



**Jornada de Sustentabilidade na Suinocultura**



# Tratamento Anaeróbico de Resíduos Orgânicos e Potencialidades de Aproveitamento de Subprodutos

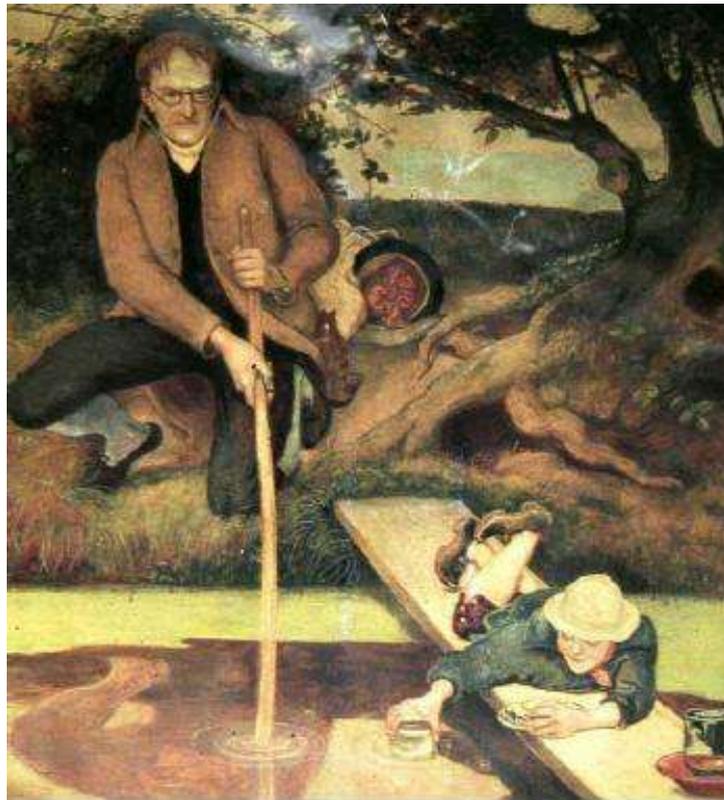
Wanderli Leite

Universidade Federal de Pernambuco  
Laboratório de Saneamento Ambiental - LSA

**Florianópolis, 29 de setembro de 2016.**

# INTRODUÇÃO

...há 240 anos...



Em 1776, Alessandro Volta realizou seu classico experimento: revolver o sedimento de fundo de um lago e demonstrar a inflamabilidade do gás coletado.

# INTRODUÇÃO

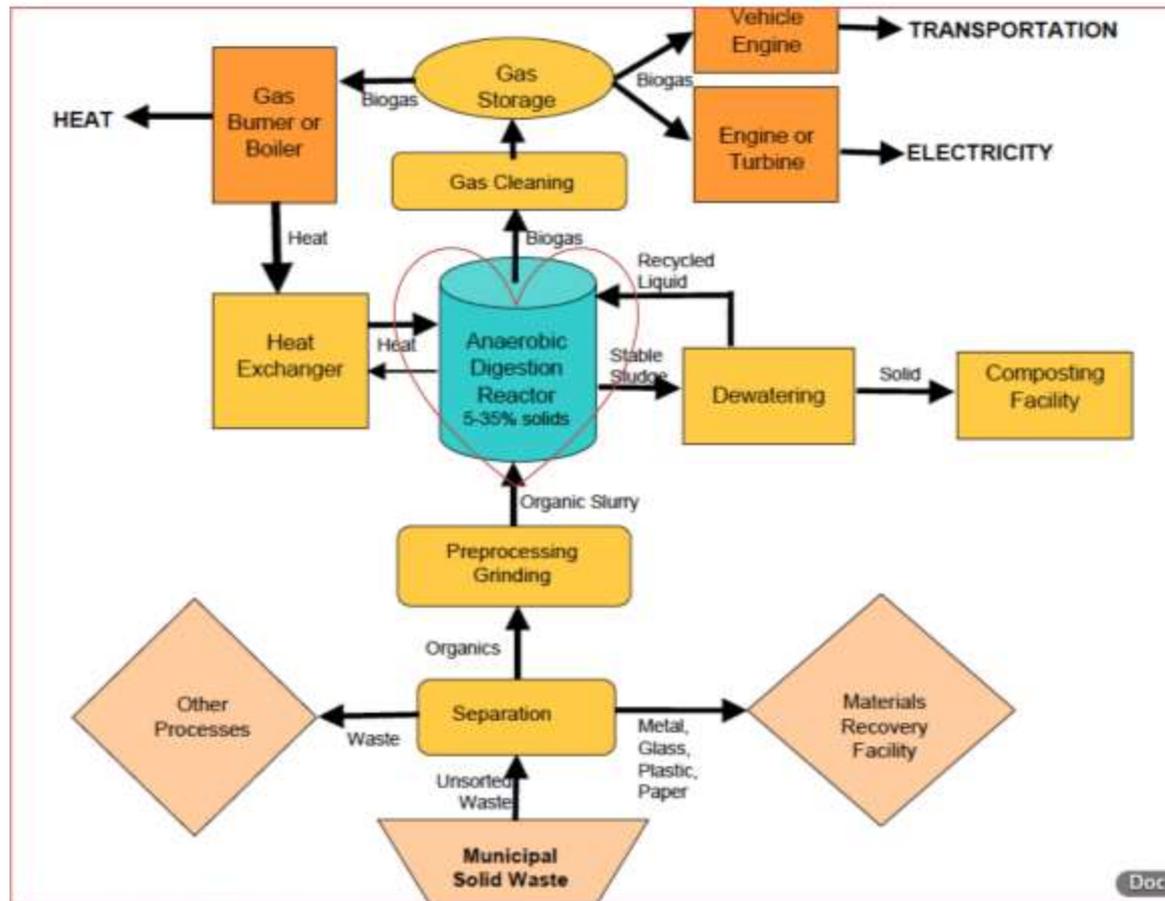
- Primeira planta de biogás construída em 1859 em um hospital de hansenianos na Índia;
- Usado em 1859 em postes de iluminação na Grã-Bretanha;
- Usado para tratamento de RSU nos EUA em 1939
- Milhões de "digestores de quintal" na China, Índia e outros países Asiáticos;
- A maioria das ETE na Europa estabilizam o lodo usando DA;
- Aumento do interesse de aproximar a gestão de RSU e aproveitar subprodutos (calor e energia)



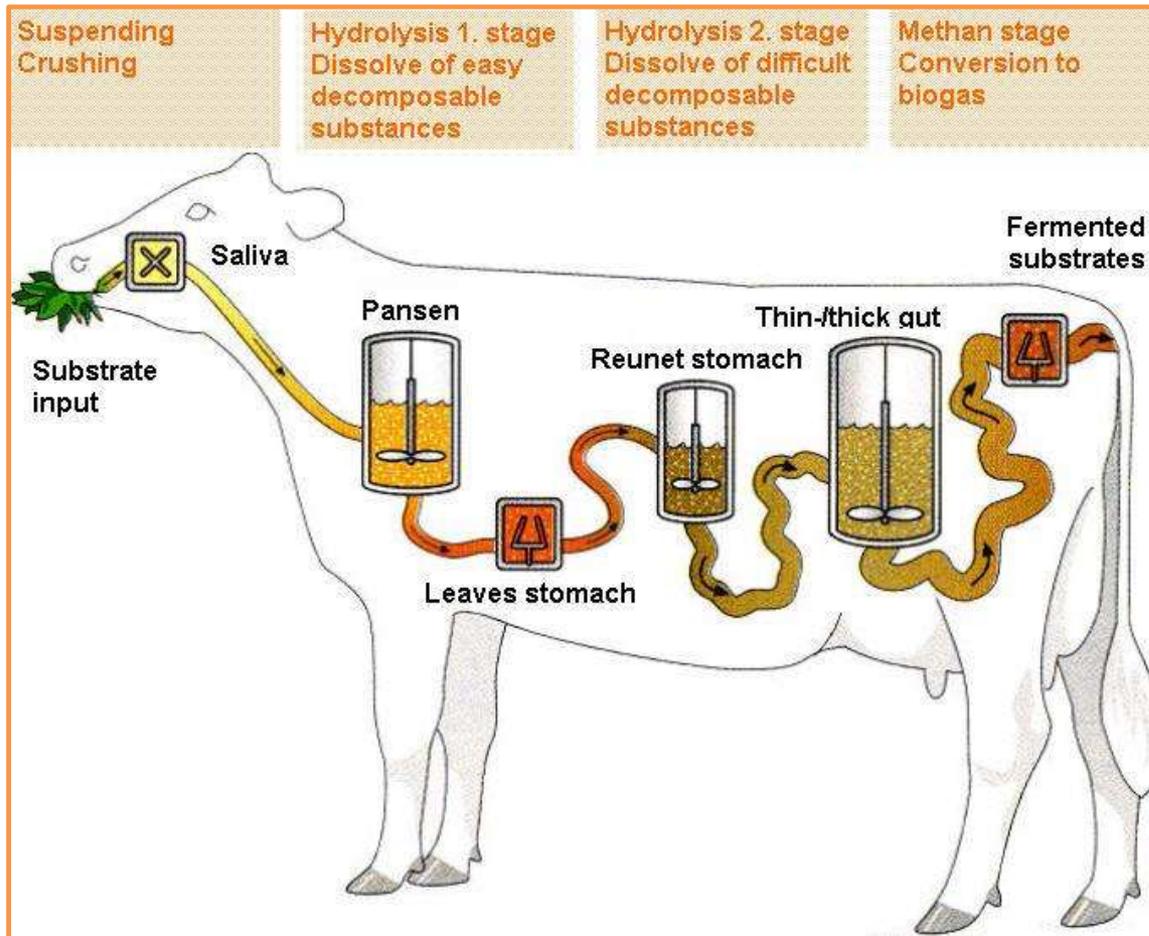
# *INTRODUÇÃO*



# INTRODUÇÃO

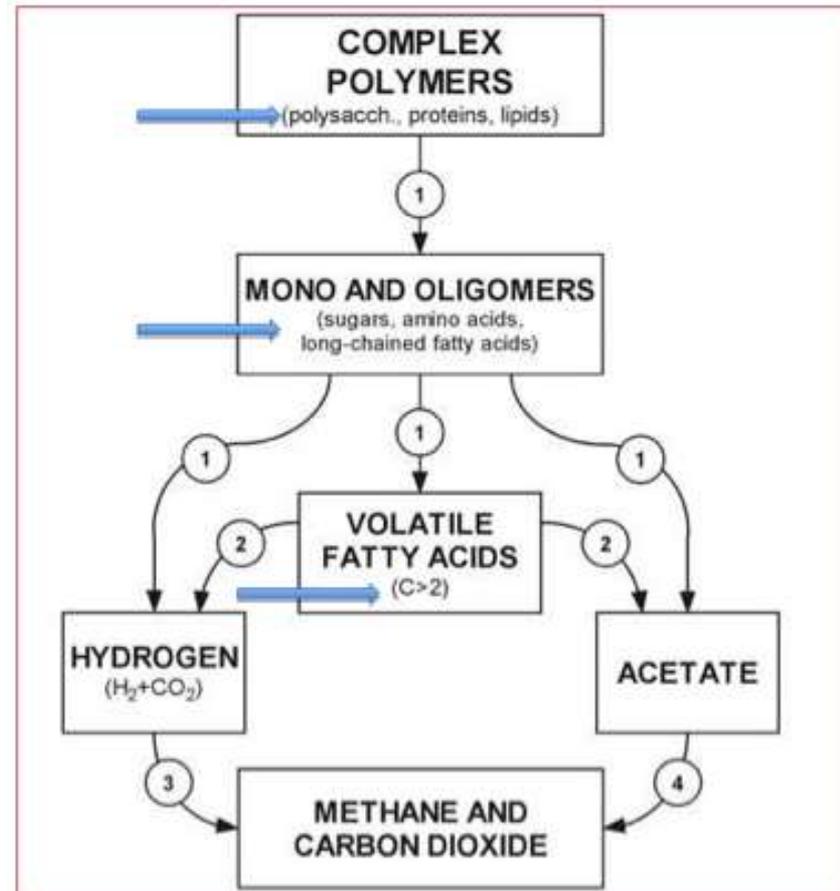


# INTRODUÇÃO



# INTRODUÇÃO

- A digestão anaeróbia consiste em um conjunto de reações redox que promovem a conversão de compostos orgânicos em metano, dióxido de carbono e novas células microbianas.
- Estas reações são normalmente enquadradas em 3 estágios



# INTRODUÇÃO

- Para o sucesso da DA, é necessário a presença de um consórcio de microorganismos com diferentes funções (nichos);
- Os três principais grupos de microorganismos envolvidos nos estágios de degradação são:

Microorganismos hidrolíticos e fermentativos

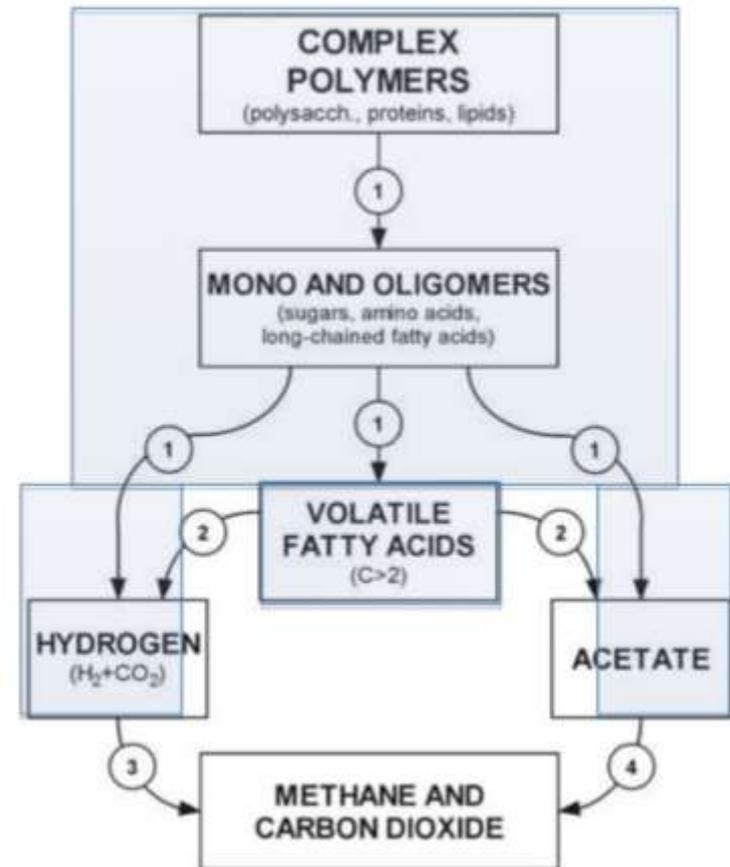
Bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio

2 grupos de Archeas metanogênicas

# INTRODUÇÃO

- **Microorganismos hidrolíticos-fermentativo**

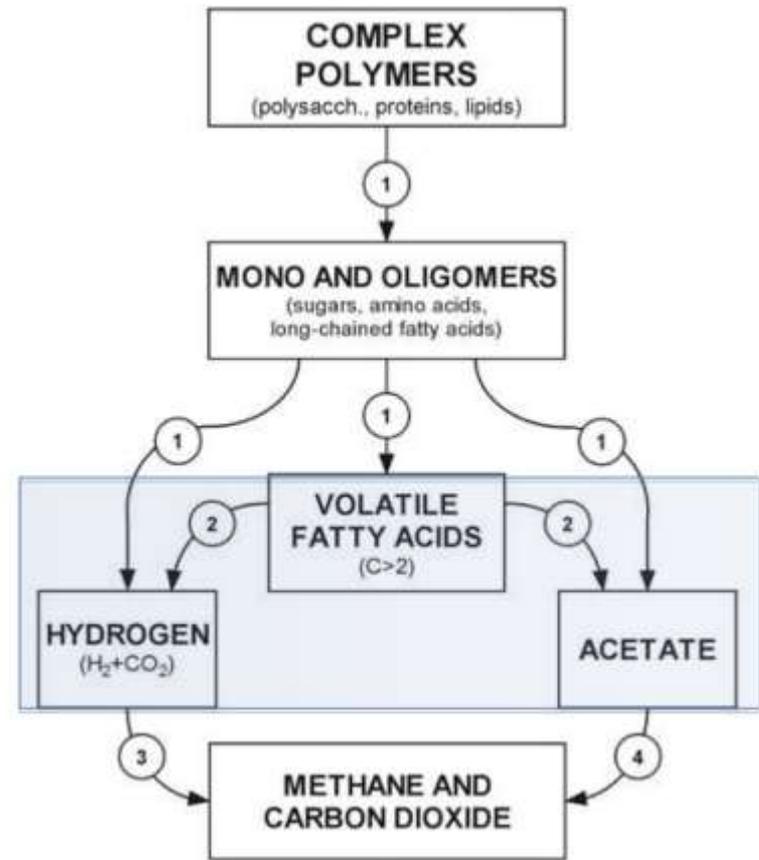
São responsáveis pelo ataque inicial em proteínas, polissacarídeos e lipídios do substrato e produzem principalmente acetato e hidrogênio, mas também grandes quantidades de ácidos orgânicos voláteis (AOV) como o propionato e butirato, assim como álcool.



# INTRODUÇÃO

- **Bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio**

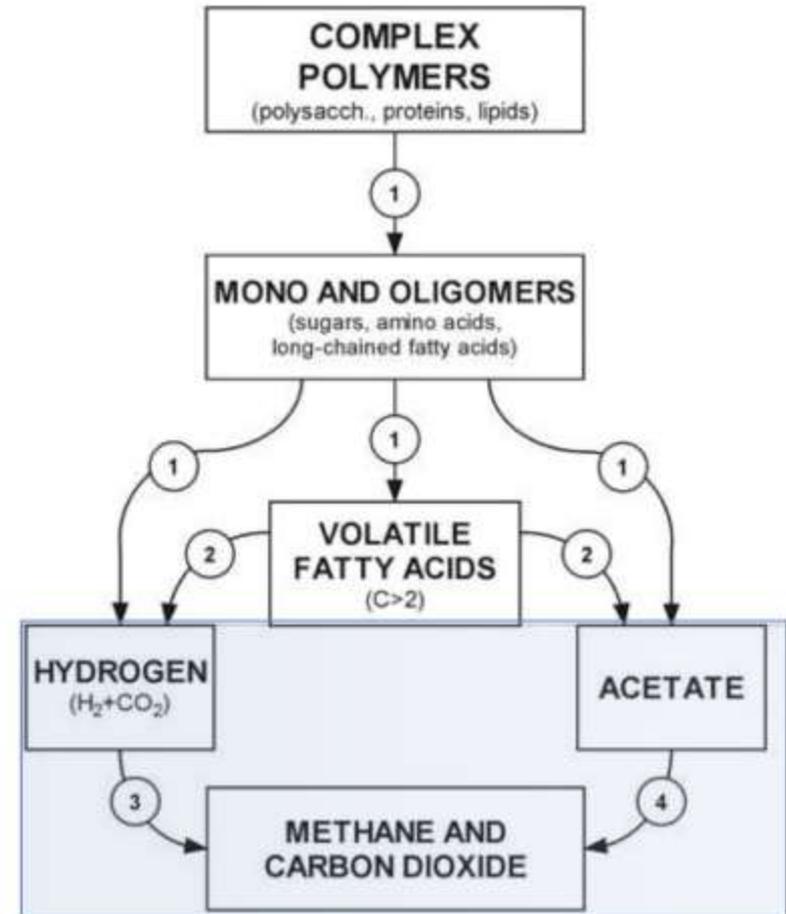
Convertem propionato e butirato em acetato e hidrogênio.



# INTRODUÇÃO

- **Dois grupos de Archea metanogênica**

Produzem metano a partir de acetato ou hidrogênio, respectivamente.



# Metabolismo anaeróbico

## HIDRÓLISE

- Ação de exoenzimas;
- Formação substâncias solúveis
- Cinética lenta (etapa limitante)

## ACIDOGÊNESE

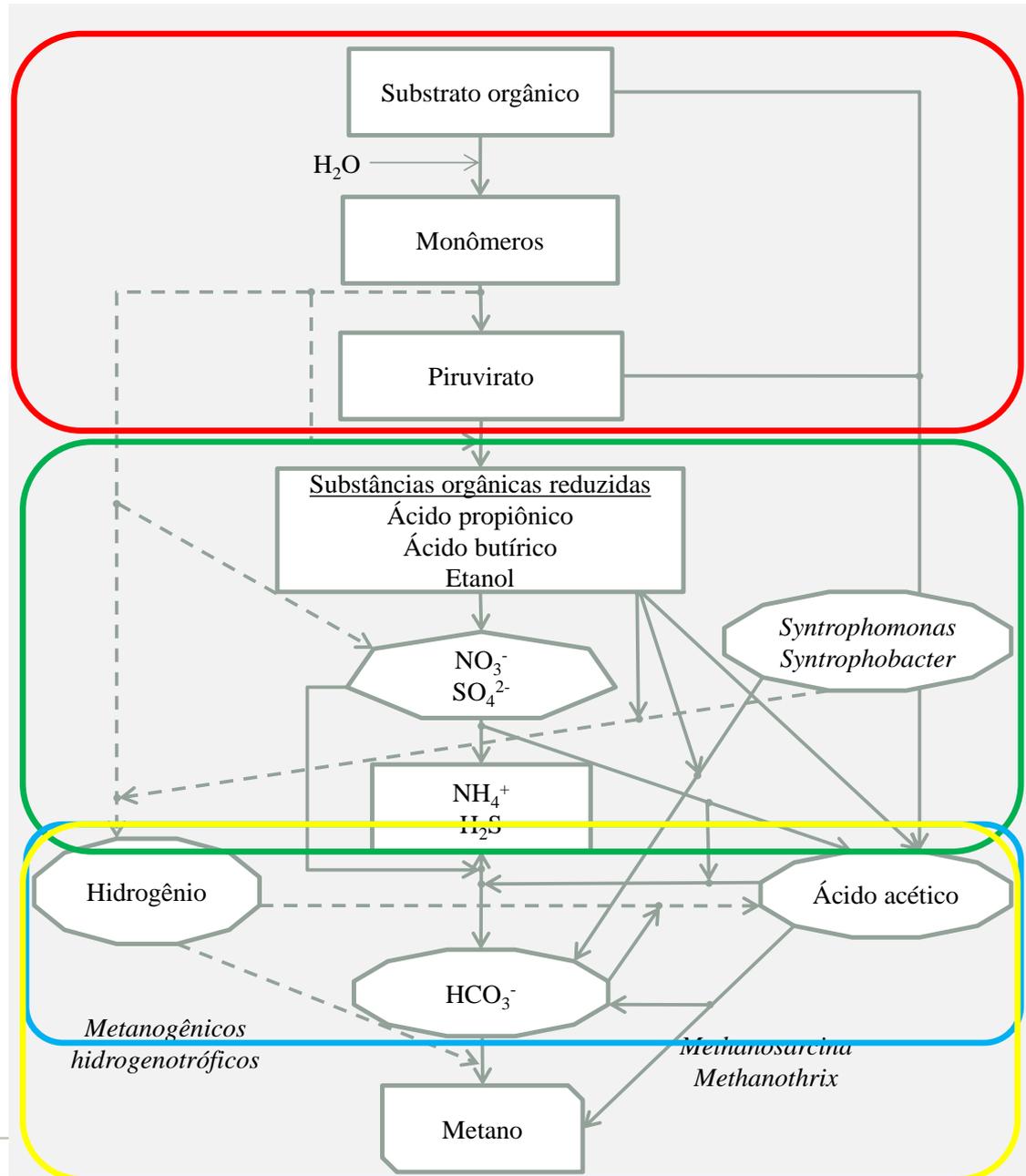
- Redução do composto orgânico
- Produção de AOV,  $H_2$ ,  $CO_2$
- Compostos alcalinos ( $NH_4^+$ )

## ACETOGENESE

- $\rightarrow$ oxidação $\rightarrow H_2$  e acetato
- Homoacetogênese
- Acetogênese sintrófica

## METANOGENESE

- Microorganismos Archea
- $H_2$  e  $CO_2 \rightarrow CH_4$  (sintrofismo)
- Ácido acético  $\rightarrow CH_4$



# INTRODUÇÃO

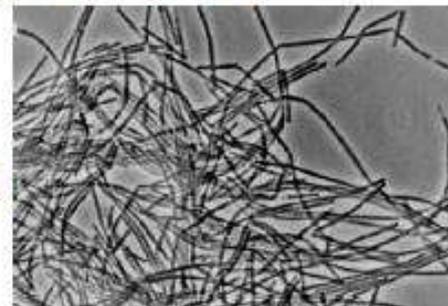
- **Metanogênicos acetoclásticos**



*Methanosarcina acetivorans*



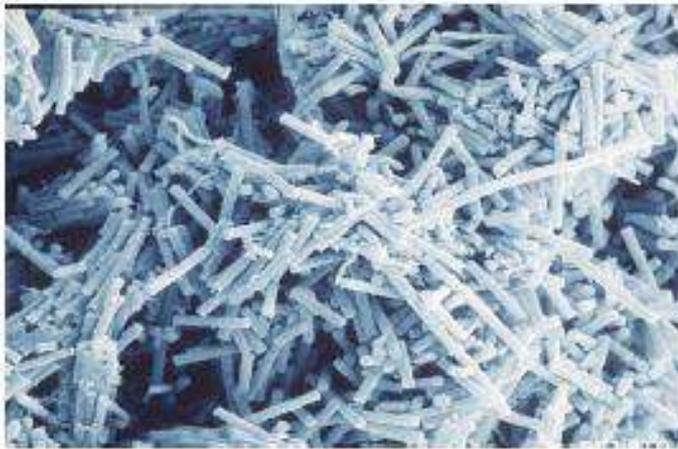
*Methanosaeta concilii*



*Methanosaeta sp.*

# INTRODUÇÃO

- **Metanogênicos acetoclásticos**



*Methanosaeta*  
Substrate: Acetate



Mixed culture  
Substrate: Sucrose

# INTRODUÇÃO

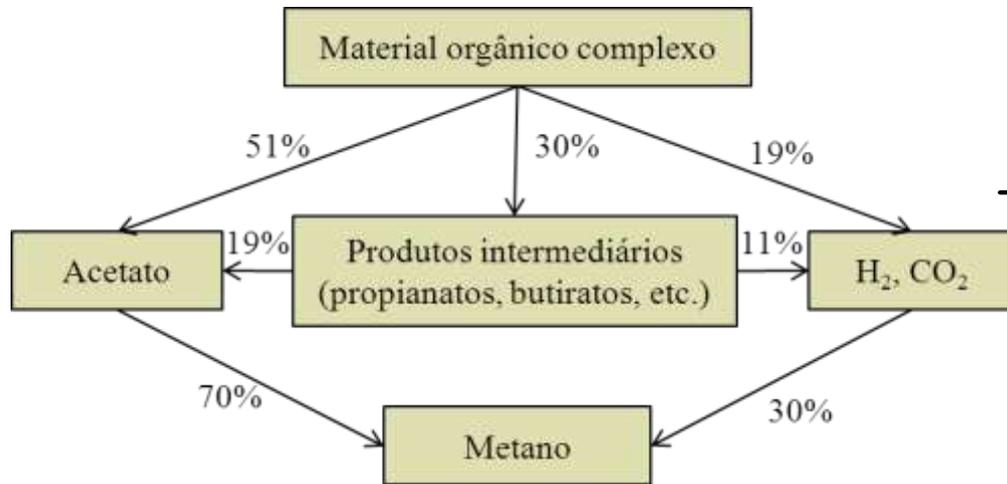
## Mesofílico (35°C)

- Processo consolidado e + praticado países tropicais;
- ↓ consumo de energia para aquecimento;
- Limitação de COV aplicada;
- Existente em DA no Brasi.

## Termofílico (55°C)

- ↑ energia cinética das reações;
- ↑ produtividade biogás;
- Ideal para elevadas COV;
- ↓ utilizada no Brasil;
- Start-up por inoculação ou adaptação da biomassa.

# INTRODUÇÃO

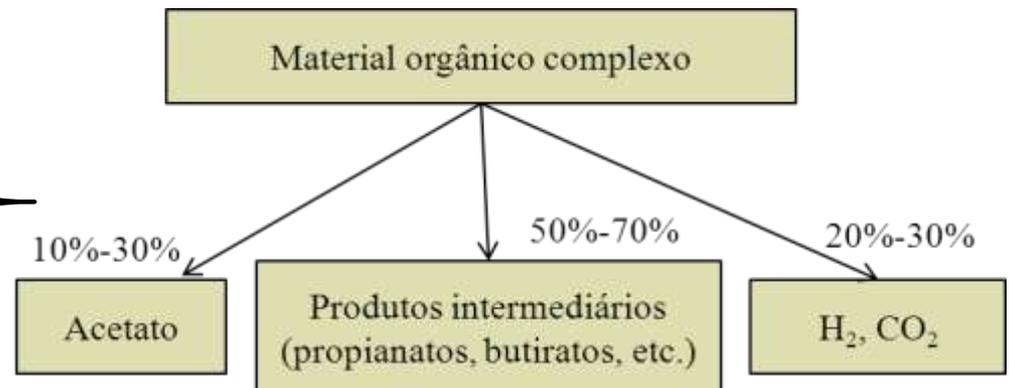


**Um único reator:** condições ambientais não ideais para os diferentes grupos microorganismos

↓ **AOV:** 30% da M.O. é transformado em compostos intermediários

**Reator hidrolítico:** Condições ambientais favoráveis para hidrólise e acidogênese.

↑ **Produção de AOV e H<sub>2</sub>:** 70% da M.O é convertida em compostos intermediários e H<sub>2</sub>.

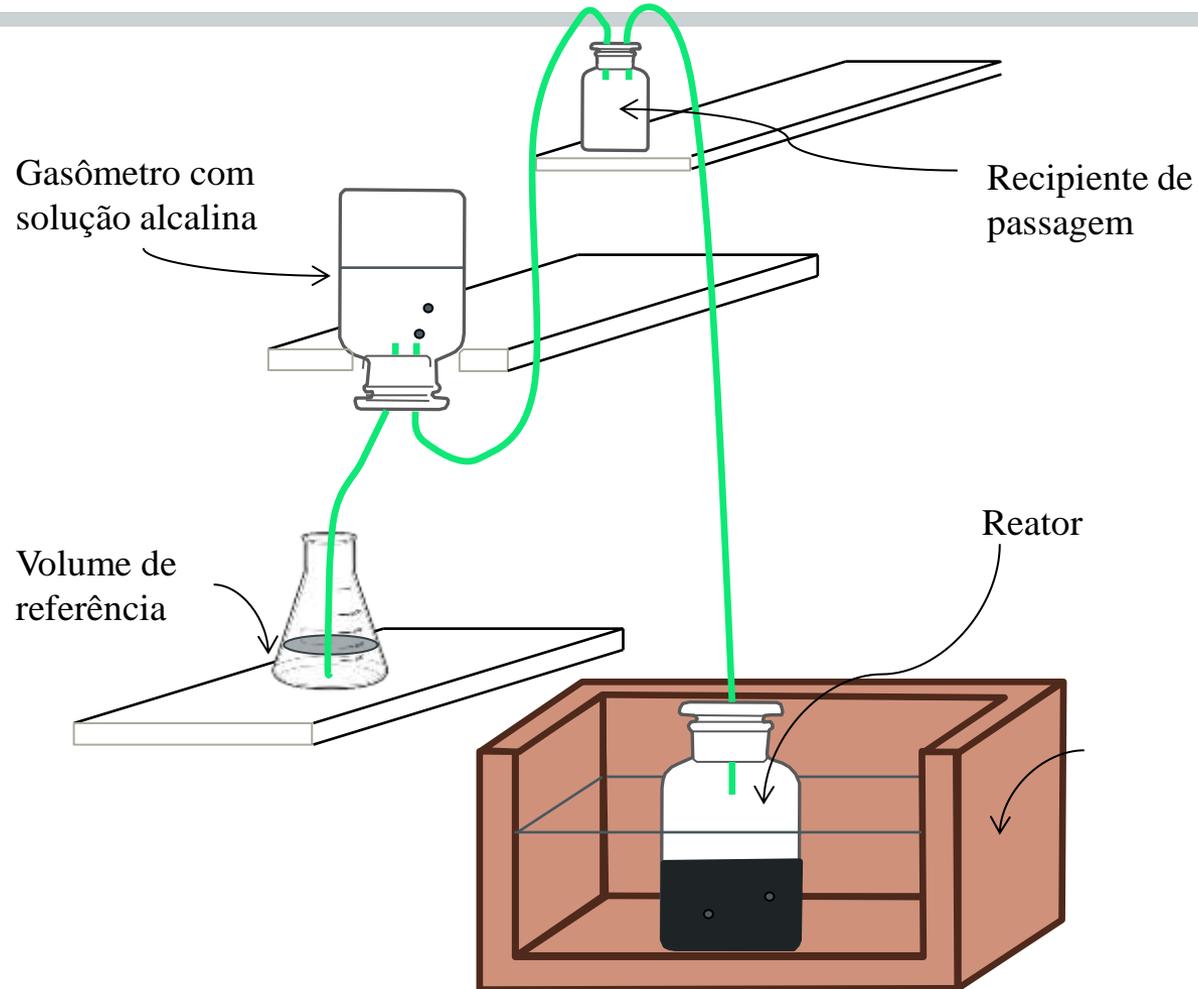


# INTRODUÇÃO

- Ensaio biodegradabilidade / atividade anaeróbia

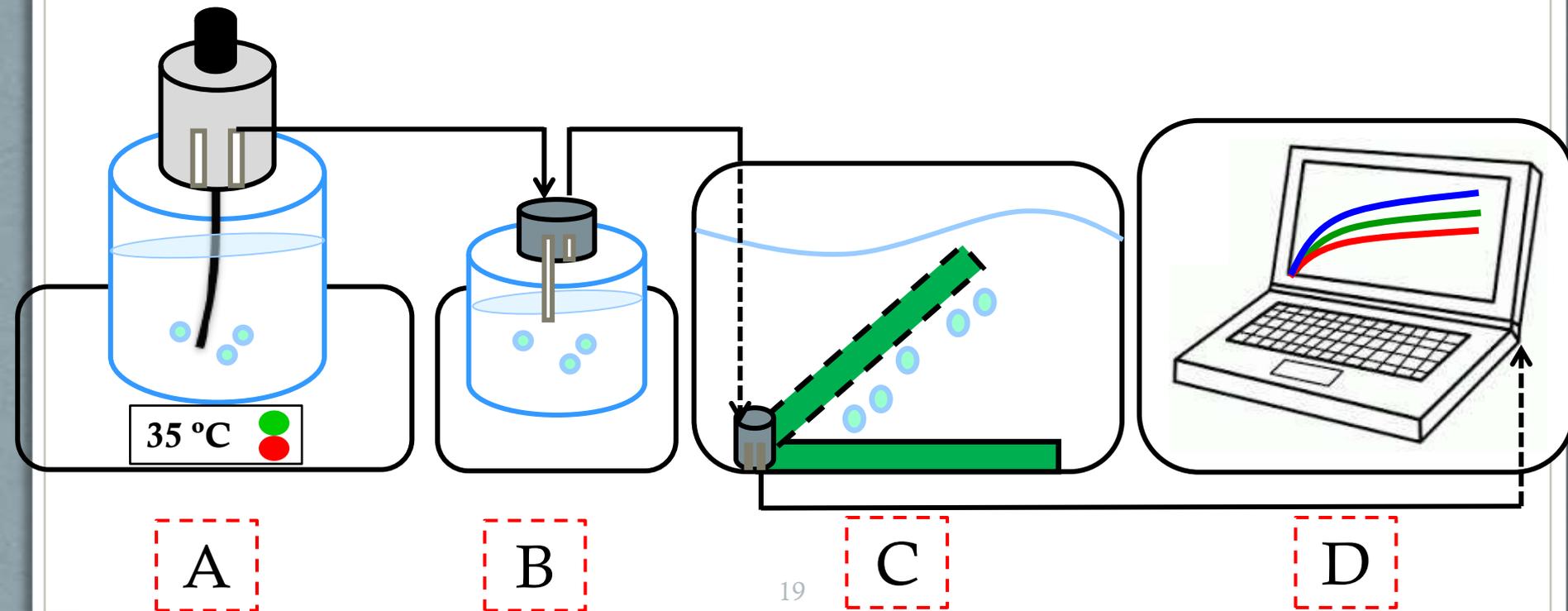


# INTRODUÇÃO



# INTRODUÇÃO

## *Automatic Methane Potential Test System II*



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- Realizadas em colaboração com o Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasoso (LABEFLU/ENS)



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

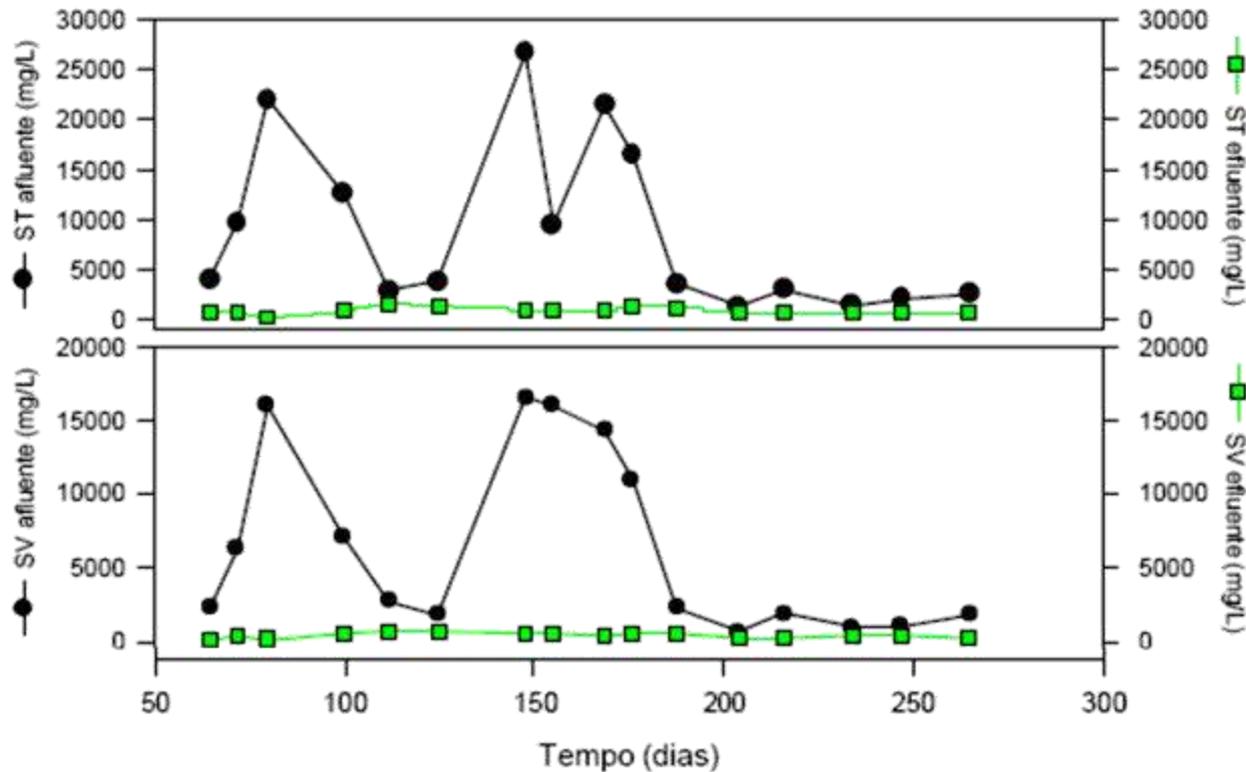
- **DA de lodo de tanque séptico (PINTO, 2006)**
  - 620L;
  - Partida sem inoculação;
  - Alimentação: 2 – 3 vezes por semana;

Operação (d)	TRH (d)	Q (l.d <sup>-1</sup> )	COV (kgDQO.m <sup>-3</sup> .d <sup>-1</sup> )
0 – 166	45	14	0,11 – 0,51
167 – 234	40	16	0,09 – 0,61
234 - 260	35	18	0,079 – 0,14



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- DA de lodo de tanque séptico (PINTO, 2006)

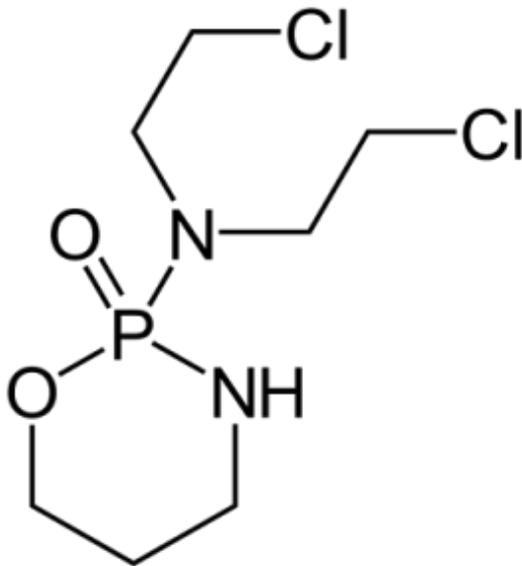


Eficiências média:

- ✦ 77% ST
- ✦ 82% SV

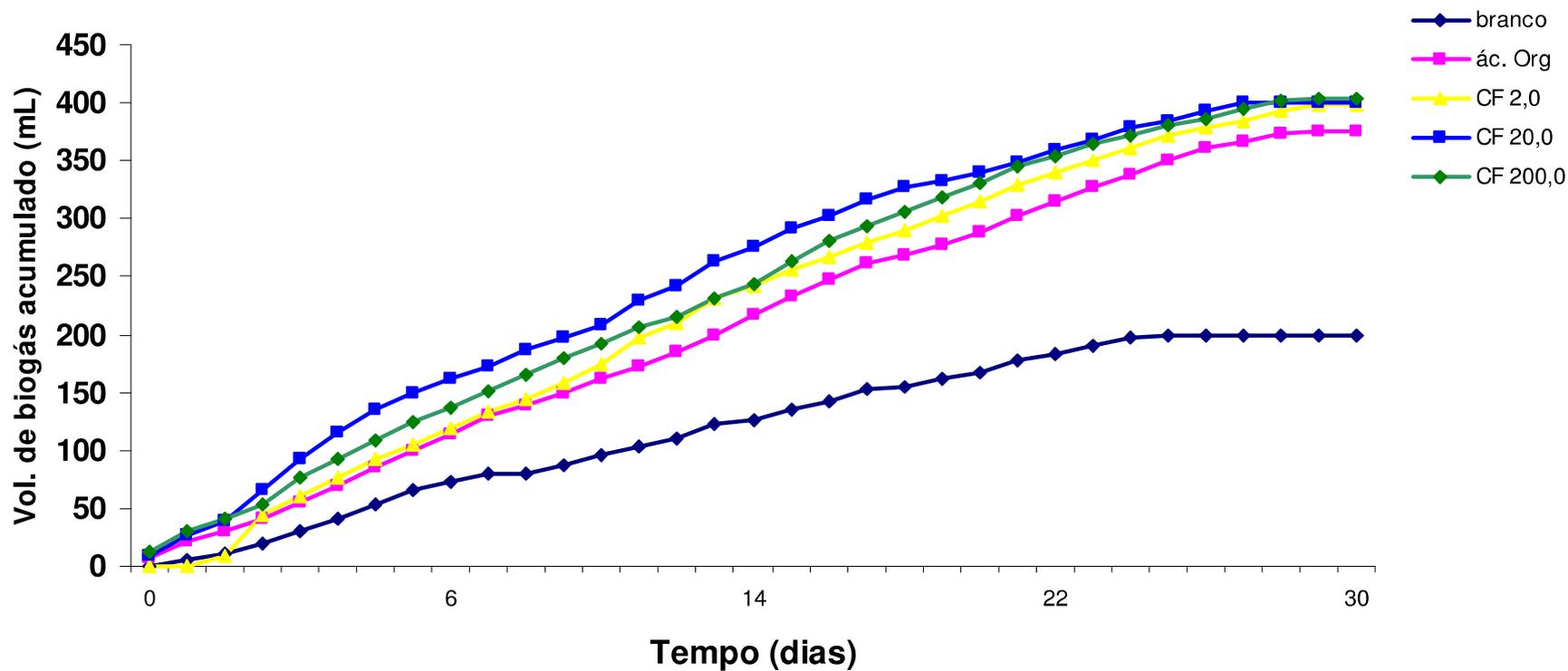
# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- **DA da ciclofosfamida (BARRETO, 2007)**
  - Fármaco incorporado ao meio ambiente, principalmente por excreção urinária de pacientes em tratamento antineoplásico.



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- **DA da Ciclofosfamida (BARRETO, 2007)**



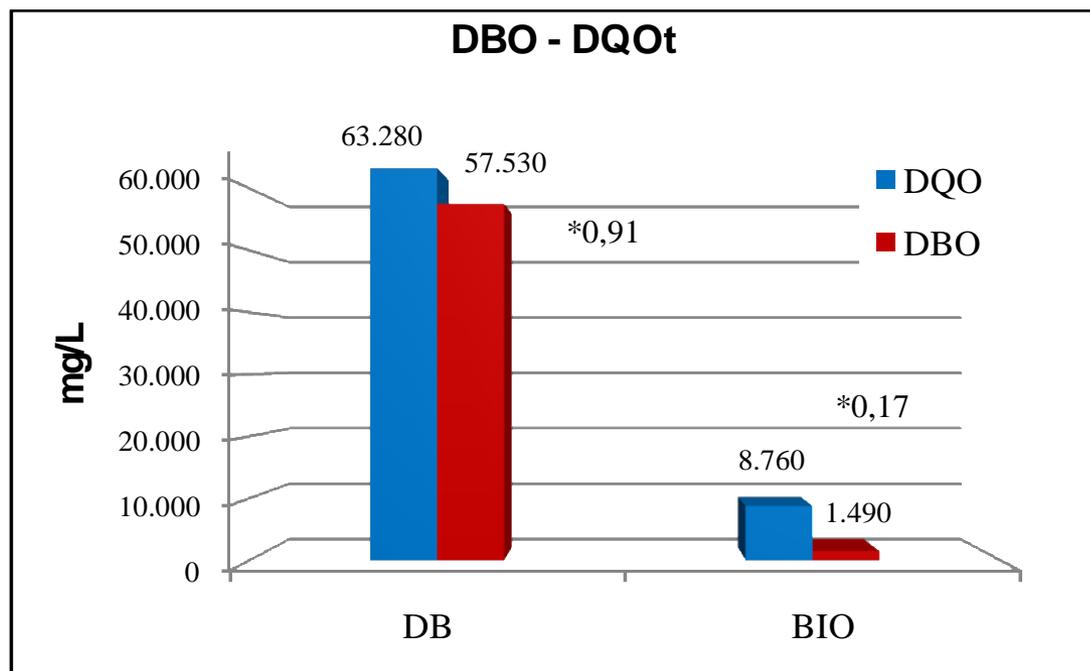
# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- **DA de dejetos suínos (HENN, 2005, DAL MAGO, 2009, MOHEDANO, 2010)**
  - **Projeto TSGA I e II**



# PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC

- DA de dejetos suínos (HENN, 2005, DAL MAGO, 2009, MOHEDANO, 2010).



\*relação DBO/DQO

Figura 43: Valores médios de DQO e DBO<sub>5</sub> no dejetos bruto (DB) e após o Biodigestor (Bio)

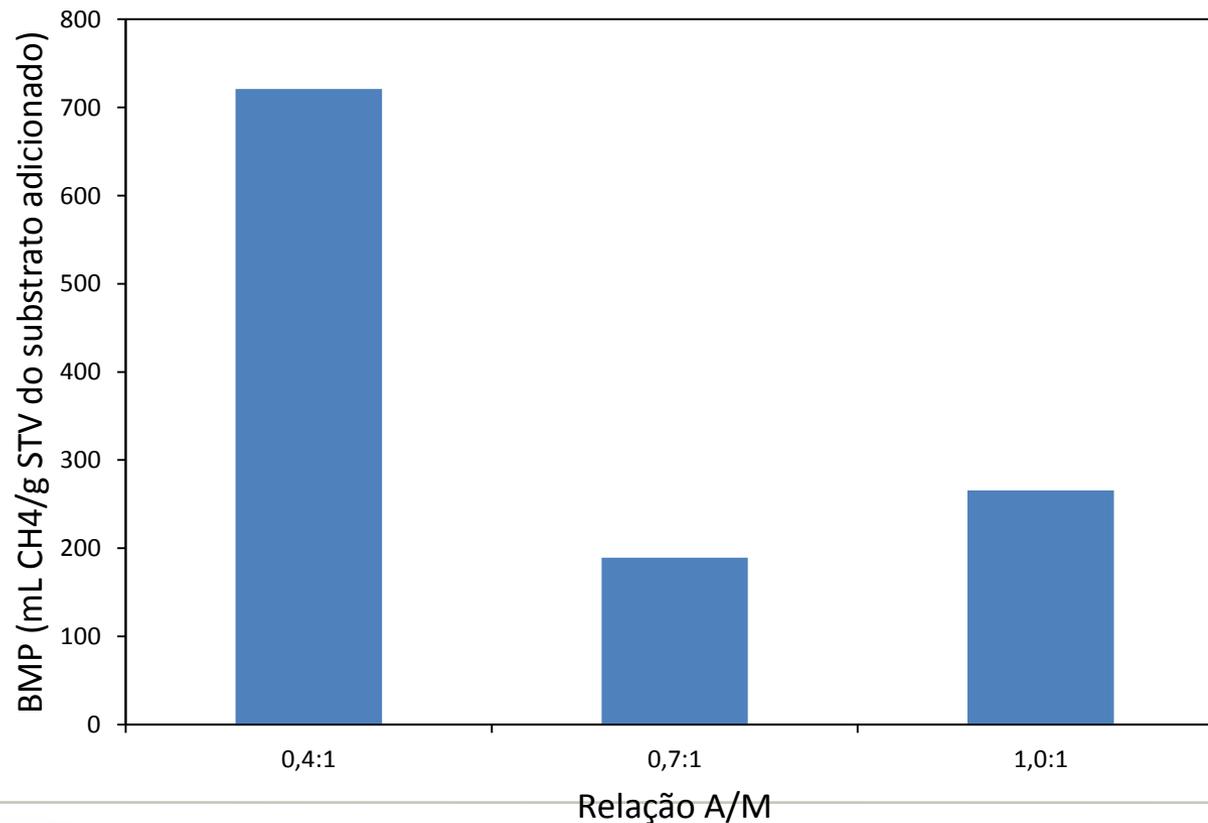
# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- **DA dejetos ovinocultura (COSTA, 2014)**



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- **DA dejetos ovinocultura (COSTA, 2014)**



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

## **PROJETO: ESTUDOS SOBRE GERENCIAMENTO DE LODO PRODUZIDO NA ETE INSULAR/CASAN**

- 2009 a 2013: Desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas para o avanço do gerenciamento do lodo produzido pela CASAN.
- A ETE Insular é a maior planta de tratamento de responsabilidade da CASAN; assim sendo os resultados obtidos para esta estação servirão de referência às demais unidades.
- Princípio da sustentabilidade ambiental (redução da produção do lodo excedente e valorização do subproduto) baseando-se no espírito da Lei de Resíduos sólidos 12.305/2010.

# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

## Equipe Técnica e de Apoio

### **UFSC**

- Paulo Belli Filho (Coordenador)
- Rejane Helena Ribeiro da Costa
- Sebastião Roberto Soares
- Armando Borges de Castilhos Júnior
- Paul Richard Monsem Miller
- Jucinei José Comin
- Elivete Carmem Clemente Prim
- Viviane Furtado Velho
- Camilo Teixeira
- Franciele Fedrizzi
- Francisco José Guedes Pimentel
- Wanderli Rogério Moreira Leite

### **CASAN**

- Alexandre Bach Trevisan (Coordenador)
- Anigeli Dal Mago
- Felipe Gustavo Trennepohl
- Rodrigo Maestri
- Pery Fornari Filho

### **Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina**

- Tatiana de Aguiar
- Alexandre Conceição

# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

## Subprojeto I

- *Estudo de alternativas para minimização da produção de lodo em sistemas de lodos ativados;*

## Subprojeto II

- *Digestão anaeróbia de lodo adensado da ETE Insular / CASAN;*

## Subprojeto III

- *Avaliação da eficiência do processo de compostagem com aeração natural no tratamento do lodo de ETE's para fins de higienização e uso como insumo agrícola;*

## Subprojeto IV-1

- *Aproveitamento de lodo de ETE como material de construção de tubos de concreto;*

## Subprojeto IV-2

- *Aproveitamento do lodo da ETE insular / CASAN como camada de cobertura de aterro sanitário.*

# PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC

## Equipe técnica



10 profissionais  
envolvidos

26 alunos de  
iniciação científica

## Tempo de execução (meses)

24 sub IV

30 sub III

48 sub I e II

## Produções

18 artigos eventos

7 artigos (FI)

2 doutorados

5 mestrados

8 TCC

## Instalações experimentais

4 pilotos



1 bancada

## Monitoramento analítico



14000  
resultados  
laboratoriais

## Inovação

3 tecnologias

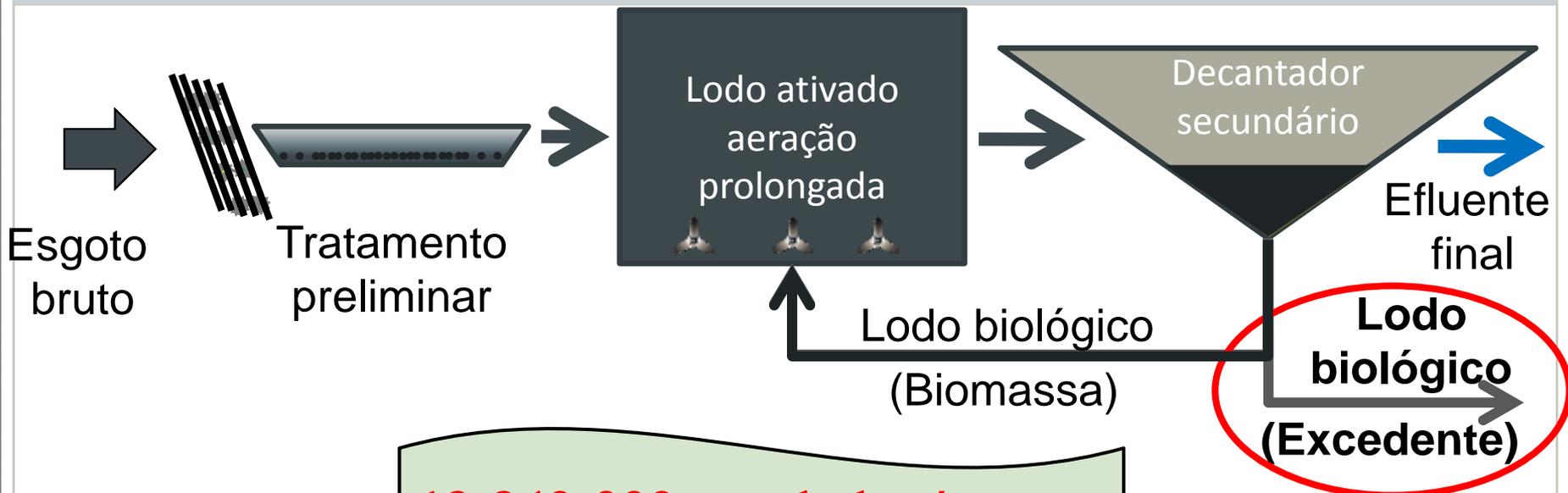
aplicáveis

2 potenciais

viáveis  
(mais

investigação)

# PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC



**12.240.000 toneladas/ano**



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- **DA de lodo de esgoto (LEITE 2009 e 2015)**

**Digestão anaeróbia (DA) mesofílica e termofílica de lodo secundário de estação de tratamento de esgoto**

**Sistema experimental 1 (Brasil)**

**DA termofílica em reator de estágio único**

**DA mesofílica em reator de estágio único**

**DA termofílica em reator de estágio único**

**DA termofílica em reator de 2 estágios**

# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- **DA de lodo de esgoto (LEITE 2009, 2015)**



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- DA de lodo de esgoto (LEITE 2009, 2015)

DOI: 10.1590/S1413-41522015020040105625

## **Artigo Técnico**

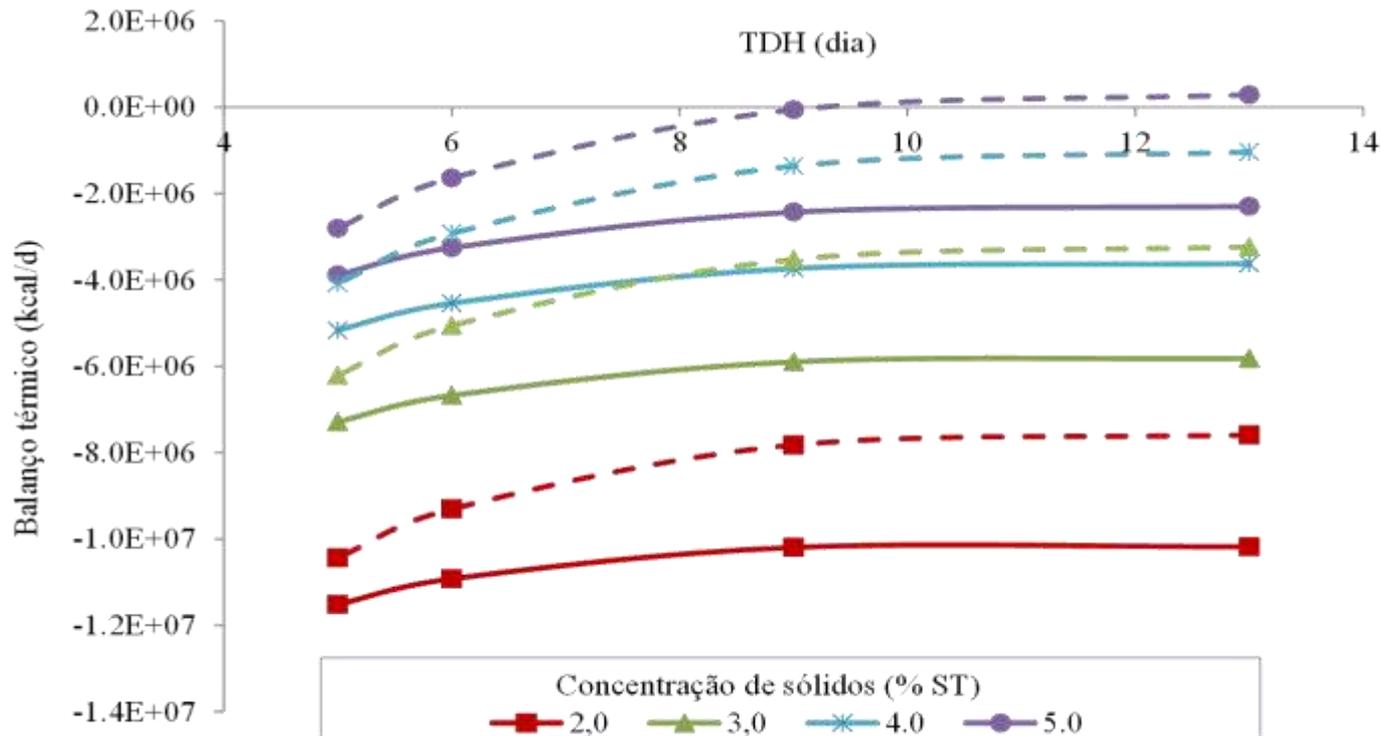
### **Análise comparativa dos efeitos da carga orgânica e do tempo de retenção hidráulica na digestão anaeróbia mesofílica de lodo adensado de estação de tratamento de esgoto**

*Comparison of organic loading rate and hydraulic retention time effects on the mesophilic anaerobic digestion of thickened waste activated sludge*

**Wanderli Leite<sup>1</sup>, Eric Maffazzoli<sup>2</sup>, Lorena Guimarães<sup>1</sup>, Anigeli Dal Mago<sup>3</sup>, Paulo Belli Filho<sup>4</sup>**

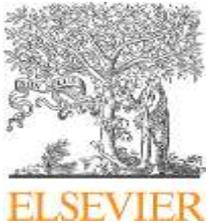
# PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC

- DA de lodo de esgoto (LEITE 2009, 2015)



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

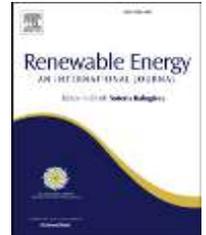
- DA de lodo de esgoto (LEITE 2009, 2015)



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

## Renewable Energy

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/renene](http://www.elsevier.com/locate/renene)



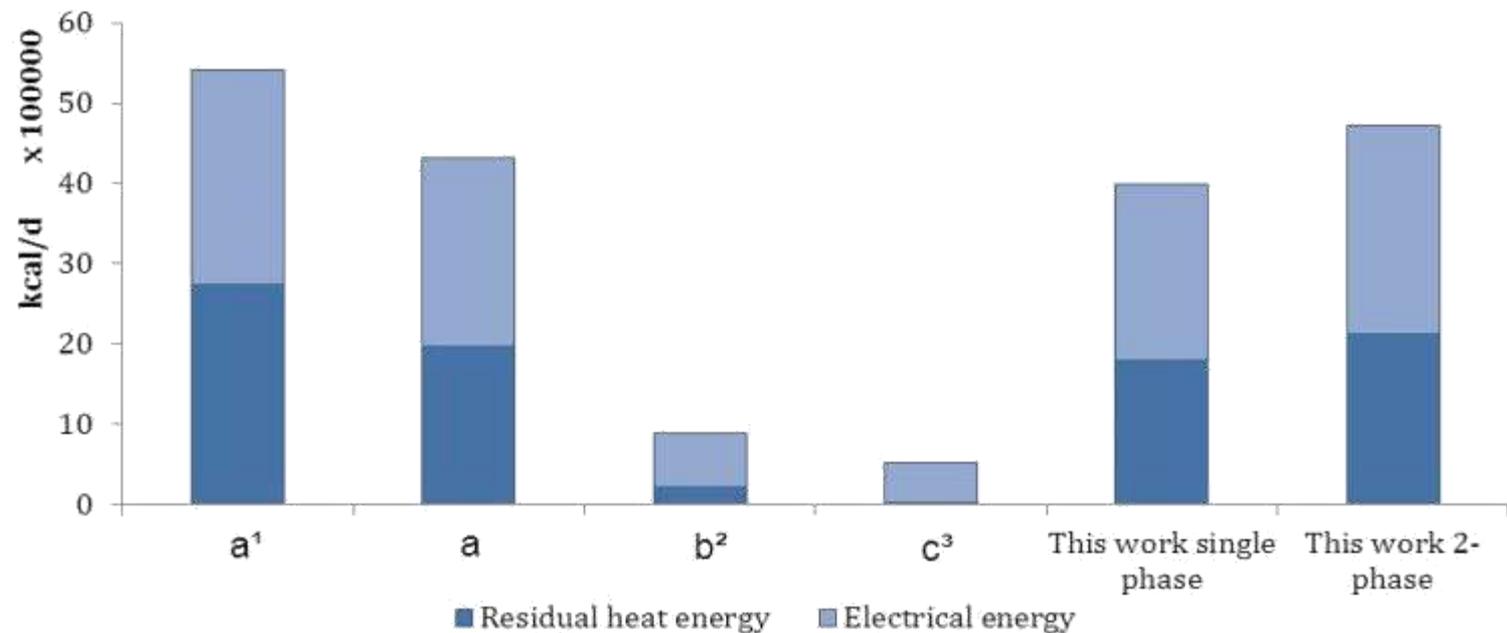
Performance and energy aspects of single and two phase thermophilic anaerobic digestion of waste activated sludge



Wanderli Rogério Moreira Leite <sup>a,\*</sup>, Marco Gottardo <sup>b</sup>, Paolo Pavan <sup>b</sup>, Paulo Belli Filho <sup>a</sup>,  
David Bolzonella <sup>c</sup>

# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- DA de lodo de esgoto (LEITE 2009, 2015)



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

## **Reúso agrícola de lodo de ETE submetido à DA mesofílica (ECCO, 2012)**

- Análise de metais pesados e indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos (CONAMA, 2006);

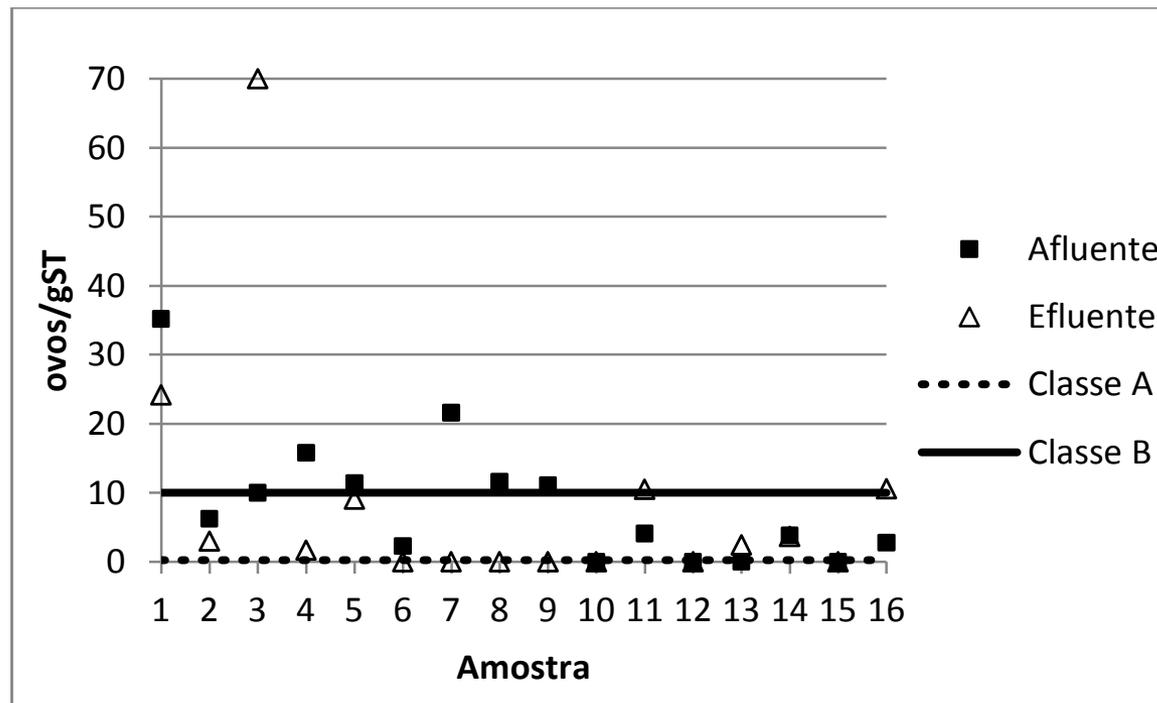


Amostras	Análise	Método	Frequência
Lodo bruto e efluente	Ovos de Helmintos (He)	Sedimentação (EPA 2003)	Quinzenal
Lodo bruto e efluente	Coliformes totais	Colilert Quanti Tray (SM 9223B)	Semanal
Lodo bruto e efluente	Coliformes termotolerantes	Colilert Quanti Tray (SM 9223B)	Semanal
Lodo bruto e efluente	Salmonella	Plaqueamento seletivo	Mensal



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

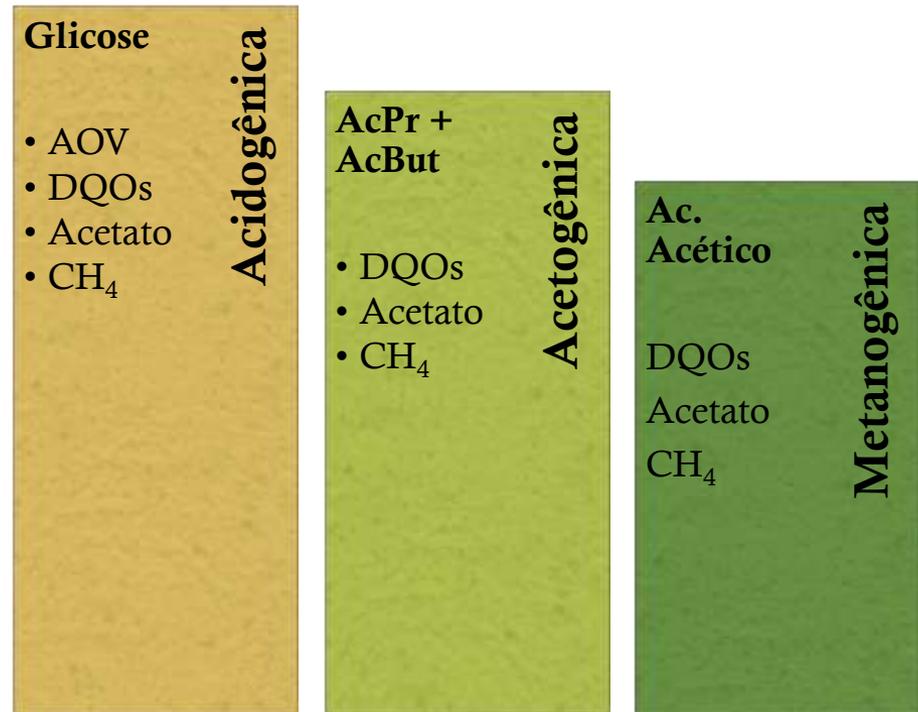
- **Reúso agrícola de lodo de ETE submetido à DA mesofílica (ECCO, 2012)**



**Figura 12 – Ovos de helmintos por gramas de ST no lodo**

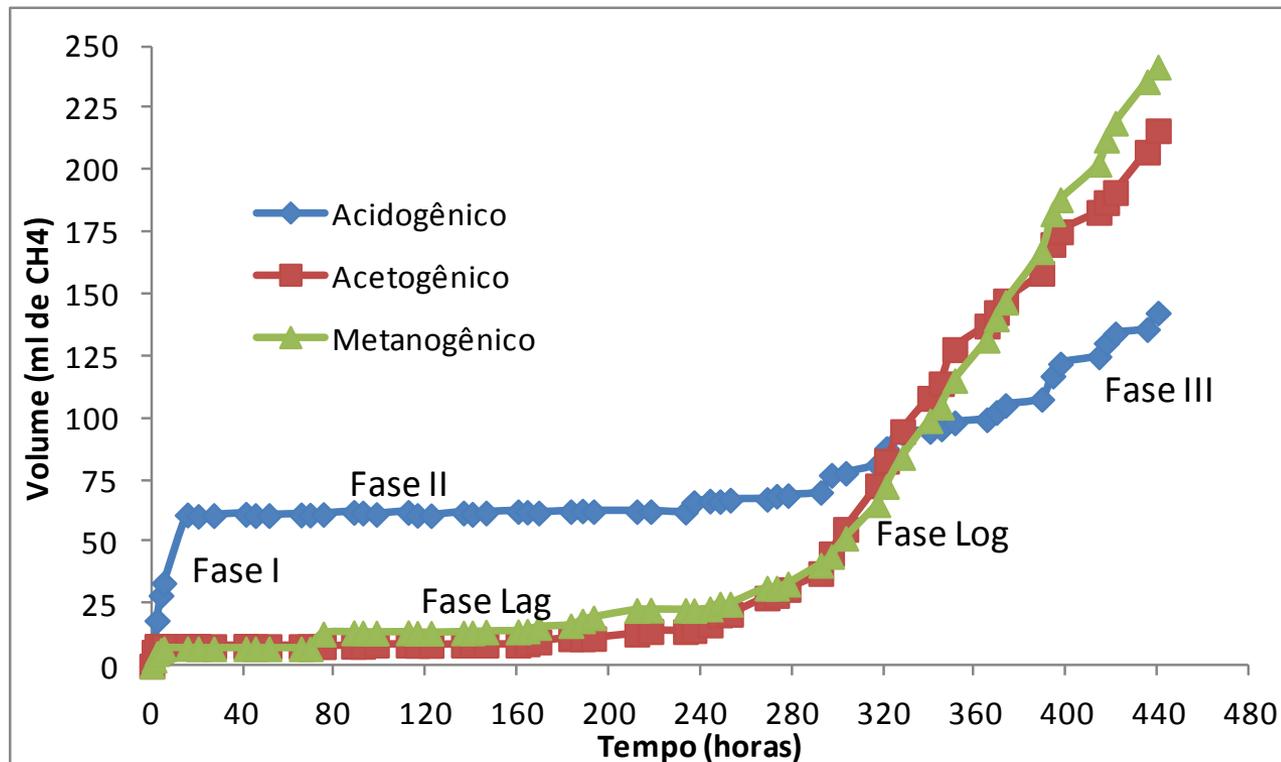
# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- **Atividade microbiana anaeróbia submetida a substratos preferências (SGANZERLA, 2013)**
- Reatores em batelada baseado em Angelidaki et al. (2009) para ensaio com lodo de ETE;
- Ensaio na proporção 1:1(SSV/DQO);
- Montagem do experimento baseada em PINTO (2006) apud SOARES & HIRATA (1997).



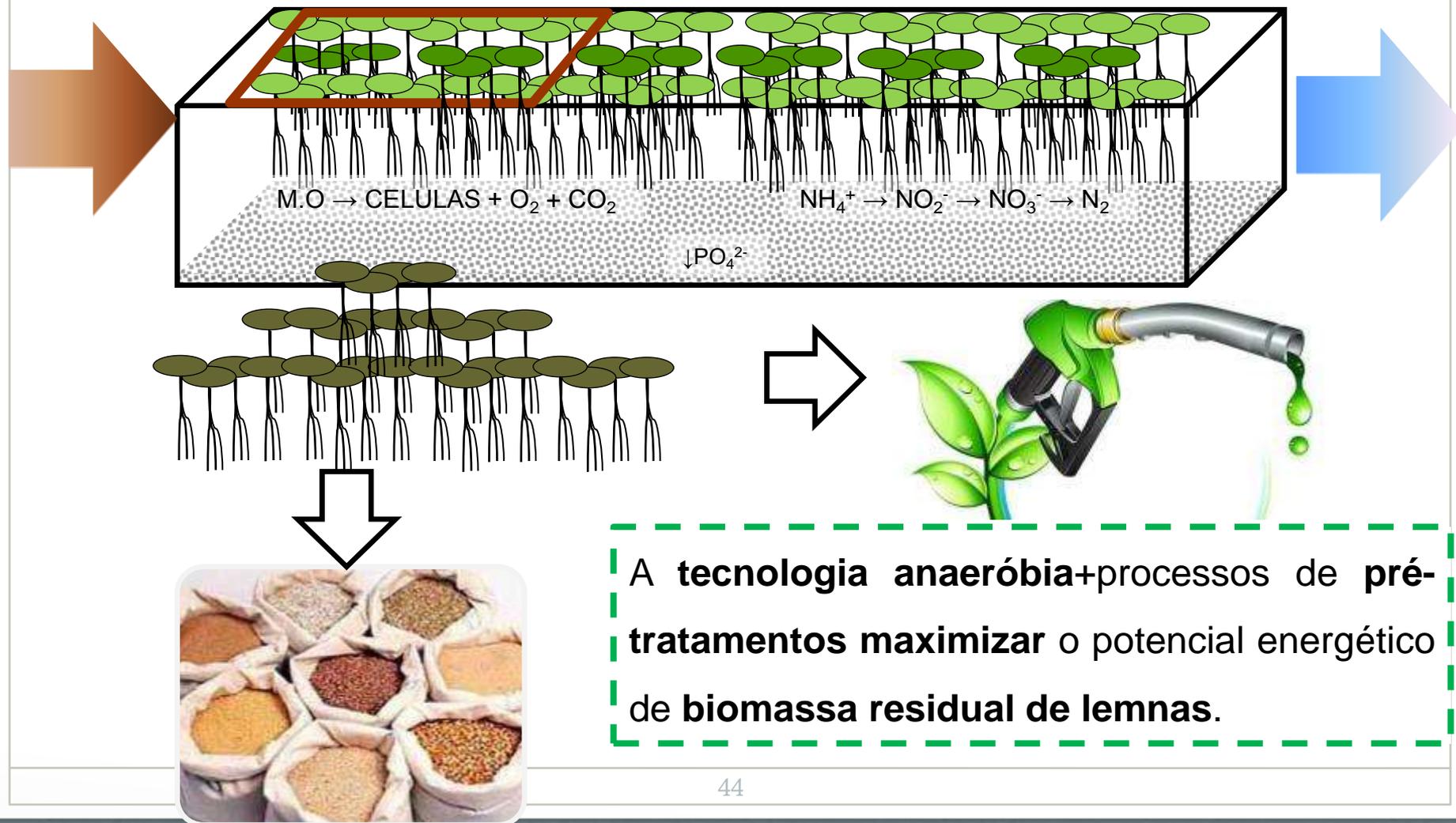
# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- AME com substratos preferenciais:

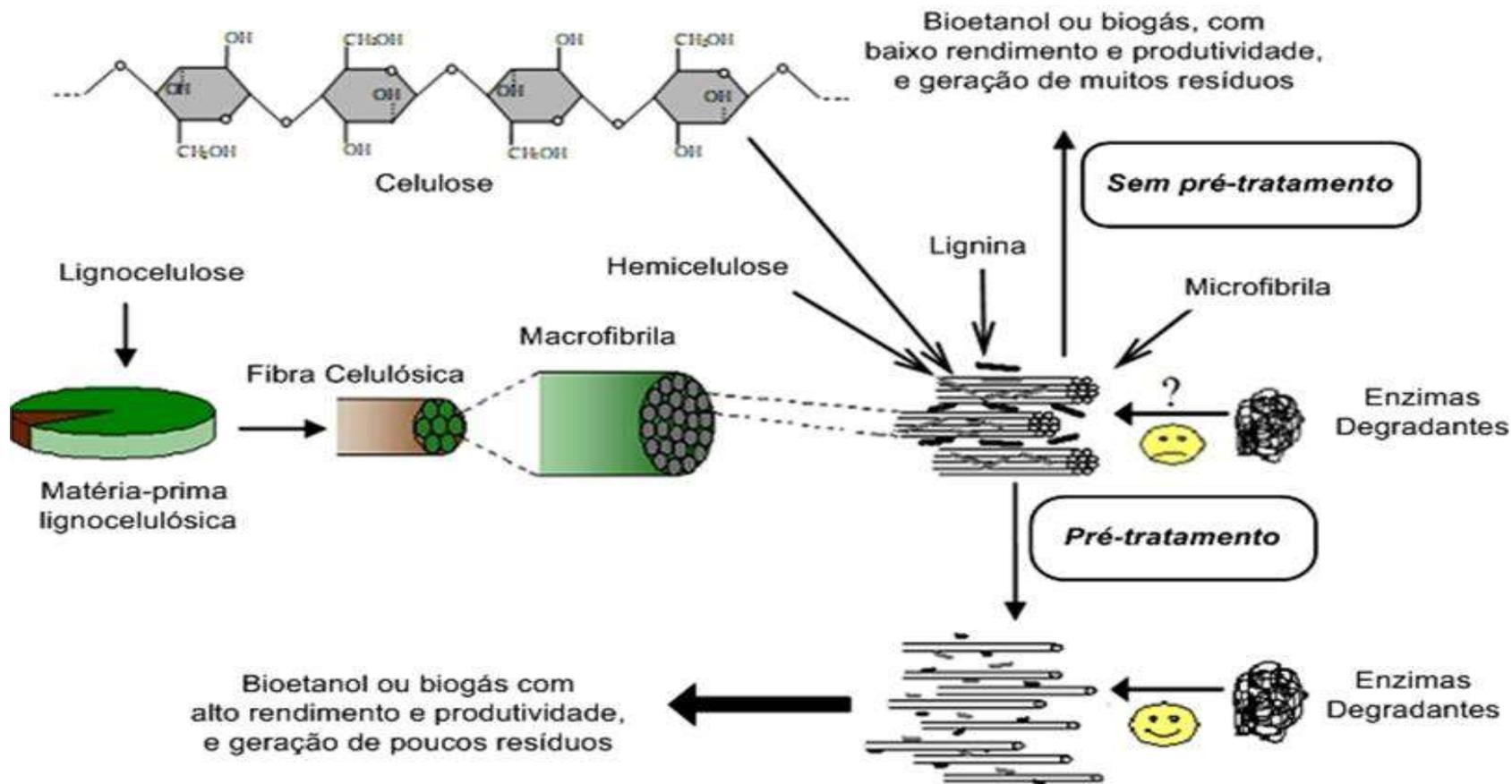


**Figura 11** - Produção de gás metano médio nos reatores acidogênicos, acetogênicos e metanogênicos.

# PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC



# PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*

- **Avaliação do potencial de produção de biometano a partir de lemnas: efeito do pré-tratamento (MAGNUS, 2015).**



**Alcalino**

Lemnas secas em estufa à 70°C, por um período de 24h;

Contato com solução de NaOH 1% (1:5), por 1h a 85°C.



**Térmico**

Lemnas secas em estufa à 35°C, por um período de 24h.



**Fermentativo**

Lemnas passaram por processo de fermentação por um período de TDH de 3 dias, à 35°C.

Sistema piloto composto por dois tanques de equalização (T1 e T2) e duas lagoas de lemnas (L1 e L2).

# PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC



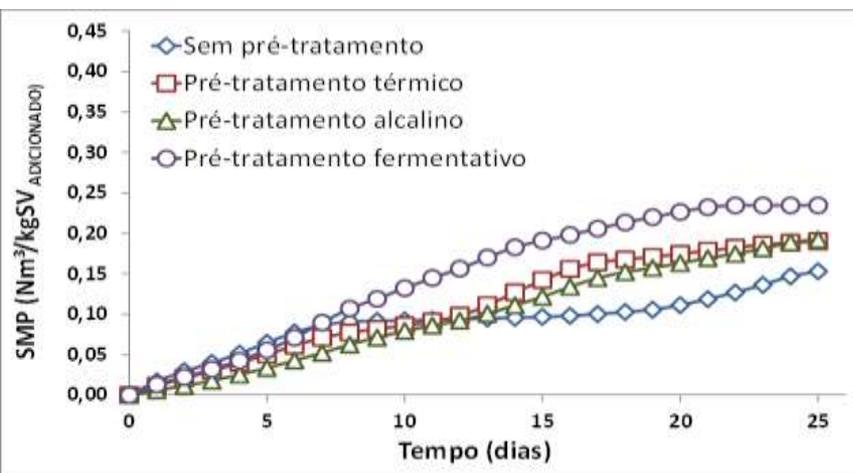
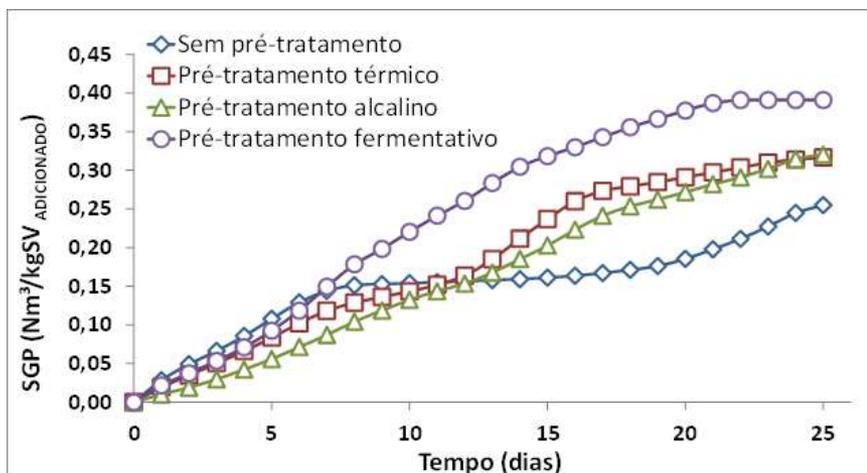
Pré-tratamento fermentativo:  
0,39 Nm<sup>3</sup>BIOGÁS/kgSV<sub>ADICIONADO</sub>  
0,23 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV<sub>ADICIONADO</sub>



Sem pré-tratamento:  
0,25 Nm<sup>3</sup>BIOGÁS/kgSV<sub>ADICIONADO</sub>  
0,15 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV<sub>ADICIONADO</sub>

Inferiores aos de Kesaano (2011):

- 0,36 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV
- Lemnas
- 35°C
- Alimentação contínua



# *PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO ÂMBITO PPGEA-UFSC*



PRÊMIO  
SANEPAR  
DE TECNOLOGIAS  
SUSTENTÁVEIS



## GRADUAÇÃO OU ESPECIALIZAÇÃO



**MAIQUEL AURI LAMB (UFSC - RS)**

R\$15.000,00



**BRUNA SCANDOLARA MAGNUS (UFSC - SC)**

R\$10.000,00



**KELLY BORNE (UNILA - PR)**

R\$5.000,00

*PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO  
LABORATÓRIO DE SANEAMENTO  
AMBIENTAL - UFPE*

**Activities and research areas** - The activities developed in the LSA include some lines of research, all of them related to the field of environmental sanitation: biological treatment (aerobic and anaerobic) of wastewater (Figure 2); water supply systems; water reuse; environmental management; leachate treatment; effluents from textile industry; slaughterhouse effluents; contamination by hydrocarbons and heavy metals; monitoring of treatment plants.

*PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO  
LABORATÓRIO DE SANEAMENTO  
AMBIENTAL - UFPE*



Prof.  
Mario T.  
Kato



Prof.  
Lourdinha  
Florêncio



Prof. Sávia  
Gavazza



Prof.  
Wanderli  
Leite

*PESQUISAS REALIZADAS EM DA NO  
LABORATÓRIO DE SANEAMENTO  
AMBIENTAL - UFPE*



# Obrigado pela atenção!

Prof. Dr. Wanderli Leite

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - DECIV  
Laboratório de Saneamento Ambiental - LSA  
Universidade Federal de Pernambuco

