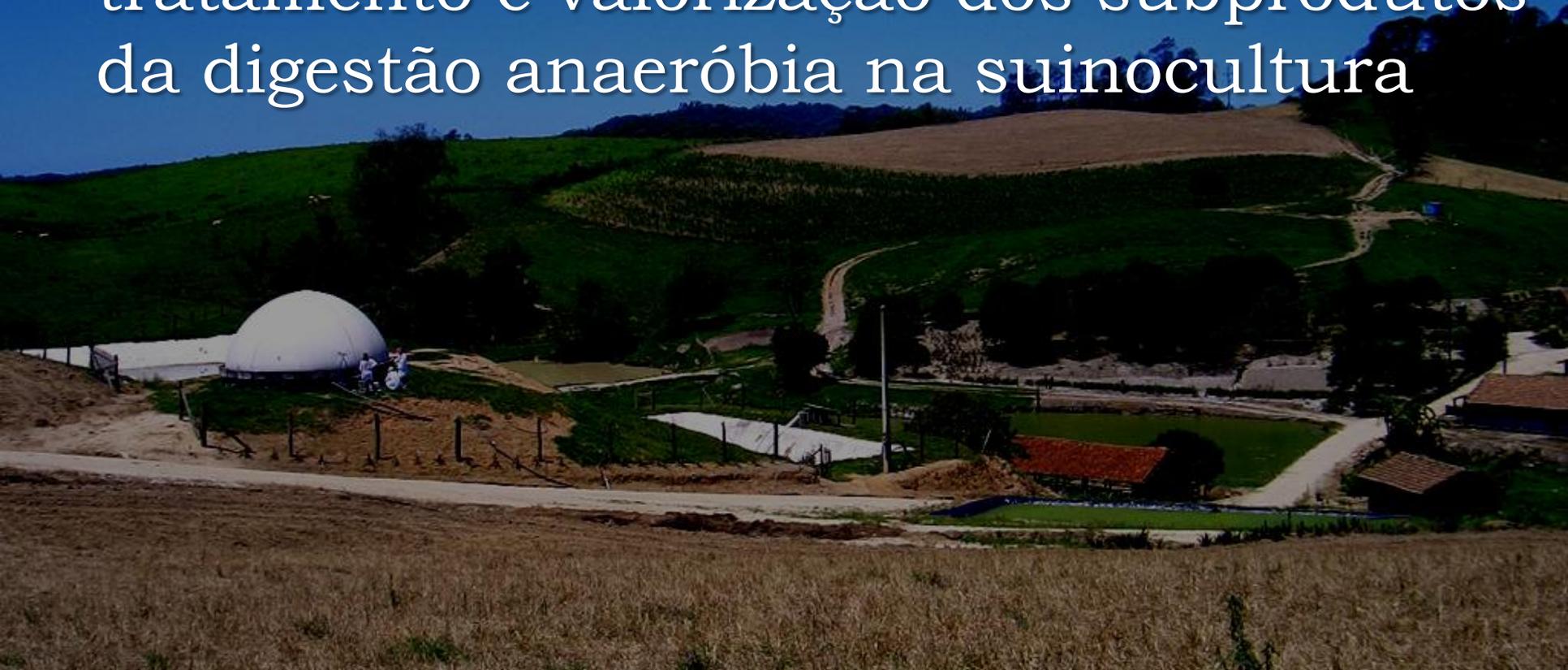


# JORNADA DE SUSTENTABILIDADE NA SUINOCULTURA

O uso de lagoas de macrófitas para pós-tratamento e valorização dos subprodutos da digestão anaeróbia na suinocultura



Gestão:



Execução Técnica:



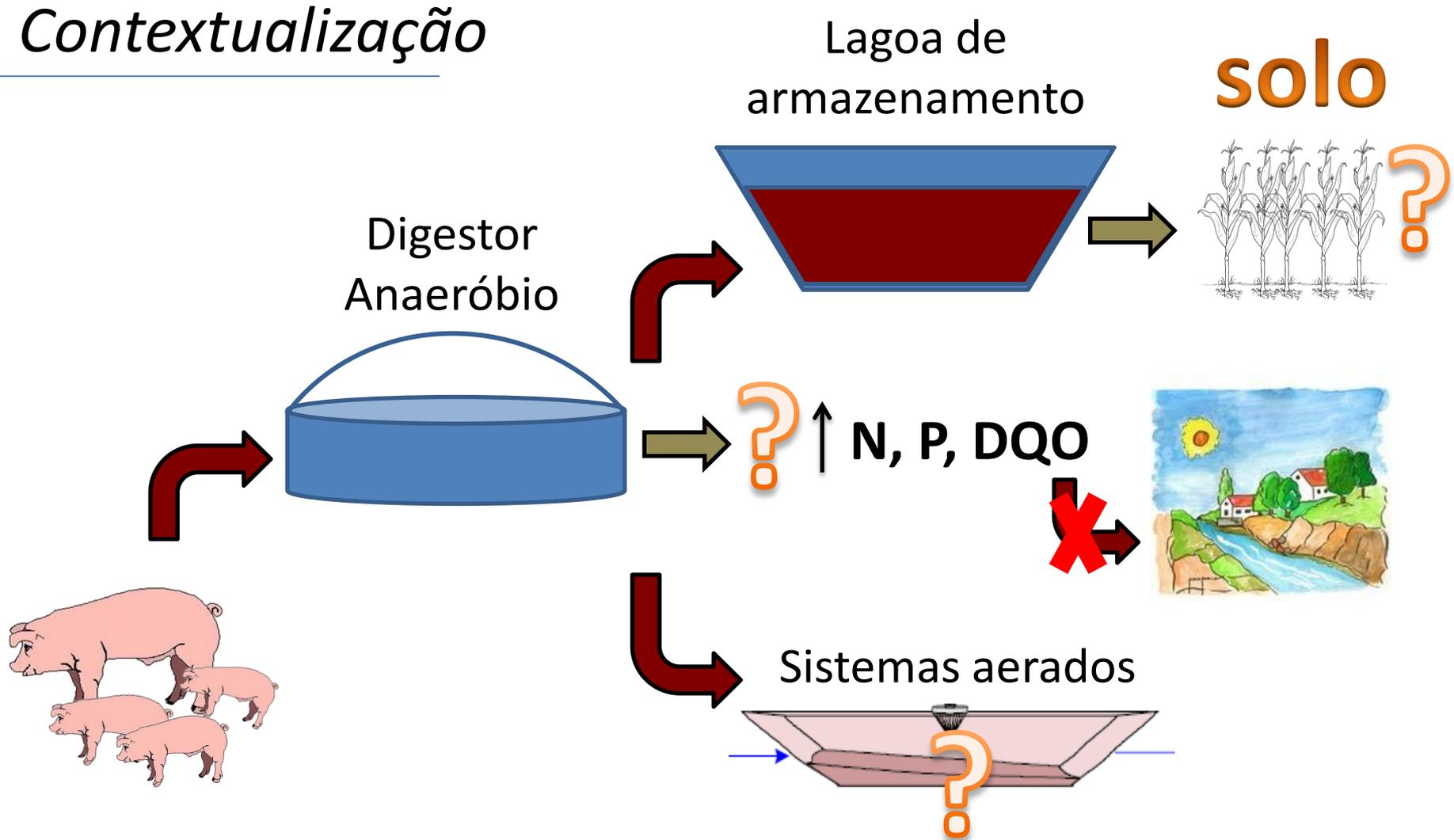
Patrocínio:



**PETROBRAS**



# Contextualização



# Contextualização

## Lagoas de Macrófitas como alternativa para o pós tratamento de digestores anaeróbios

- Apresentam alta taxa de remoção de nutrientes
- Reduzem matéria orgânica pela manutenção de um microambiente que favorece o desenvolvimento de uma comunidade biológica complexa.
- Baixo custo comparando aos sistemas aeróbios
- Produzem uma biomassa passível de valorização

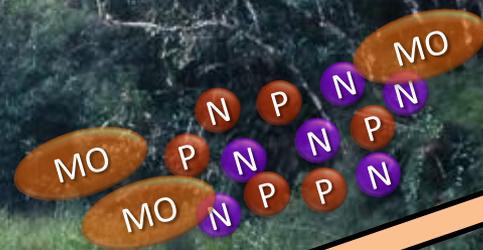


# Alagados Naturais

Ambiente Terrestre

Ambiente de transição

Ambiente aquático





# Tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas



Capacidade natural dos banhados em “processar” matéria orgânica



Observou-se a participação das plantas aquáticas neste processo

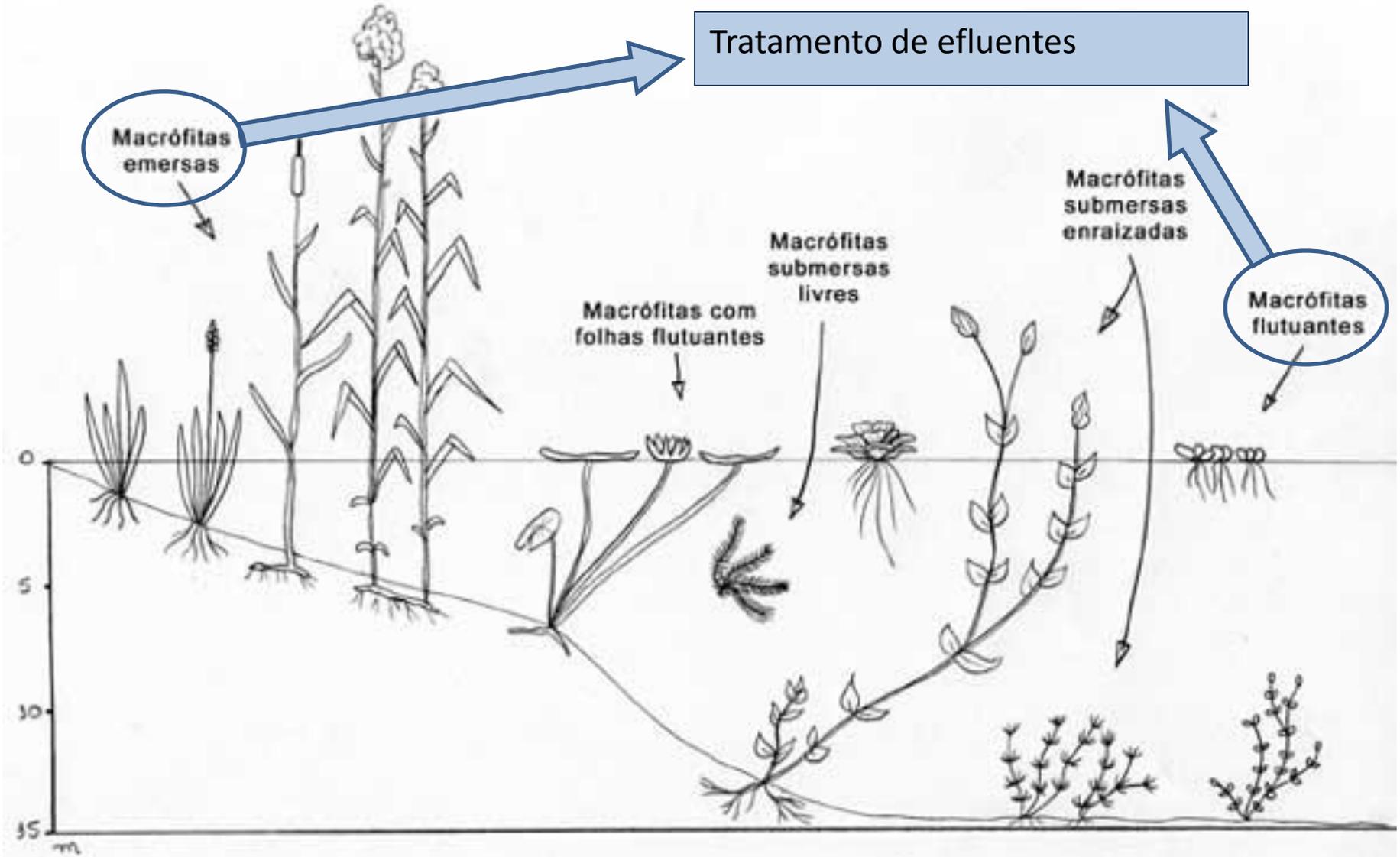


Construção de banhados artificiais “wetlands”



Utilizados para tratamento secundário ou terciário

# Tipos ecológicos de macrófitas





# Tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas

Sem substrato ou leito filtrante

Plantas flutuantes

Lagoas de macrófitas flutuantes, ou  
Wetland construído de fluxo superficial

Com substrato ou leito filtrante

Plantas enraizadas (emersas)

Wetland construído de fluxo subsuperficial  
Filtros Plantados com Macrófitas





# Lagoas de macrófitas como tecnologia no tratamento de efluentes

**Definição:** É uma configuração de lagoa de estabilização, caracterizada pela cobertura da superfície do efluente por uma espécie predominante de macrófita flutuante.

**Utilização:** Tratamento de diversos tipos de efluentes, sendo seu uso mais adequado para a remoção de nutrientes sob baixa carga orgânica (tratamento terciário).



Mas o que são  
macrófitas aquáticas??

CHRISCASE  
PHOTOGRAPHY



# Lagoas de macrófitas como tecnologia no tratamento de efluentes

## Histórico

- As Lagoas de macrófitas foram muito difundidas nos anos 70's e 80's principalmente com os **aguapés** e consórcios de espécies.
- Sua aplicação se limitava aos sistemas descentralizados de pequeno porte, para efluentes industriais e domésticos, sendo em grande parte no meio rural.
- Muitas pesquisas foram desenvolvidas para avaliar a remoção de metais pesados (fitorremediação).
- Devido a alta produção de biomassa, sem potencial de uso, esses sistemas foram abandonados e posteriormente deram lugar às lagoas com lemnas e filtros plantados.



## Lagoas de macrófitas como tecnologia no tratamento de efluentes

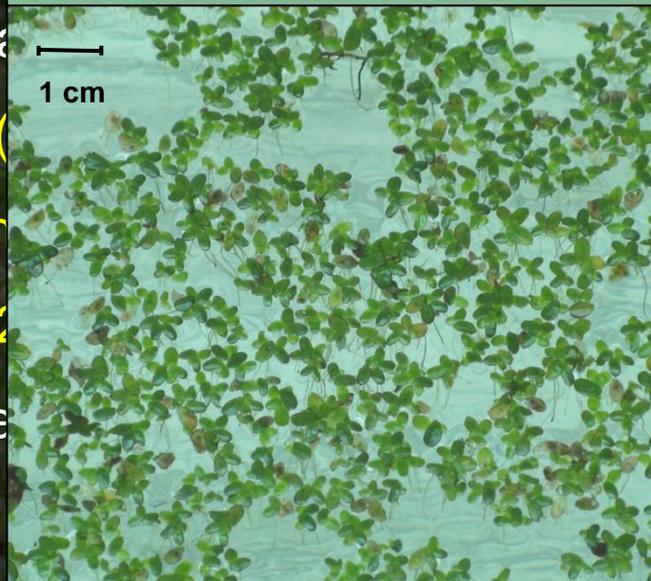
- A partir da década de 1990, núcleos de pesquisas nos EUA, Holanda, Israel, Egito, Índia, Bangladesh, entre outros, iniciaram uma série de **pesquisas sobre o uso de lemnáceas para o tratamento de efluentes e produção de alimentos.**
- As pesquisas geraram dezenas de publicações, inclusive da NASA, FAO e UNEP avaliando: Taxas de crescimento, taxas de absorção de nutrientes, valor nutricional da biomassa, variáveis operacionais (TDH, profundidade, cargas aplicadas), transferência de oxigênio, nitrificação/desnitrificação, remoção de metais pesados, uso em diversos tipos de efluentes.
- Desde a primeira década do sec. XXI, além das variáveis citadas, observou-se a **potencialidade da biomassa para a produção de biocombustíveis e outros subprodutos.** Mais recentemente os estudos avançam para o conhecimento da microbiota associada.



# Lagoas de Lemnas no tratamento de águas residuárias

## AS LEMNAS

- Macrófitas aquáticas da família Lemnaceae
- Nome popular:- lentilha-d'água
- 5 Gêneros com; 42 spp
- Menores plantas vasculares
- Distribuição cosmopolita
- Ocorre em águas paradas
- Exigente em nutrientes (N e P)
- Maior taxa de crescimento: produz 200g de biomassa em menos de 2 dias
- Se reproduz sexuadamente
- Grande valor nutricional





# Lagoas de Lemnas no tratamento de águas residuárias

## Lemnáceas no tratamento de efluentes

### Principais características

- Alta taxa de crescimento (a maior entre as Angiospermas);
- Elevada exigência de nitrogênio;
- Condições favoráveis para a sedimentação;
- Inibem a produção de algas;
- Superfície para fixação de biofilme;
- Retém gases que provocam maus odores; (como o  $H_2S$ ), em uma zona oxidativa;
- Reduz a reprodução de insetos;
- Biomassa de elevada qualidade nutricional;
- Fácil manejo.



## Eficiência no tratamento

- Taxa de crescimento 0,3g/g/dia; 60ton/ha/ano (massa seca)
- Taxa de remoção: 2,1g NTK/m<sup>2</sup>/d e 0,6g PT/ m<sup>2</sup>/d (Cheng *et al.*, 2002); 4,4g NTK/m<sup>2</sup>/dia (Mohedano, 2010)
- Acima de 90% de remoção de N,P, DQOe SST, em esgotos domésticos;
- NH<sub>4</sub> é a forma preferencialmente absorvida (Caicedo, 2004);
- Pode tolerar até 240mg/L de N-amoniaco (Chaiprapat, 2004).



# Principais processos em lagoas de macrófitas

**Barreira para a radiação solar**

Inibe o crescimento de algas e cria microclima para heterotróficos

Menos variações de pH e OD

Clarifica o efluente e reduz DQO de origem algal.

**Efeito da Rizosfera**

Superfície de fixação para biofilme, microclima para microrganismos e filtragem

Transferência de  $O_2$  para o biofilme

Redução de DQO e sólidos suspensos além da nitrificação

**Absorção direta de nutrientes**

Remoção de Amônia, nitratos e fosfatos

Remoção de elementos traços (Cu, Zn, As, Al, Mg, ...)

**Produção de muita biomassa vegetal. A viabilidade do sistema depende do manejo e da destinação dada a esta biomassa**



# Principais processos em lagoas de macrófitas

## Remoção de Nutrientes (NTK, PT, $\text{NH}_3$ , $\text{NO}_2$ , $\text{NO}_3$ , $\text{PO}_4$ , )

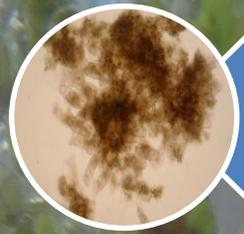
### Nitrogênio

- Absorção direta de amônia e nitratos
- Nitrificação na rizosfera
- Desnitrificação no sedimento
- Incorporação pela biomassa de microrganismos
- Depósito no sedimento
- Volatilização de  $\text{NH}_3$

### Fósforo

- Absorção direta de fosfatos
- Precipitação
- Adsorção nas raízes
- Incorporação pela biomassa bacteriana

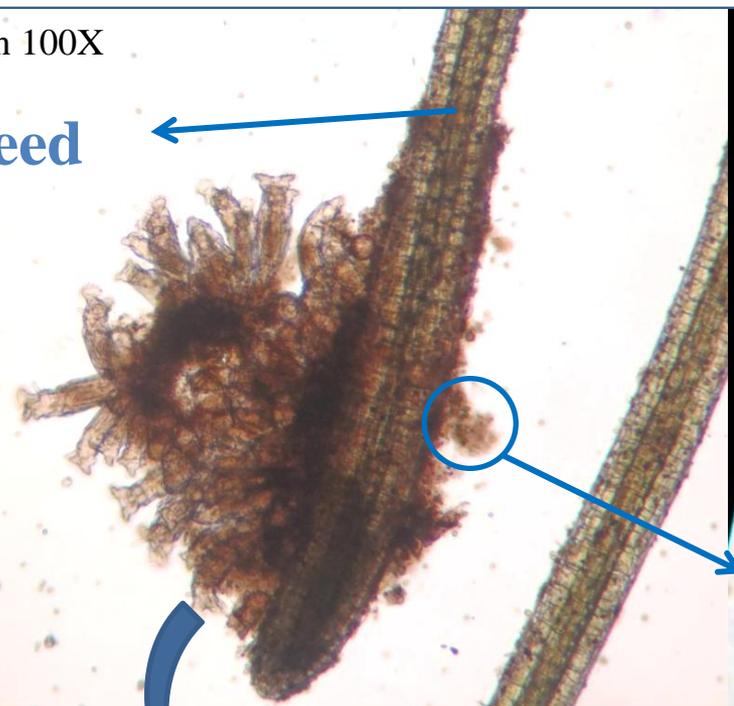
# Remoção de Matéria Orgânica



- Ação de microrganismos heterotróficos (rotíferos, bactérias, copépodes)
- Manutenção de um microclima favorável (sombra, OD, refugio, superfície de fixação, ...)

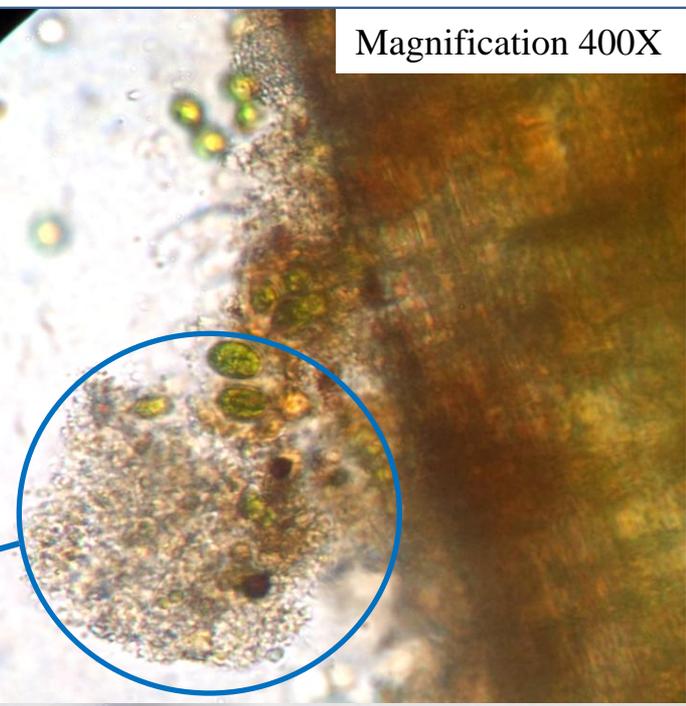
Magnification 100X

**Duckweed  
root**



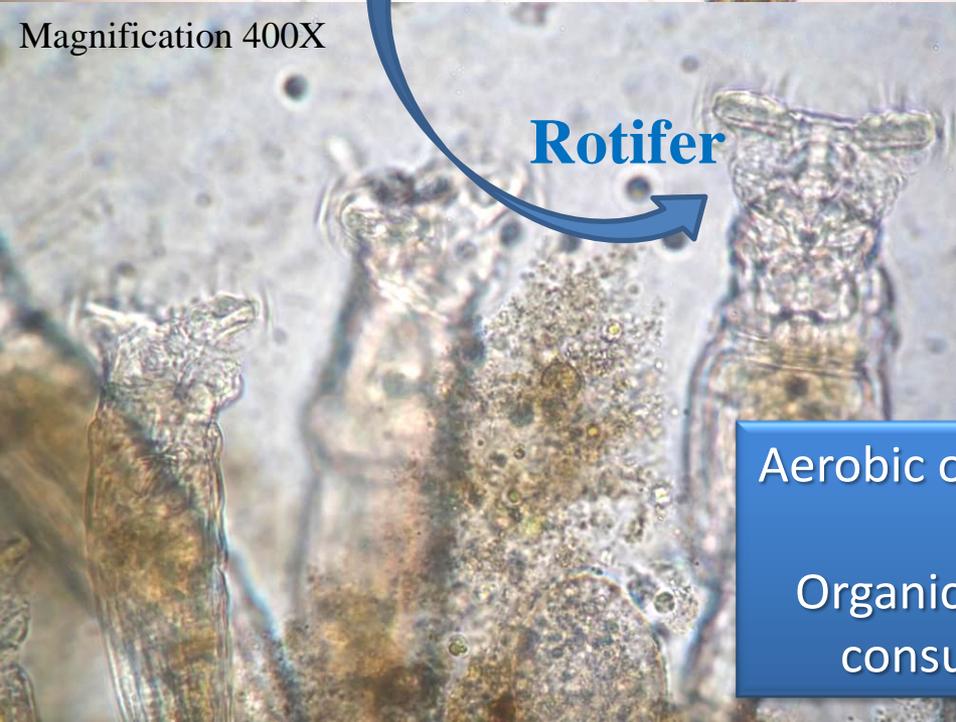
Magnification 400X

**Attached  
Biofilm**  
(bacteria and  
algae)



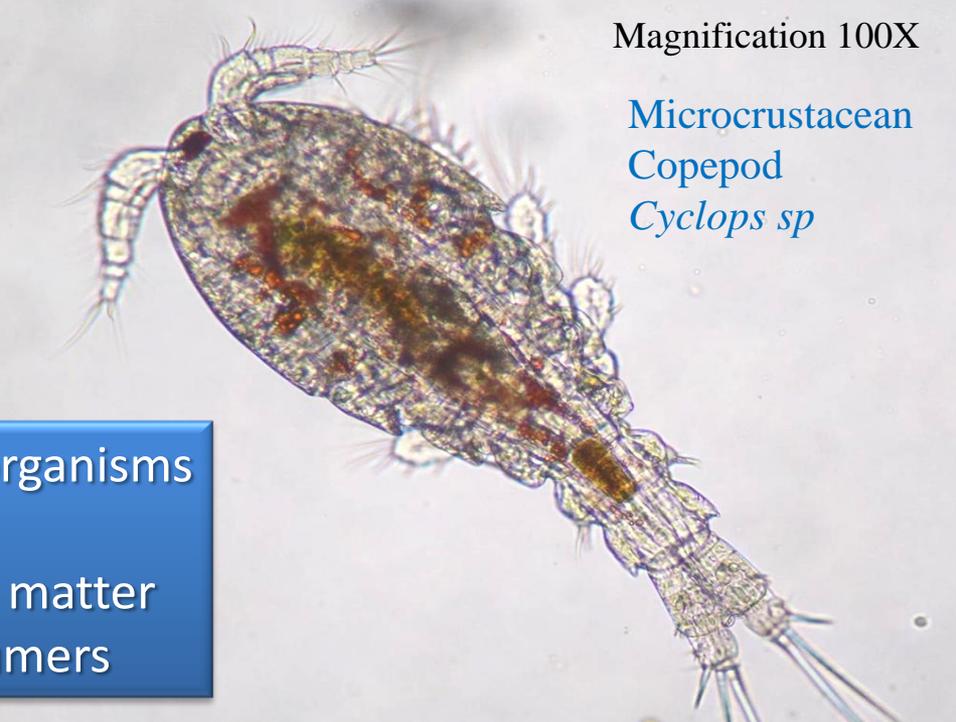
Magnification 400X

**Rotifer**



Magnification 100X

**Microcrustacean  
Copepod  
*Cyclops sp***



**Aerobic organisms  
Organic matter  
consumers**



## Lagoas de Lemnas no tratamento de águas residuárias

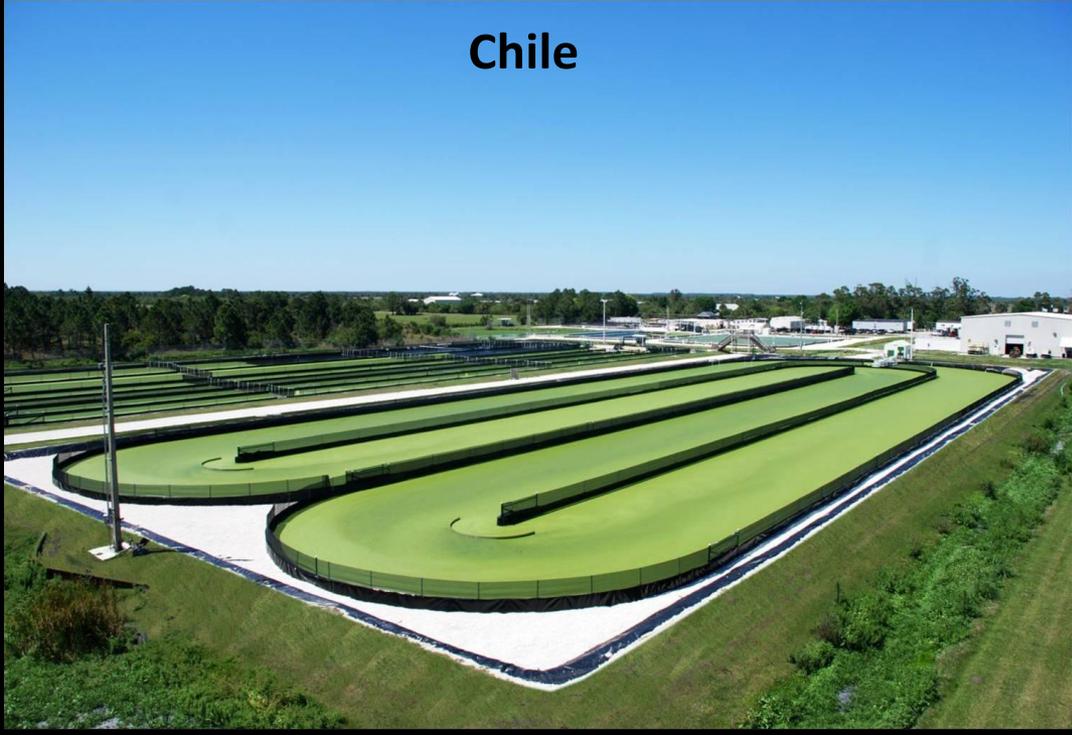
- Devido a alta velocidade de crescimento as lemnas devem ser removidas constantemente.
- A densidade ótima a ser mantida nas lagoas de tratamento varia entre 400 e 800g de lemna/m<sup>2</sup>. Em peso seco 40 a 80g/m<sup>2</sup>.
- A biomassa de lemnas possui entre 85 e 95% de água e desidratam muito facilmente, por isso o peso seco é uma medida mais confiável.
- É importante observar a população de plantas para evitar a sobreposição, ou seja, a ocorrência de camadas sobrepostas.
- Isso ocasiona a morte de parte da biomassa originando manchas amareladas e acinzentadas na cobertura.



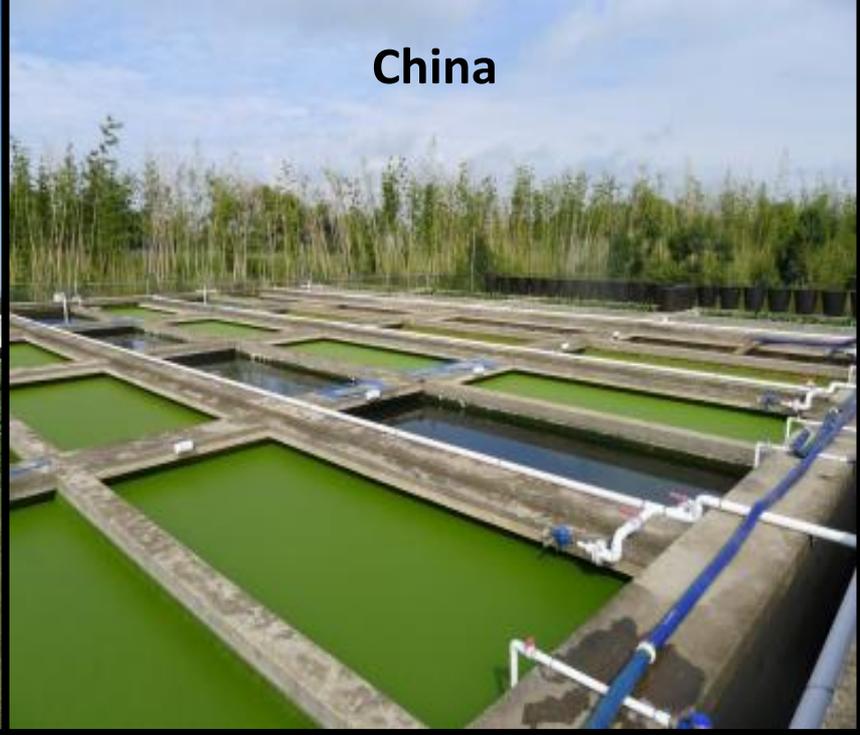
*Photograph 2: Duckweed-covered serpentine plug-flow lagoon in the USA for tertiary treatment of effluent from three facultative lagoons followed by a wetland buffer. Design flow is reported at 19,000 m<sup>3</sup>/d, with peak flows reaching 38,000 m<sup>3</sup>/d. (Photograph: Lemna Corp. 1994).*



**Chile**



**China**



**USA**



**USA**





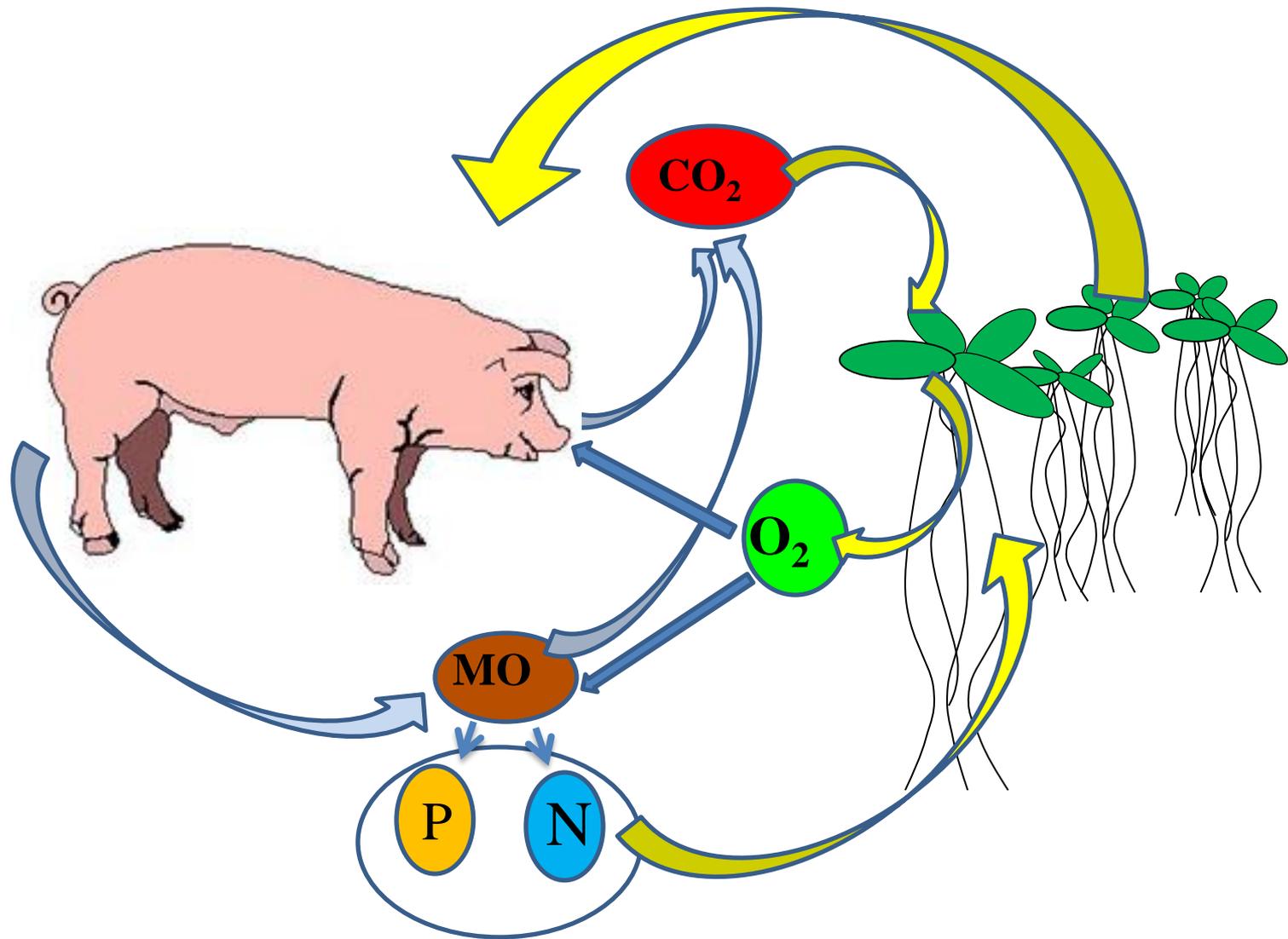


<https://www.youtube.com/watch?v=M93HZDoqhsE>

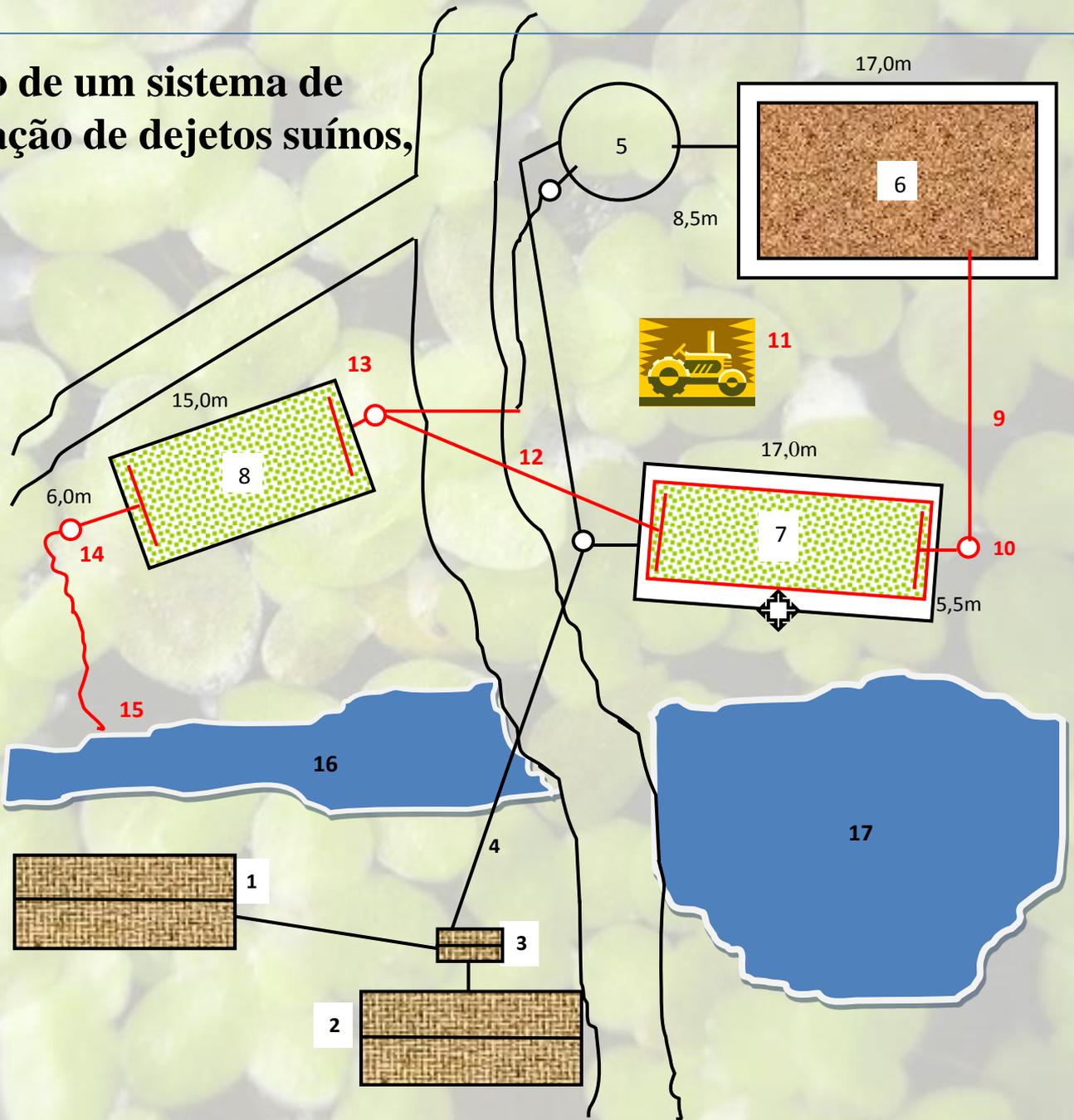




# Aplicação para a suinocultura



# Desenho esquemático de um sistema de tratamento e valorização de dejetos suínos, Braço do Norte-SC



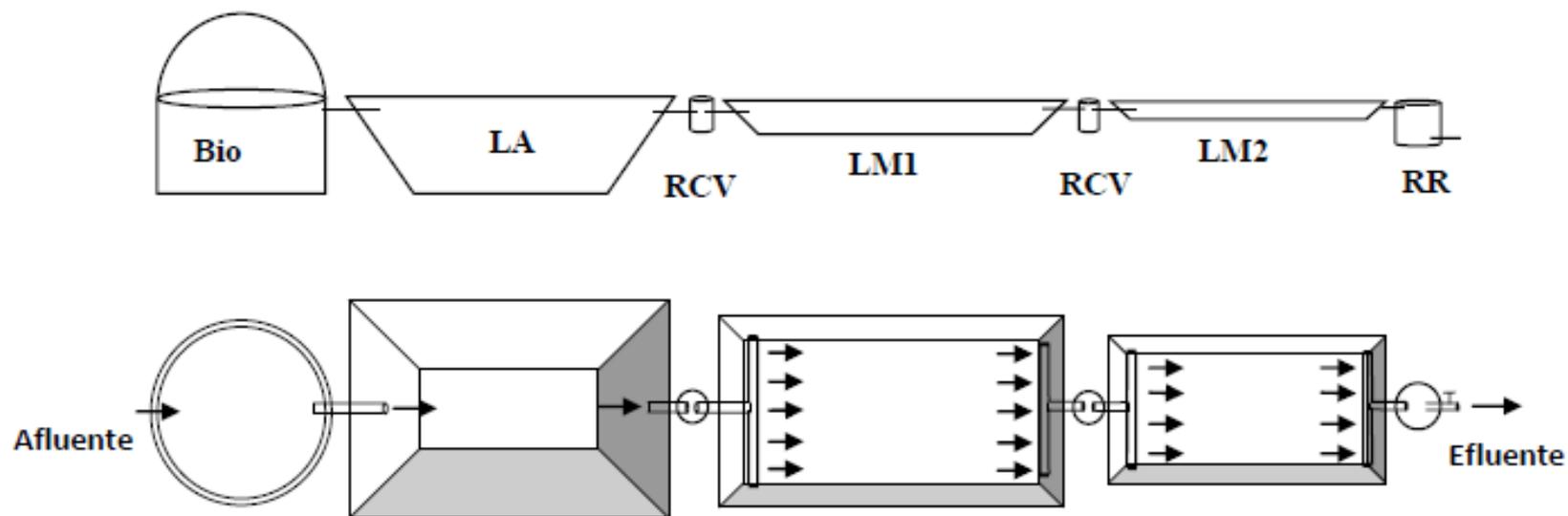


Figura 23: Fluxograma do sistema de tratamento. As setas indicam o fluxo do efluente. Bio – Biodigestor; LA -Lagoa de armazenamento; RCV – Reservatório de controle de vazão; LM1 - Lagoa de lençóis 1; LM2 - Lagoa de lençóis 2; RR – Reservatório para reuso.

---

Foi realizado o monitoramento do efluente produzido nas etapas do tratamento (Dejeto Bruto, Bio, LA, LM1 e LM2)

- Coletas quinzenais de amostras do efluente bruto, e na saída de cada lagoa.
- Aplicação de cargas quinzenais dimensionadas com base na amônia  $\lambda_s = 30\text{kg NH}_3/\text{ha}/\text{dia}$ .
- Período de amostragem: 380 dias (25 campanhas)
- Parâmetros analisados : OD, pH, T°C, DQO, DBO<sub>5</sub>, ST, clorofila  $\alpha$ , NTK, N-NH<sub>3</sub>, PT ,





1- lagoa de lemnas utilizada no tratamento; 2- Reservatório para reuso do efluente tratado; 3- segunda lagoa de lemnas para o polimento do efluente.



12/07-LM<sub>1</sub>



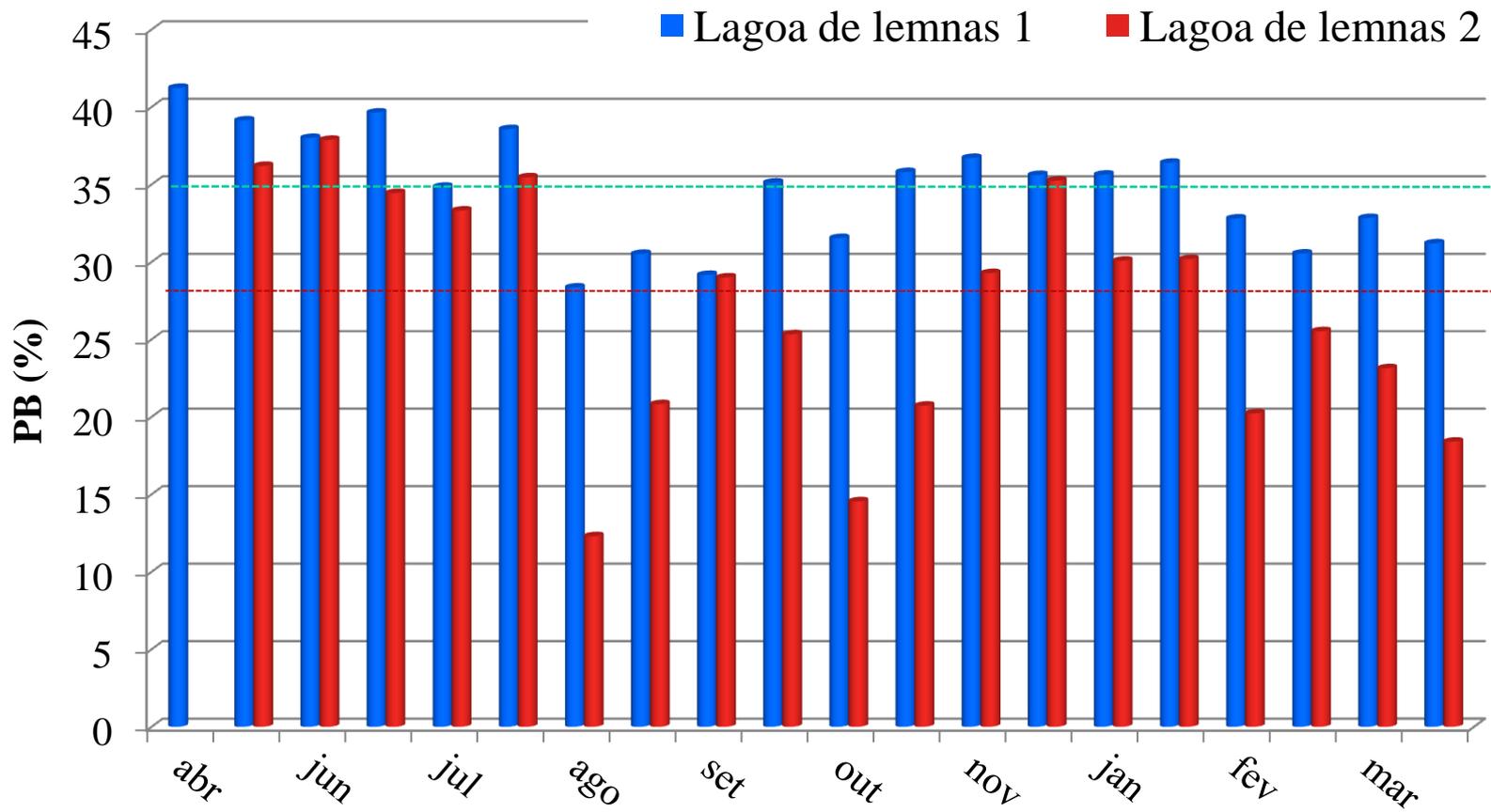


Tabela: Representação gráfica dos valores médios das concentrações dos parâmetros avaliados, nas etapas do tratamento.

	Efluente bruto	Digestor anaeróbio	Lagoa de Armaz.	LM1	LM2	(%)
<b>N-NH<sub>3</sub></b> (mg/L)	<b>2.258</b> ±367	<b>1333</b> ±317	<b>820</b> ±368	<b>27</b> ±16	<b>10</b> ± 6,3	<b>99,5</b>
<b>NO<sub>2</sub></b> (mg/L)	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b> ±0,7	<b>7,1</b> ±12,2	<b>6,1</b> ±7,4	---
<b>NO<sub>3</sub></b> (mg/L)	<b>0,0</b> ±1	<b>0,3</b> ±1,2	<b>0,7</b> ±0,9	<b>6,2</b> ±11,2	<b>7,6</b> ±15,9	---
<b>NTK</b> (mg/L)	<b>4422</b> ± 803	<b>1688</b> ±659,2	<b>923</b> ±463,7	<b>46</b> ±24,2	<b>16</b> ±9,9	<b>99,2</b>
<b>PT</b> (mg/L)	<b>1487</b> ±898,4	<b>220</b> ±180,1	<b>87</b> ±102,6	<b>9,8</b> ±7,2	<b>5,2</b> ±5,9	<b>99,5</b>
<b>pH</b>	7,4	7,1	7,2	6,8	6,6	---
<b>OD</b> (mg/L)	0,0	0,0	0,2	2,8	3,2	---

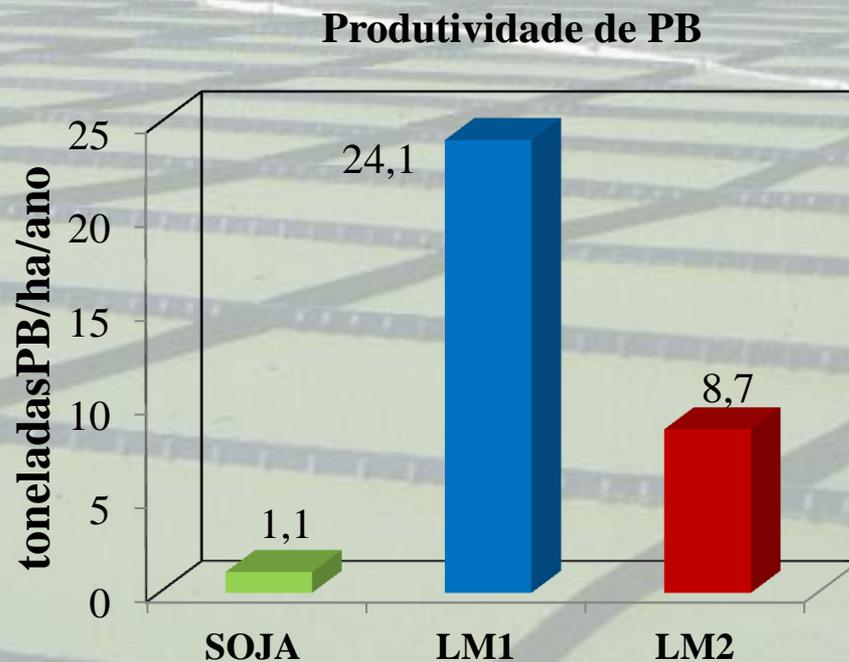
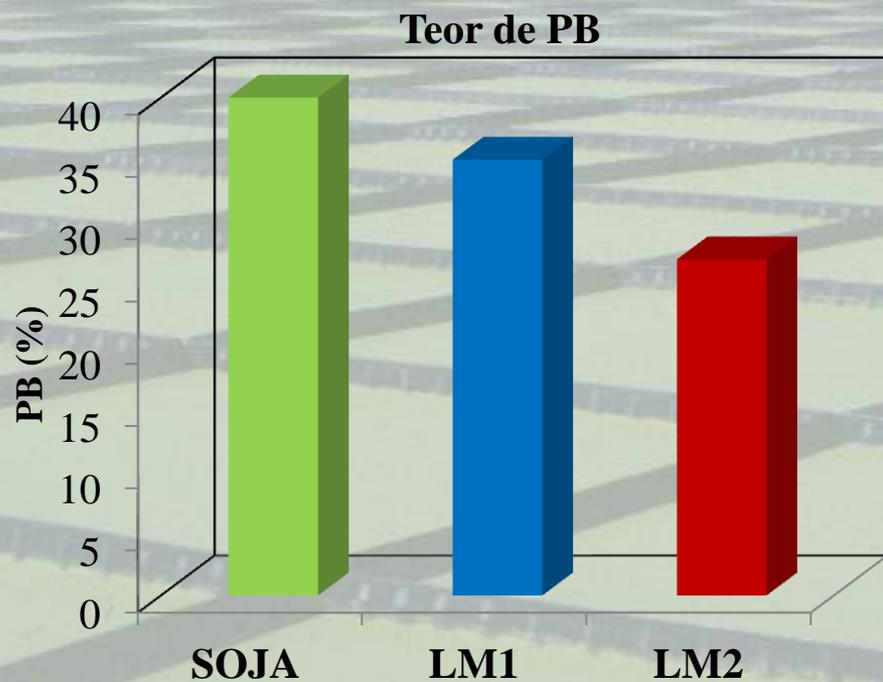


## Teor de Proteína Bruta



## Biomassa de lemnas produzida durante o tratamento

- 13,1 ton em 240m<sup>2</sup>
- 68 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>
- Proteína Bruta média = 36%



1- Saída biodigestor  
Biodigester



2- Saída lag. Armaz.  
Storage pond



3- Reservatório reuso  
Reuse reservoir



## Lemna como alimento

### Aspectos nutricionais:

- Elevado teor de proteína (20 a 45% do peso seco) - depende [N] (Journey, 1993)
- Produz mais proteína por hectare do que a soja (Landolt e Kandeler, 1987)
- Possui um bom balanceamento de aminoácidos essenciais, exceto para metionina (Landesman *et al.*, 2002)
- Possui mais de 40 minerais (Ca, P, Na, K, Fe, Mn, Mg, Cu e Zn) além de vitaminas A, B1, B2, B6, C e E; carotenóides e xantofila (Khan *et al.*, 2002; Landolt e Kandeler, 1987)
- Em condições ideais produz entre 10 a 50t de matéria seca/ha/ano
- É utilizada na alimentação de suínos, peixes, aves e até humanos, dependendo do meio de cultivo (USA, Índia, China e Vietnã) (Iqbal, 1999).





LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR

# Table of contents

## SUMMARY

- 1 Introduction**
  - 1.1 Background
  - 1.2 Objective
  - 1.3 Approach
- 2 Varieties and cultivation**
  - 2.1 Properties of duckweed
  - 2.2 Performance of duckweed on manure effluents
- 3 Harvesting methods**
  - 3.1 Harvesting equipment
  - 3.2 Harvest regime
- 4 Utilization and valorisation**
  - 4.1 Animal Feed
  - 4.2 Biogas production
  - 4.3 Ethanol production
  - 4.4 Ingredients
  - 4.5 Fuel production
- 5 Discussion**
- 6 Conclusions and recommendations**
  - 6.1 Conclusions
  - 6.2 Recommendations

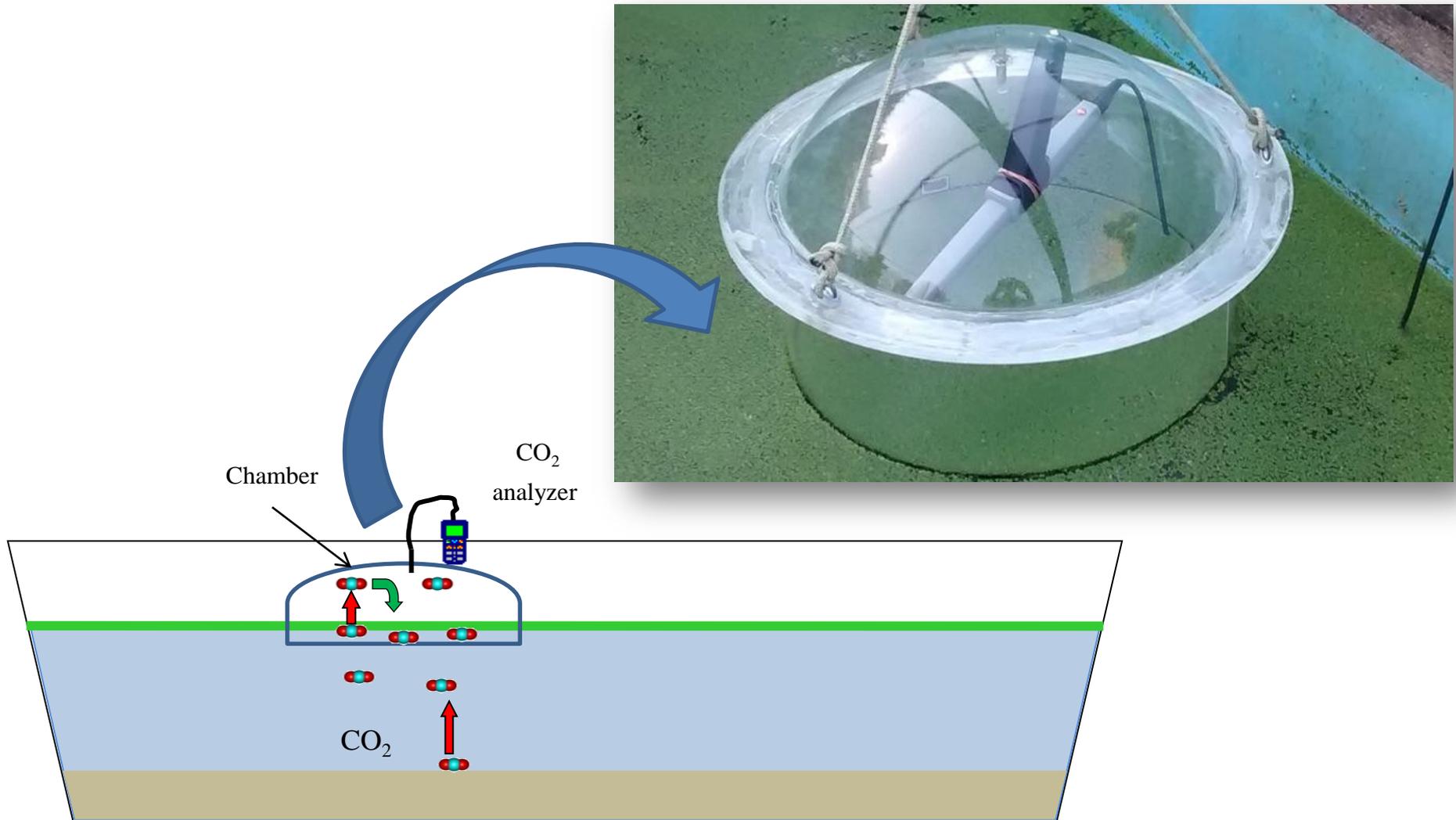
## Purifying manure effluents with duckweed

M. Timmerman  
I.E. Hoving



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR

# As Lagoas de lemnas emitem ou sequestram GEE?



# As Lagoas de lemnas emitem ou sequestram GEE?

CO<sub>2</sub>  
monitoring

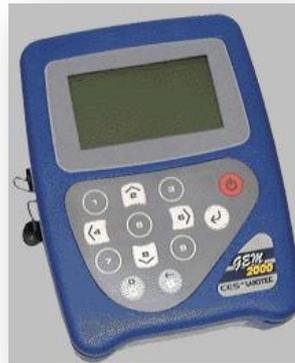


Multi-function analyzer  
**Testo**<sup>®</sup> (435-4/ QAI probe)



- Six campaigns (monthly)
- Data were taken every 5 min during 24 hours (about 300).
- Data were uploaded to PC to statistic assessment.

CH<sub>4</sub>  
monitoring



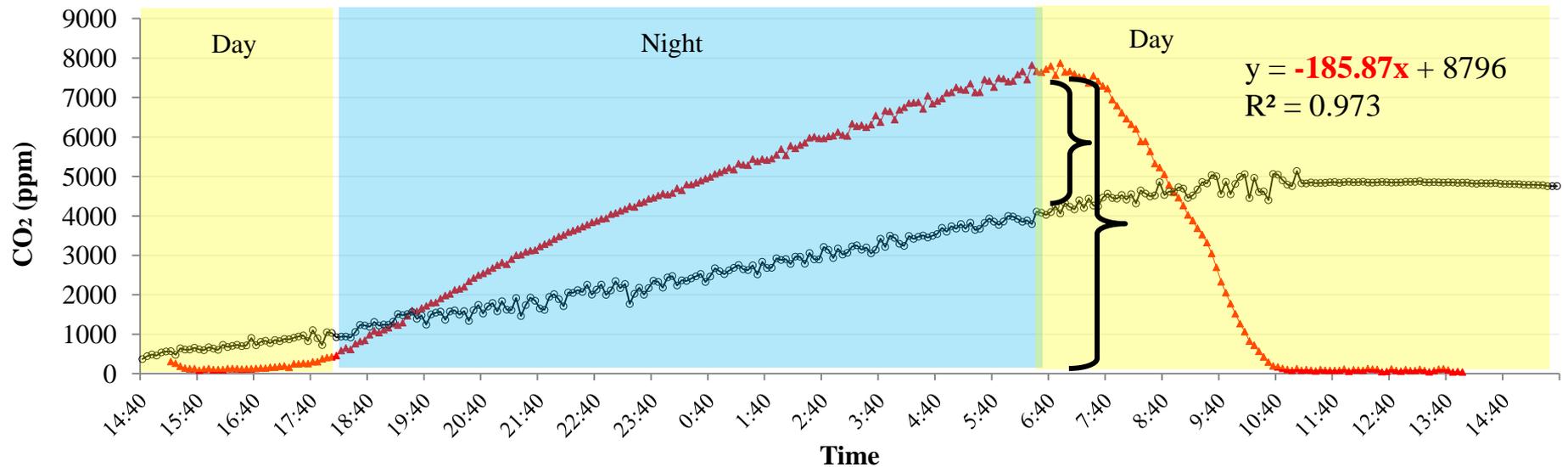
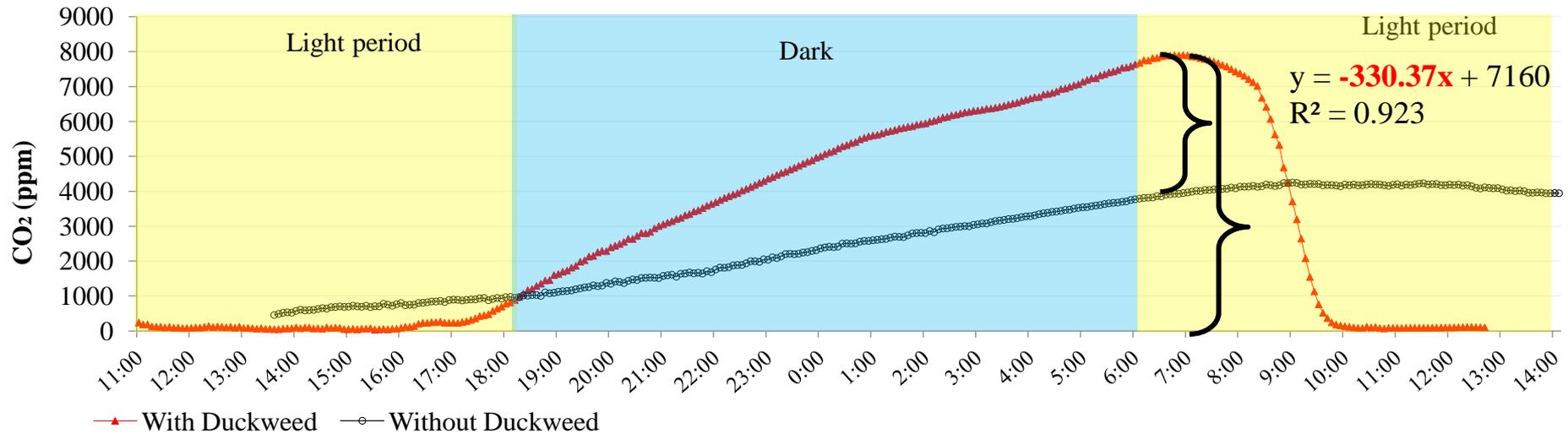
LANDTEC<sup>®</sup> GEM 2000 with a measuring range of 0-100 % with accuracies ranging from 0-5 % ± 0.3 % and typical flow of 0.3 L.min<sup>-1</sup>



- Six campaigns (monthly)
- Sampling was made hourly during 24h cycle.
- The samples were pumped from inside the chamber (200ml.min<sup>-1</sup>) by internal pump

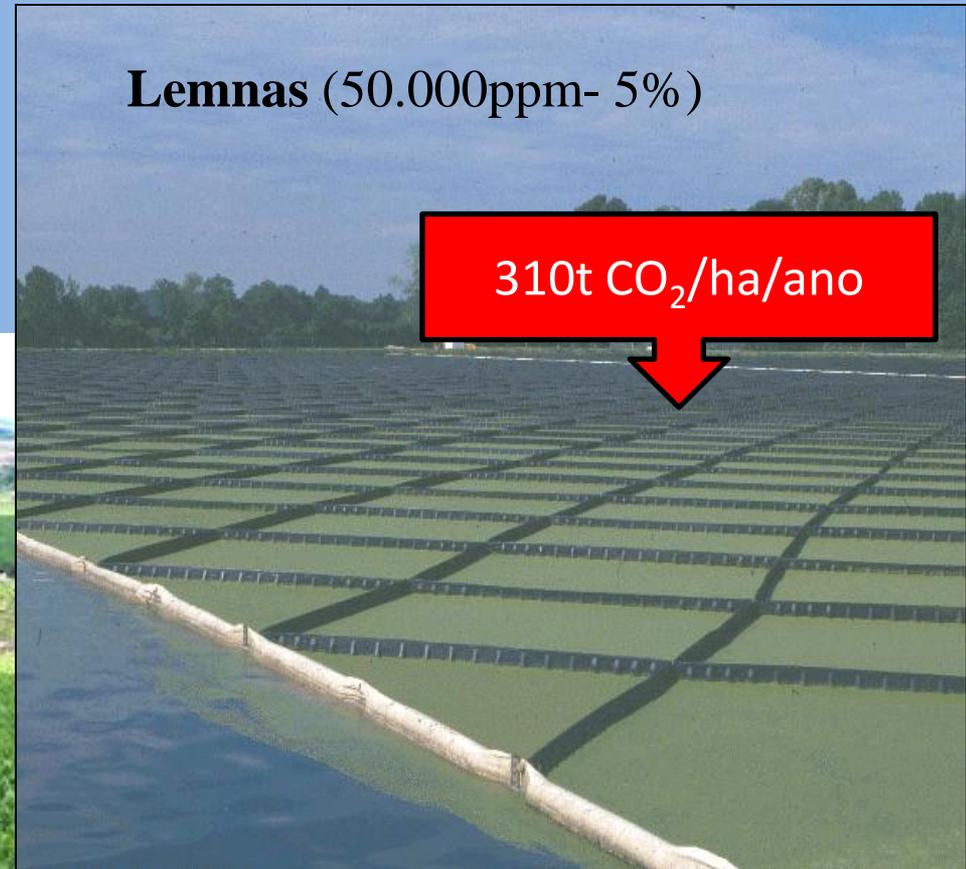
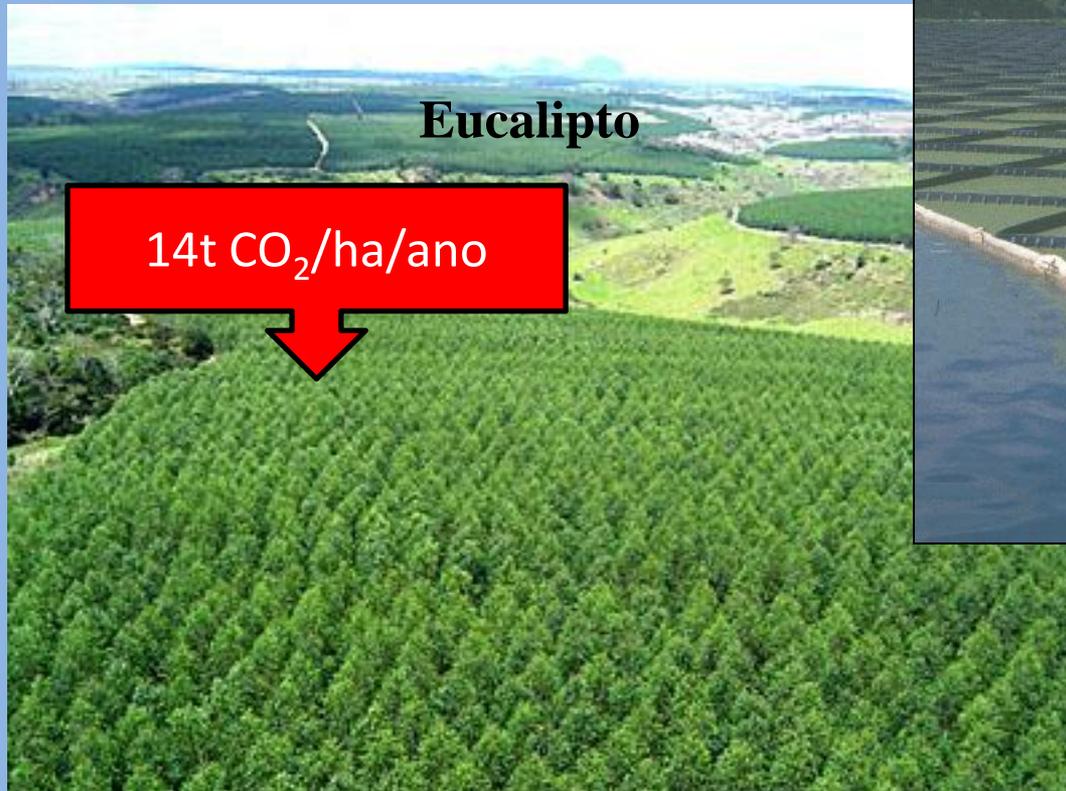
Do Duckweed Ponds Used for Wastewater Treatment Emit or Sequester GHG?

# Sequestro (fixação) de carbono em lagoas de lemnas



Do Duckweed Ponds Used for Wastewater Treatment Emit or Sequester GHG?

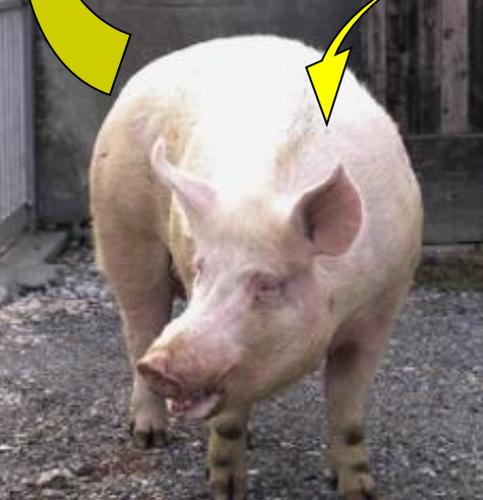
## Sequestro de Carbono



# Gerador movido a biogás



Combustão do metano = CO<sub>2</sub>



dejetos

ração

CO<sub>2</sub>

CH<sub>4</sub>

Obrigado

