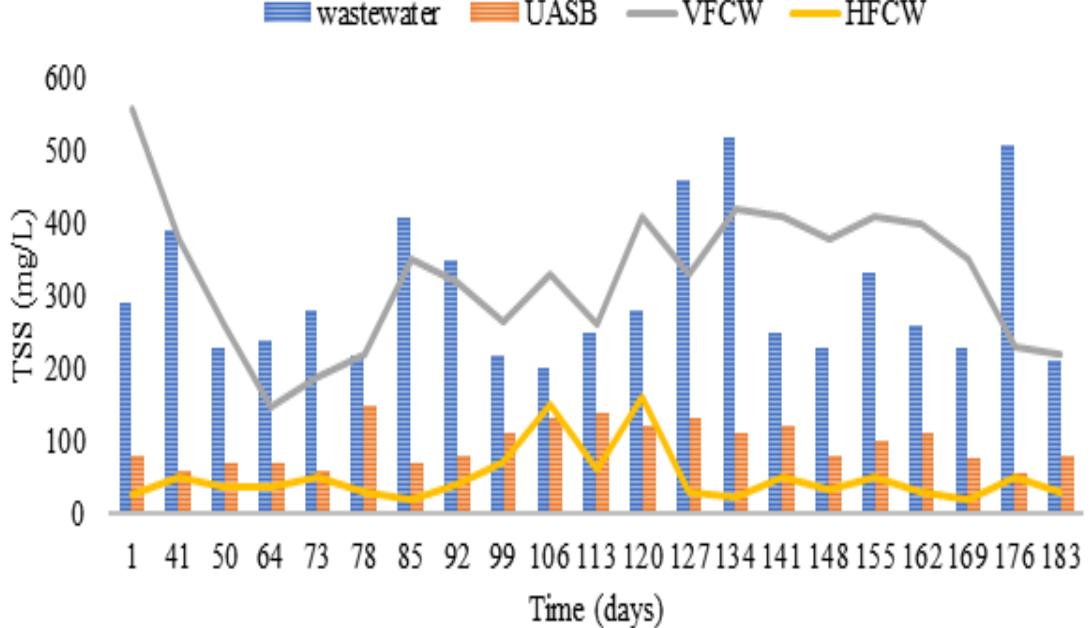
# UASB TECHNOLOGY AND CONSTRUCTED WETLAND HYBRID FOR DOMESTIC WASTEWATER

Rodrigo F. Bueno<sup>1</sup>, Fábio Campos<sup>2</sup> and Roque P. Piveli<sup>2</sup>



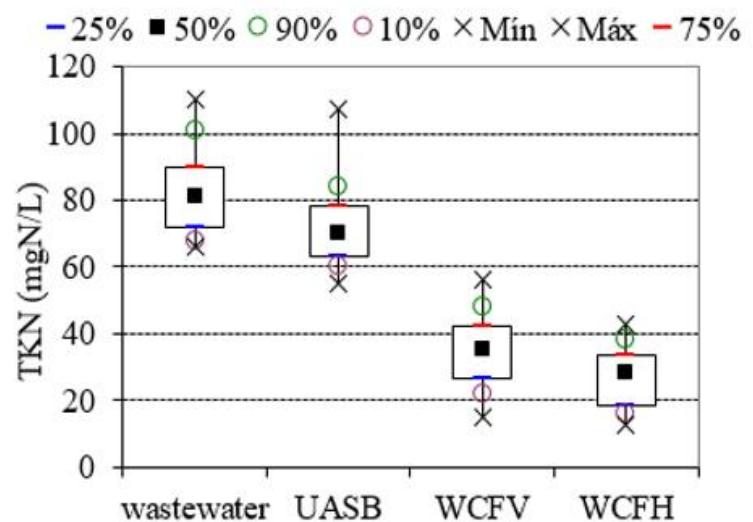
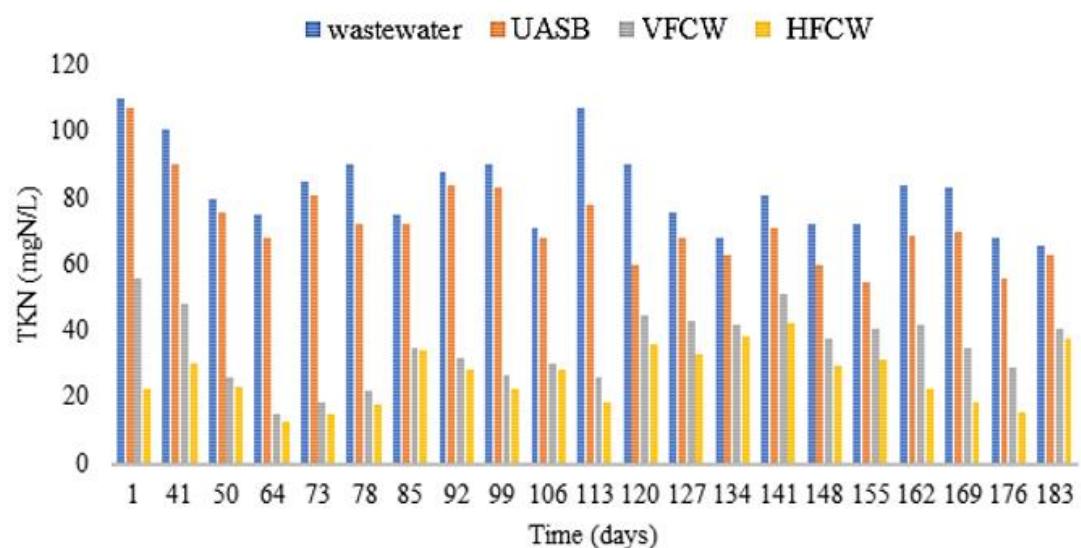
# UASB TECHNOLOGY AND CONSTRUCTED WETLAND HYBRID FOR DOMESTIC WASTEWATER

Rodrigo F. Bueno<sup>1</sup>, Fábio Campos<sup>2</sup> and Roque P. Piveli<sup>2</sup>



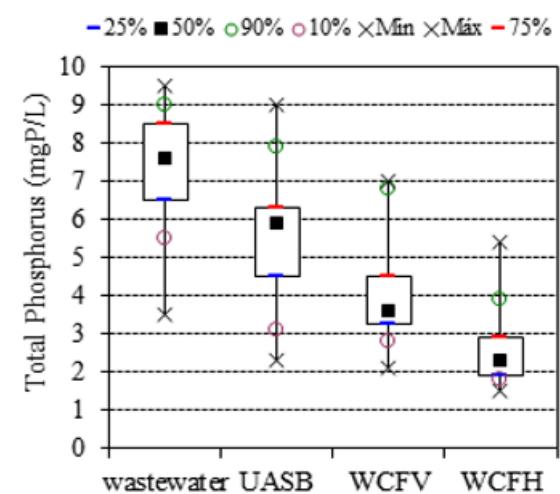
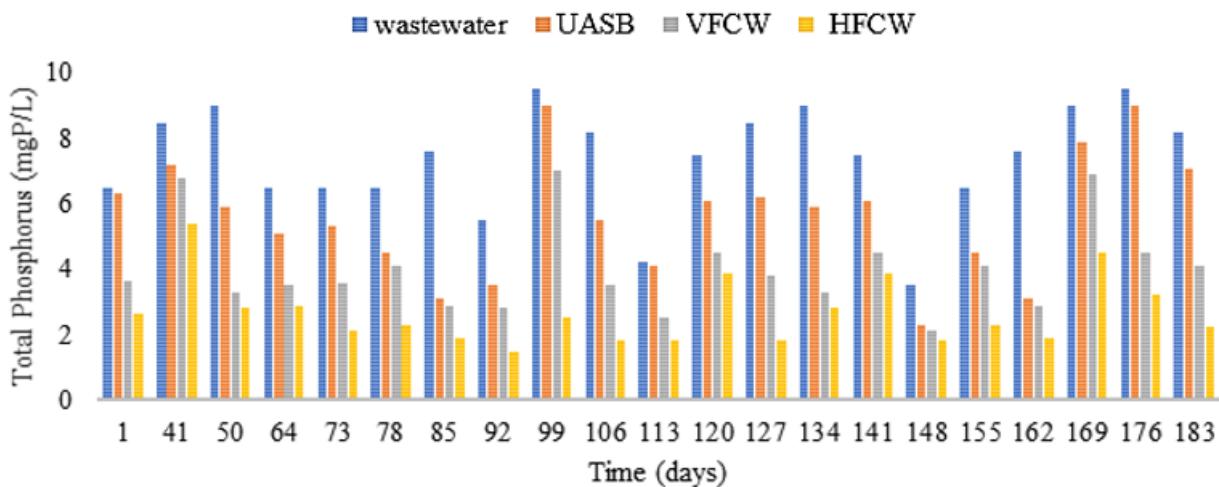
# UASB TECHNOLOGY AND CONSTRUCTED WETLAND HYBRID FOR DOMESTIC WASTEWATER

Rodrigo F. Bueno<sup>1</sup>, Fábio Campos<sup>2</sup> and Roque P. Piveli<sup>2</sup>



# UASB TECHNOLOGY AND CONSTRUCTED WETLAND HYBRID FOR DOMESTIC WASTEWATER

Rodrigo F. Bueno<sup>1</sup>, Fábio Campos<sup>2</sup> and Roque P. Piveli<sup>2</sup>



# Exemplo de dimensionamento:

**Exercício:** Dimensionar uma configuração de tratamento de esgoto a qual é composta por tanque séptico, filtro anaeróbio e **wetlands construído**. Esta configuração compõe um sistema descentralizado de esgotamento sanitário.

## Dados:

- 05 pessoas por residência na área a ser atendida;
- 40 residências a serem atendidas;
- Contribuição per capita de esgoto (C): Tabela 01 da NBR 7229 – **adotado 100 L/hab.d**;
- Média do mês mais frio na região  $t=12^{\circ}\text{C}$ ;
- Intervalo entre limpezas do tanque séptico é considerado de 01 ano;
- $C_a =$  concentração afluente de DBO = 432 mg/l;
- $C_e =$  concentração efluente esperada de DBO = 50 mg/l.

**Não será feito o dimensionamento do T.S. e do F.A. ver aula 2 e 3.**

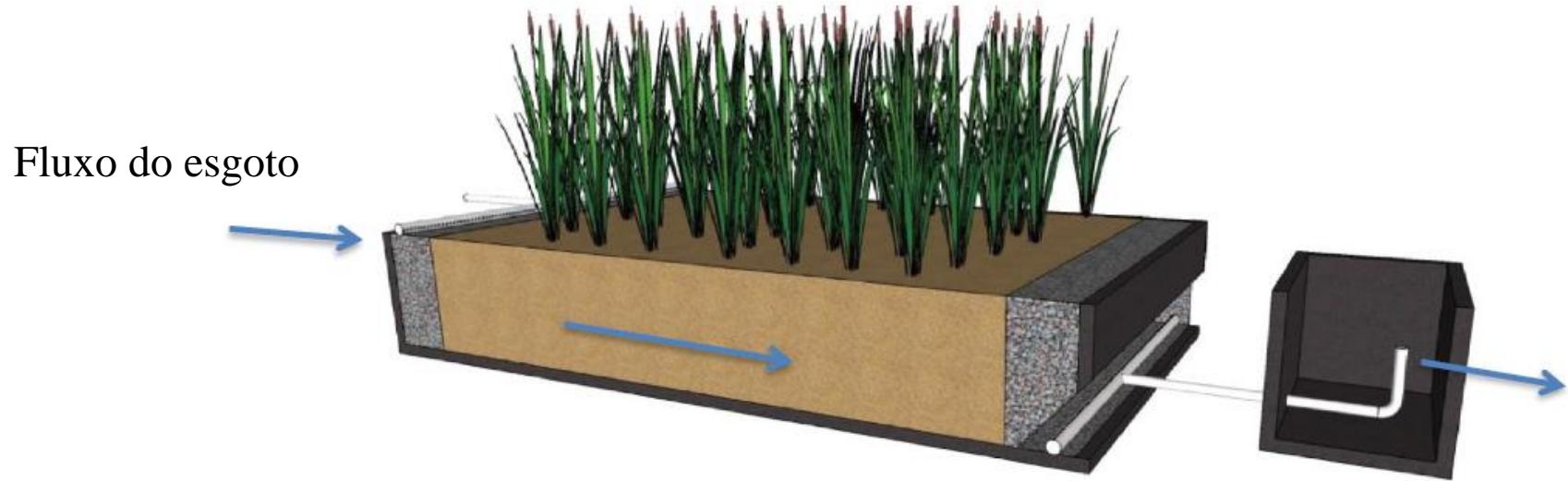
## Condições de Contorno:

- Terreno argiloso com baixa permeabilidade;
- Lençol freático com nível alto;
- Pequena área disponível para a construção do sistema de tratamento

# Dimensionamento Wetlands Construídos

## Concepção do Wetland Construído:

- ✓ Fluxo sub-superficial;
- ✓ Escoamento em pistão;
- ✓ Meio filtrante composto por brita (seguir critérios de escolha – discutido em aula);
- ✓ Macrófita: *Typha spp.* (Taboa).



# Dimensionamento – WC HORIZONTAL

Cinética de primeira ordem aplicável aos reatores tipo pistão:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t)$$

onde:

$C_o$  = concentração afluente em termos de DBO (mg/L);

$C_e$  = concentração efluente em termos de DBO (mg/L);

$K_T$  = constante de reação cinética de 1º ordem – dep. da temp. T ( $d^{-1}$ );

T = tempo de retenção hidráulico (d).

$$A = \frac{Q_a x (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T x p x n}$$

onde:

A = área superficial requerida ( $m^2$ );

$Q_a$  = vazão afluente ( $m^3/d$ );

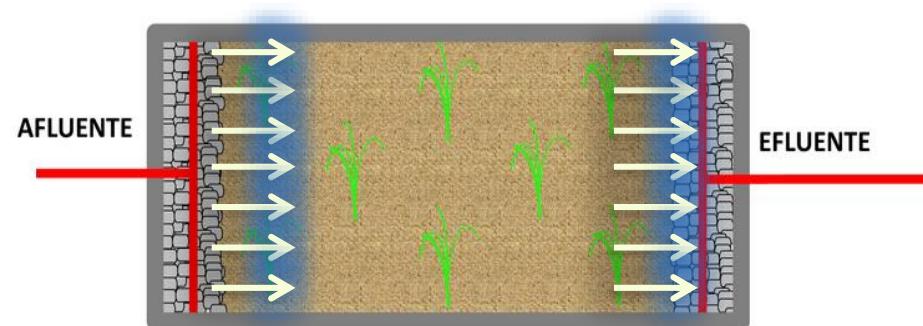
$C_o$  = concentração afluente em termos de DBO (mg/L);

$C_e$  = concentração efluente em termos de DBO (mg/L);

$K_T$  = constante de reação cinética de primeira ordem ( $d^{-1}$ );

n = porosidade do material filtrante ( $m^3$  de vazios / $m^3$  de material).

p = profundidade média do filtro (m) “altura”.



# Dimensionamento Wetlands Construídos

## Dimensionamento:

Admitindo que o conjunto tanque séptico – filtro anaeróbio tenha eficiência de **80%** na remoção de DBO temos:

DBO afluente  $C_a$  ao wetlands é de  $432 \times 0,2 = 86,4 \text{ mg/L}$ .

DBO efluente  $C_e$  é de  $50 \text{ mg/L}$  (adotado em projeto).

- Valores de K (disponível na literatura – pesquisar valores usais no Brasil – ver condições de contorno!!!).
- Valores típicos de  $K_{20}$  pode variar de **0,21 a 2,92 d<sup>-1</sup>**.

Adotado o valor de **1,1 d<sup>-1</sup>** para 20°C.

Correção para temperatura crítica de 12° C:

$$K = K_{20} (1,07)^{(t - 20^\circ \text{C})}$$

$$K = 1,1 (1,07)^{(12 - 20^\circ \text{C})} = \mathbf{0,64 \text{ d}^{-1}}$$

# Dimensionamento Wetlands Construídos

*Recomendação literatura – experiência brasileira:*

$P_{\text{máx.}}$  do leito filtrante registrada em pesquisas brasileiras é de 1,5 m.

$P_{\text{liq}}$  no meio filtrante deve ser inferior à  $P_{\text{máx}}$  de maneira a evitar a presença deste líquido na superfície do mesmo.

Serão adotadas as profundidade “alturas”  $P_{\text{máx}} = 1,00 \text{ m}$  e  $P_{\text{liq}} = 0,70 \text{ m}$

Porosidade  $n$  adotada para o meio filtrante de brita é de  $\approx 35 \%$  (depende do tipo de material, etc...). *\*sendo a porosidade a relação entre o volume dos poros entre as britas e o volume total do meio filtrante.*

**Assim temos:** Para vazão estimada de  $20 \text{ m}^3/\text{d}$ , a área superficial é estimada em

$$A = \frac{Q_a x (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T x p x n}$$

Área superficial = **69,63**  $\text{m}^2$ .

Volume resultante ( $69,63 \times 0,70$ ) = **48,74**  $\text{m}^3$ .

# Dimensionamento Wetlands Construídos

## Tempo de detenção hidráulico (TDH):

*Verificação:*

$$\text{TDH} = (n \cdot V) / Q$$

onde:

TDH: tempo de detenção hidráulico, d;

V: volume do meio filtrante, m<sup>3</sup>.

n: Porosidade do meio suporte.

$$\text{TDH} = (0,35 \cdot 48,74) / 20$$

$$\text{TDH} = \mathbf{0,85} \text{ dias.}$$

Estudos com wetlands construídos no Brasil apresentam valores de TDH entre 0,5 e 12,3 dias.

# Dimensionamento Wetlands Construídos

## Geometria:

*Condições de projeto:*

- Supondo 02 wetlands em paralelo (adotado)
- Garantir o fluxo em pistão

*Relações usais no Brasil:*

- Comprimento (C) / Largura (L) C/L entre 3,0 a 10,0

Adotado: C/L = 4,0.

$$A_1 = C \cdot L = 34,82 \text{ m}^2; C / L = 4,0.$$

**C = 11,80 m; L = 2,95 m (p/ unidade);**

# **Exercício**