



# Efluente de ETEs: quais os limitantes para recuperação de água, energia e nutrientes?

André Bezerra dos Santos

Grupo de Pesquisa em Tecnologias Ambientais (GPTA)

Coordenador de Comitê Técnico-Científico – INCT ETEs Sustentáveis



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

Instituições parceiras:

Financiamento:



UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO

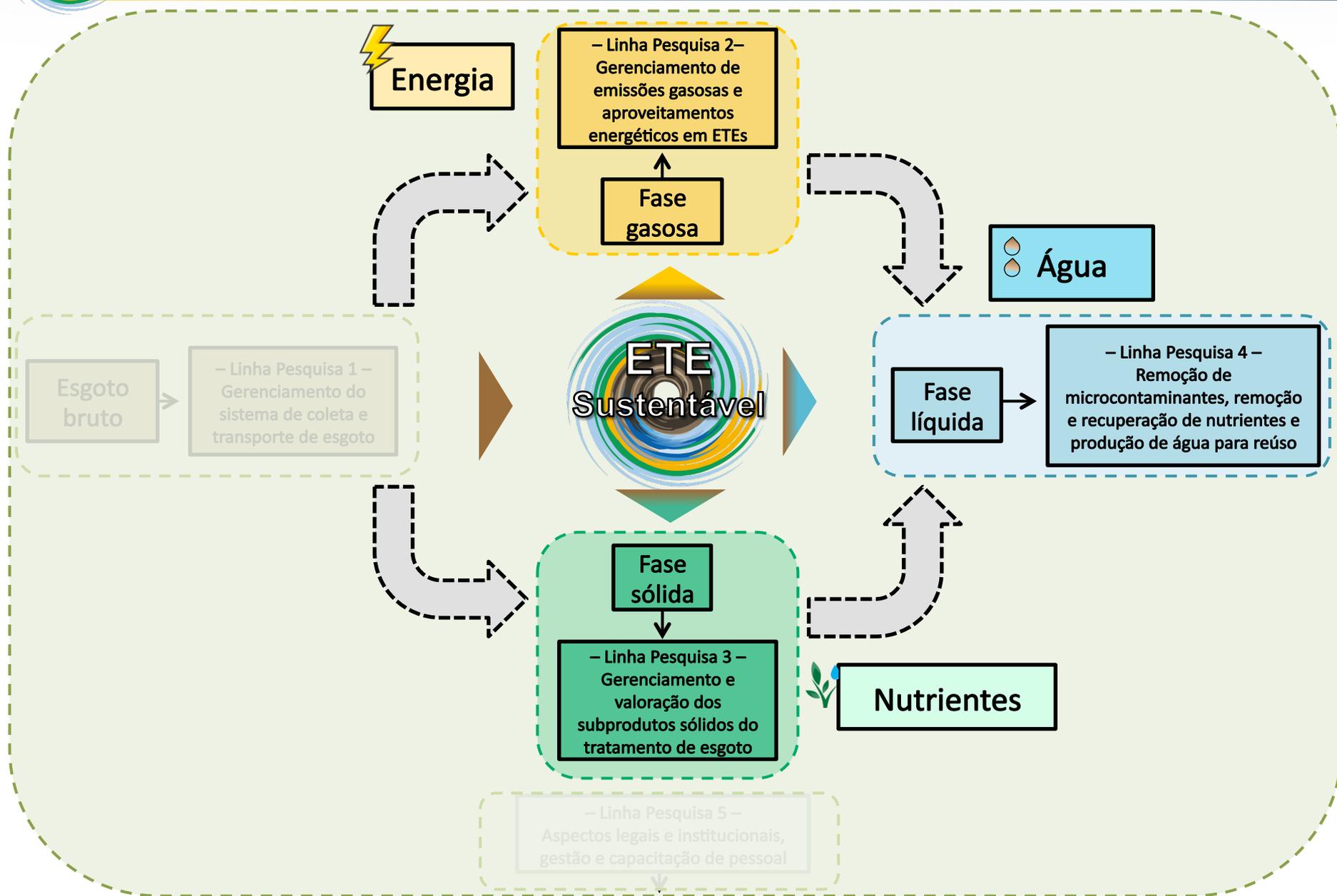


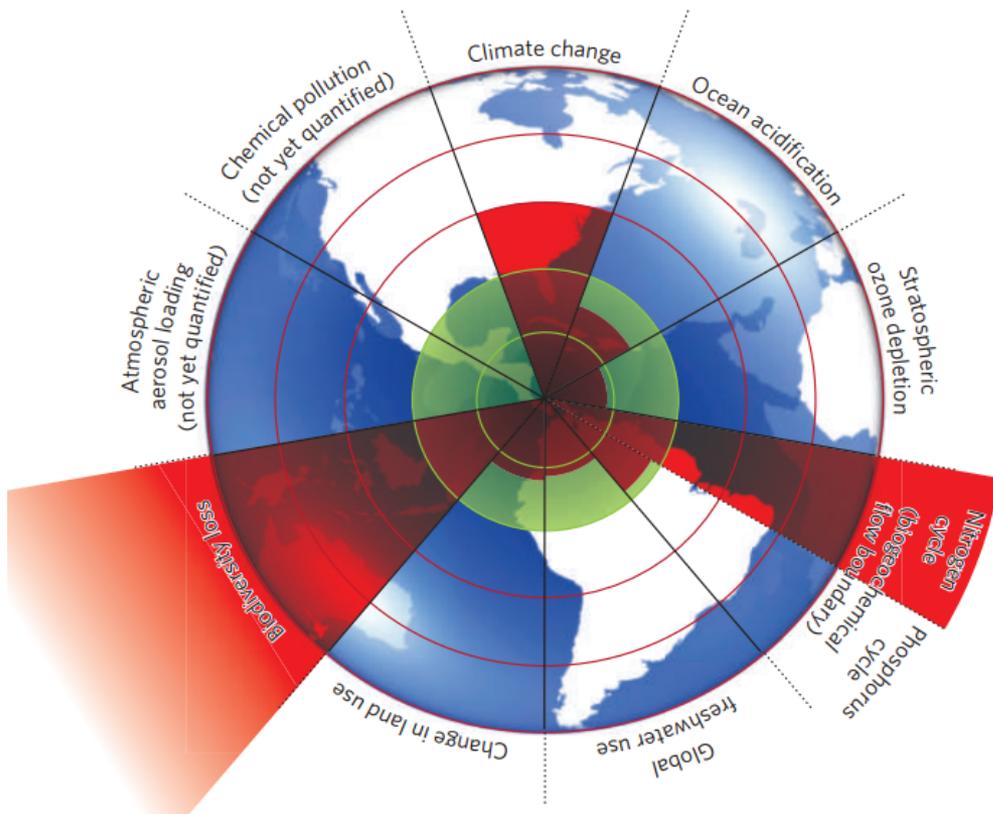
FUNDAÇÃO  
UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE  
MATO GROSSO DO SUL



USP  
UNIVERSIDADE  
DE SÃO PAULO







### A safe operating space for humanity

Identifying and quantifying planetary boundaries that must not be transgressed could help prevent human activities from causing unacceptable environmental change, argue **Johan Rockström** and colleagues.

Nature - Vol 461 | 24 Setembro 2009

## Limites planetários

Recursos naturais não renováveis



15  
**P**  
Phosphorus  
30.974

Não há substituto para P

7  
**N**  
Nitrogen  
14.007

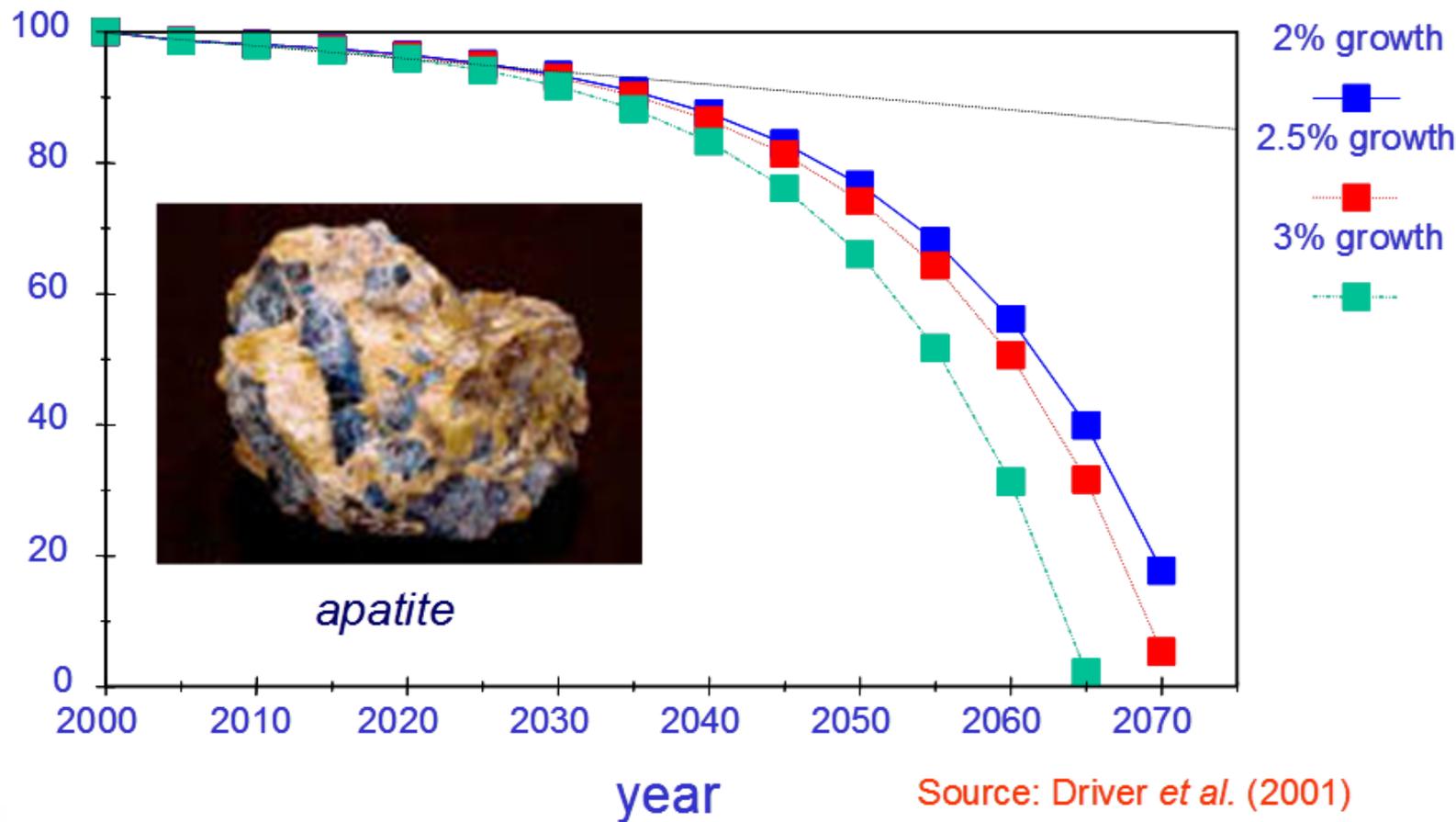
Desequilíbrio ciclo N

Crescimento populacional   
Aumento da demanda por fertilizantes



Limites planetários

'Available' phosphorus reserves (%)





ETEs Convencionais



ETEs Sustentáveis

**FOCO:** padrão de lançamento

**FOCO:** economia circular

Esgoto



ETE



Corpo receptor



LÍQUIDO



Recurso hídrico

Aterro sanitário



SÓLIDO



Fertilizante / combustível

Queima



GÁS

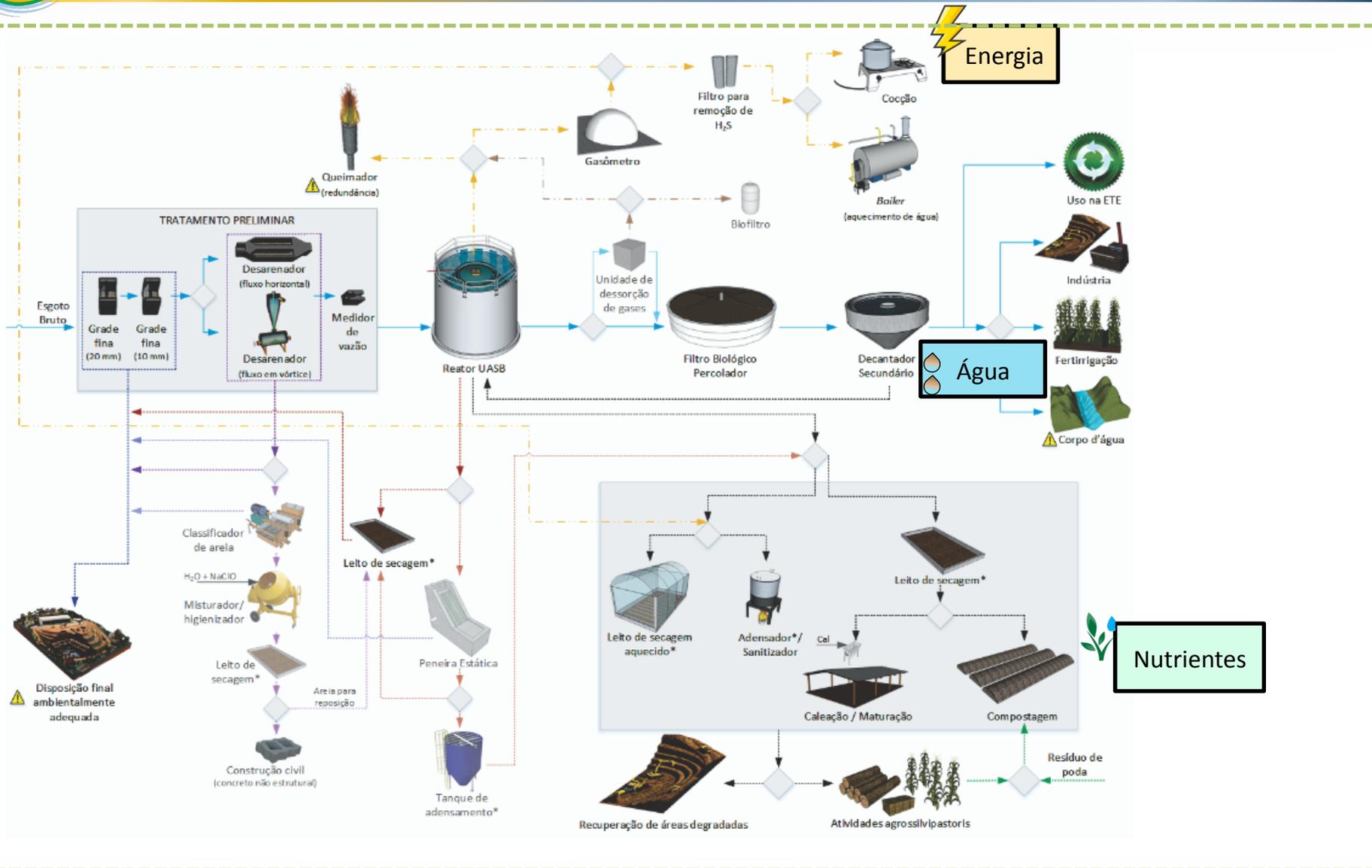


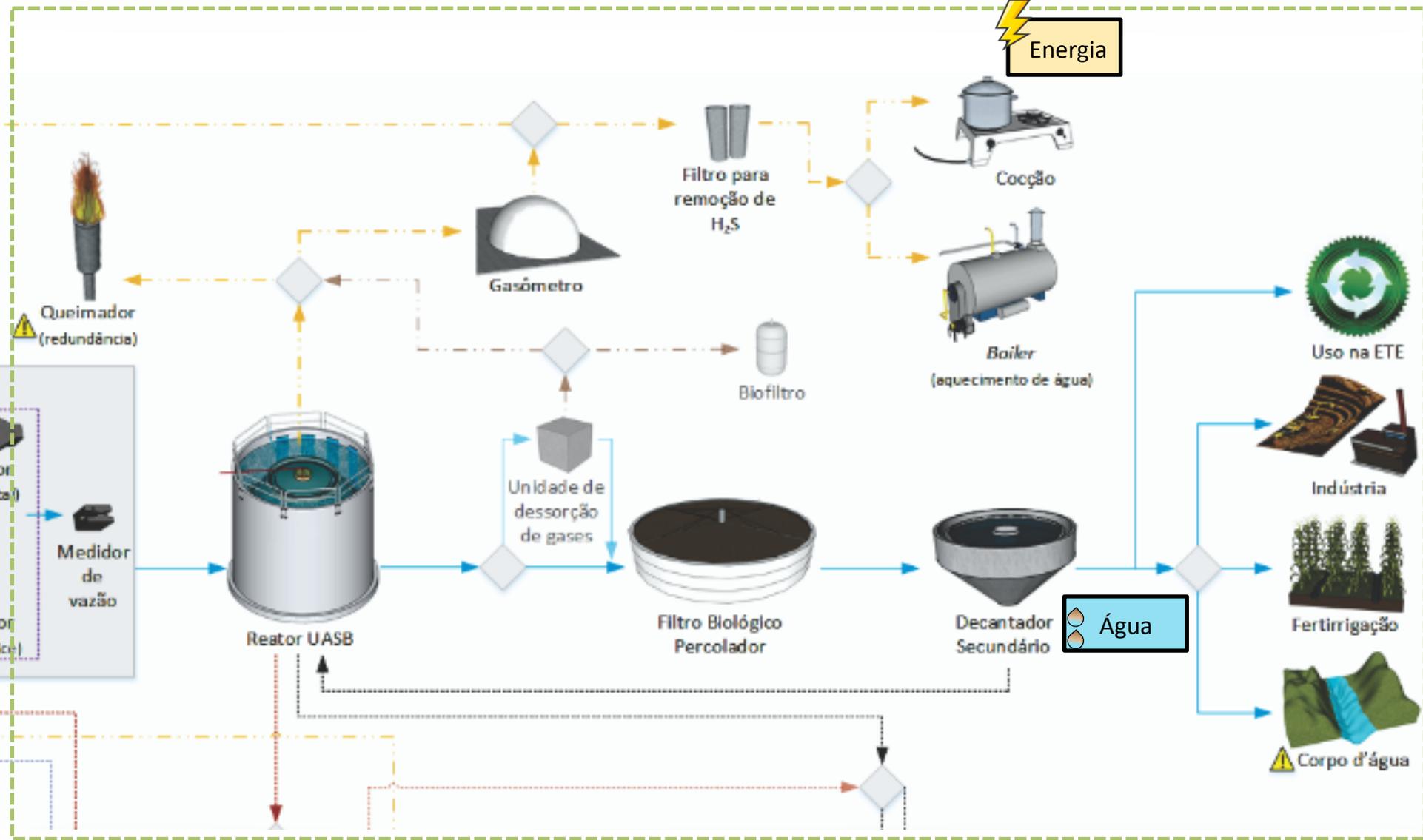
Energia (térmica/elétrica)

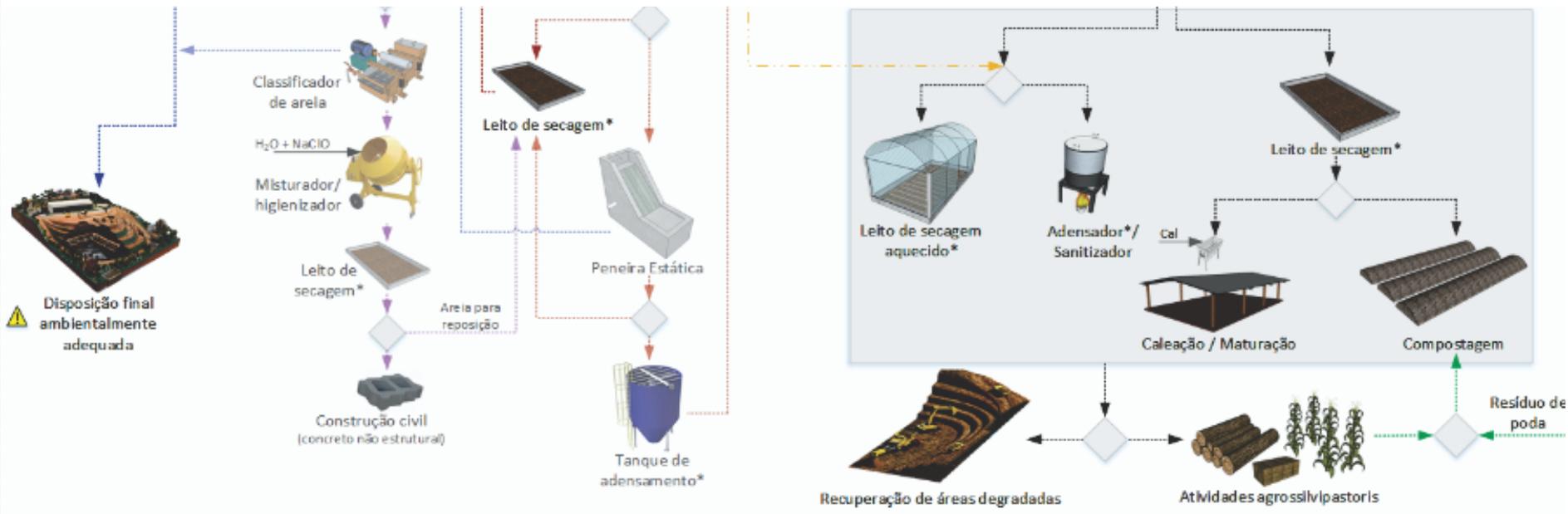


O aproveitamento de subprodutos pode ser um elemento motivador para o incremento da infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto.









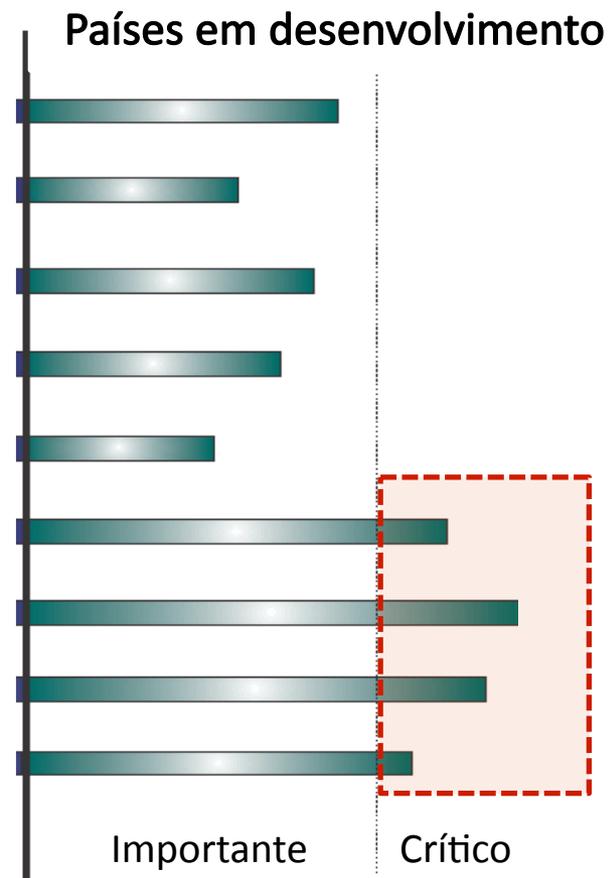
Nutrientes



- Enorme déficit em saneamento
- Corte de financiamentos
- Carência de mão de obra qualificada
- Necessidade de sistemas simples e de baixo custo



*Os sistemas combinados anaeróbios + aeróbios adequam-se à estes requisitos e podem desempenhar um papel central no desenvolvimento de ETEs sustentáveis*



Fonte: adaptado de von Sperling, 2016



*Potencial*



*Desafios*

💰 Reúso de água: ~ 26 milhões  $m^3 \cdot \text{dia}^{-1}$

💰 Energia: ~ 3 GWh. $\text{dia}^{-1}$

💰 Nitrogênio: ~ 500.000 tN.  $\text{ano}^{-1}$

💰 Fósforo: ~ 1600 tP. $\text{ano}^{-1}$

💰 Enxofre: ~ 28 tS. $\text{ano}^{-1}$

⚠️ Especificidades locais para tomada de decisão

⚠️ Regulamentação

⚠️ Incentivos/subsídios

⚠️ Outros



**inct**

ETEs Sustentáveis

REGULAMENTAÇÃO

*Guidelines of Sewerage Systems  
Use of Reclaimed Water, 2000*



*Water Recycling Criteria, 2014*



*Guidelines for Water Reuse, 2004*

**NBR 13969:1997**



*Usos previstos para o esgoto tratado*



**World Health  
Organization**

*Guidelines for the Safe Use of  
Wastewater, 2006*



*Reúso da água: uso agrícola, usos  
urbanos e piscicultura, 2008*



**inct**

**ETEs Sustentáveis**

**REGULAMENTAÇÃO**

INTERÁGUAS  
Programa de Desenvolvimento do  
SETOR ÁGUA

PRODUTO IV - POTENCIALIDADES DO REÚSO  
SEMINÁRIO REGIONAL - SUL

## Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil

Ministério das Cidades e  
Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - IICA

Acordo de Empréstimo Nº 8074-BR - Banco Mundial

11 e 12 de Abril de 2017



**ch2m:**

# Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil



**NBR 13969:1997**

*Usos previstos para o esgoto tratado*

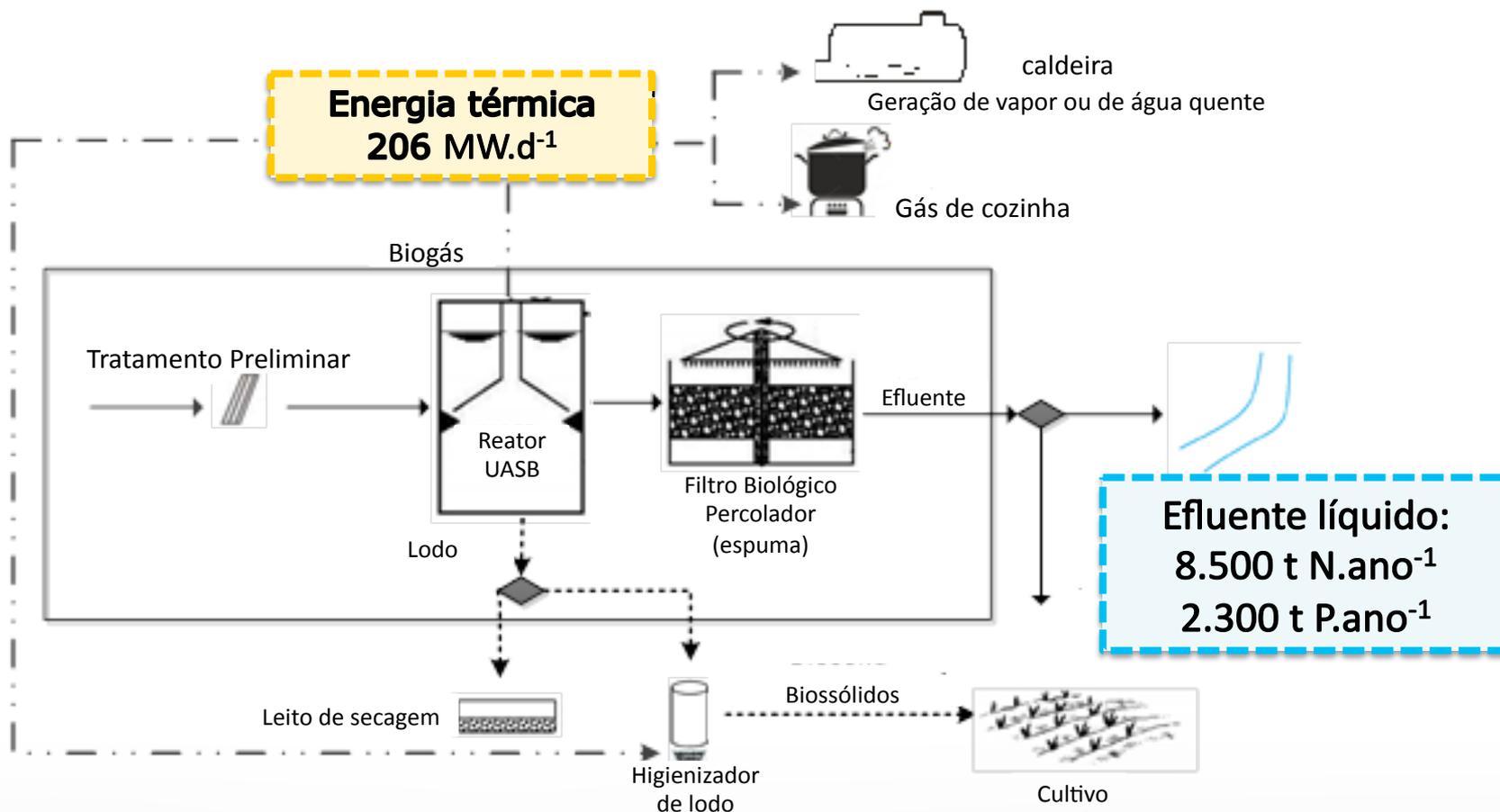


*Reúso da água: uso agrícola, usos  
urbanos e piscicultura, 2008*



- Viabilidade técnica e econômica

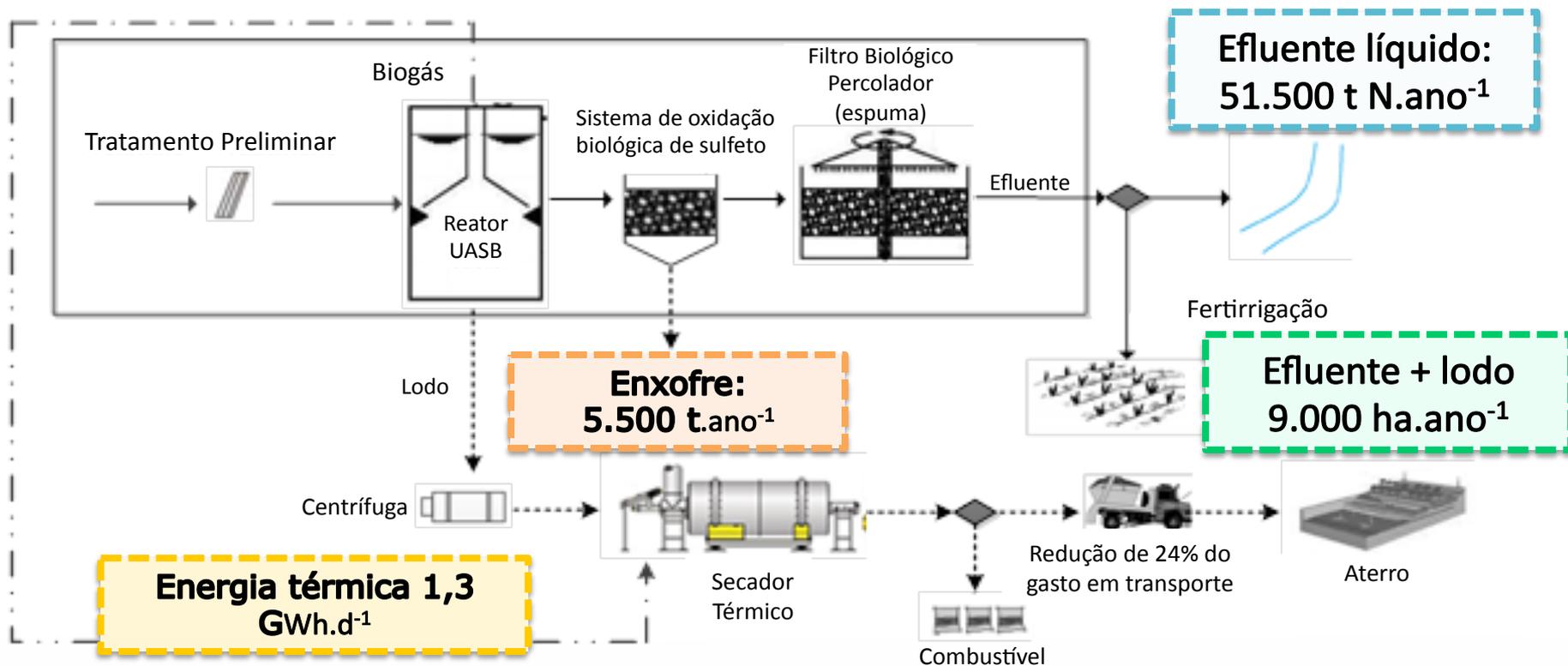
- *Cenário 1: Uso direto do biogás para aquecimento de água ou gás de cozinha*  
*EP < 10.000 hab (6,3 milhões de habitantes, 2.445 cidades)*





- Viabilidade técnica e econômica

- *Cenário 2: Uso de biogás para geração de calor (tratamento de lodo)*  
*EP: 10.000 – 100.000 hab (37,8 milhões de habitantes, 3.124 cidades)*

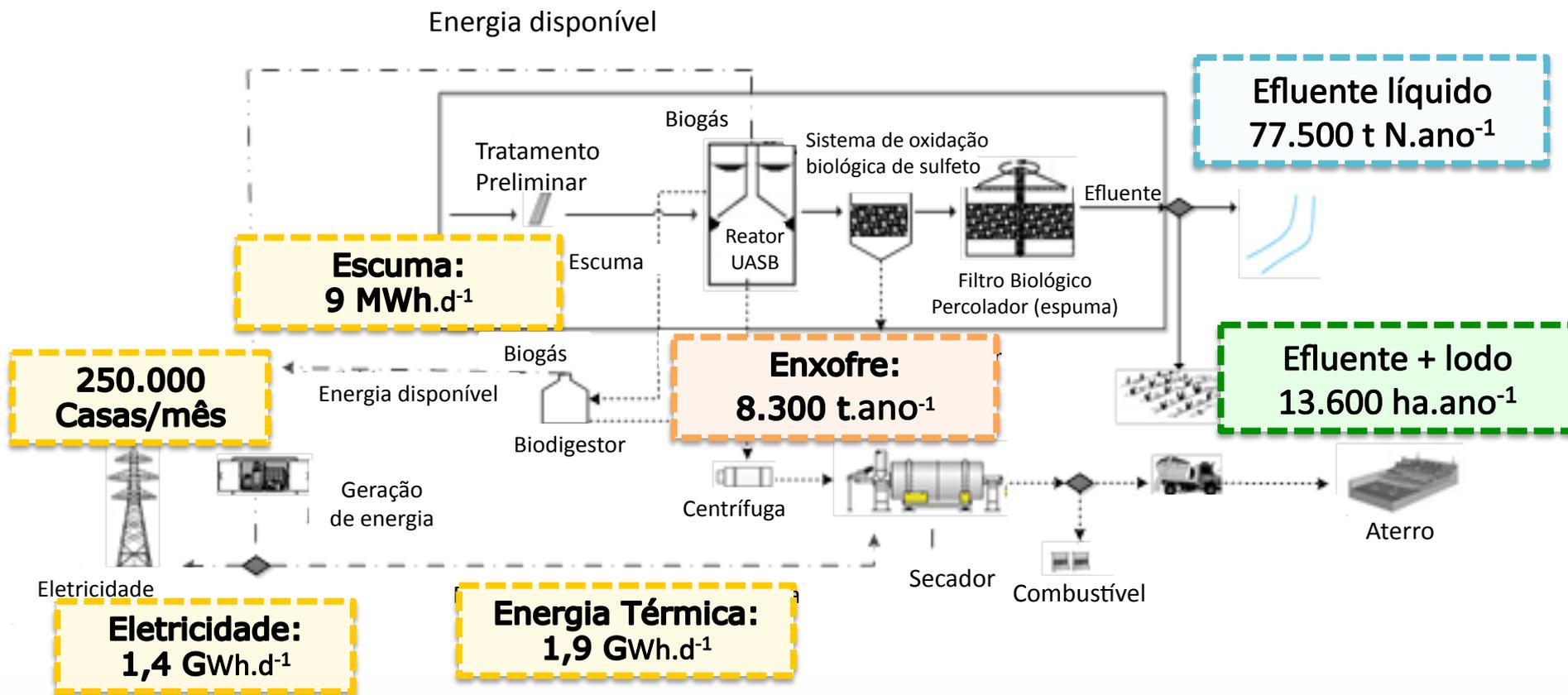




- Viabilidade técnica e econômica

- *Cenário 3: Uso de biogás para co-geração de calor e eletricidade*

*EP: > 100.000 hab. (56,9 milhões de habitantes, 309 cidades)*





## Remoção de nitrogênio amoniacal

Biofiltros aerados submersos  
(*nitrificação completa*)



Filtros Biológicos Percoladores  
(*nitrificação parcial*)



Activated sludge  
(*nitrificação completa*)



Lagoas de maturação  
(*vários mecanismos*)





## Remoção de nitrogênio

*Lodo ativado com remoção biológica de nutrientes*



*Lagoas de maturação*



Remoção de nitrogênio  alguns processos disponíveis no Brasil mas ainda com limitações

## Remoção de fósforo

*Lodo ativado com remoção biológica de nutrientes*



*Precipitação de fósforo com produtos químicos*



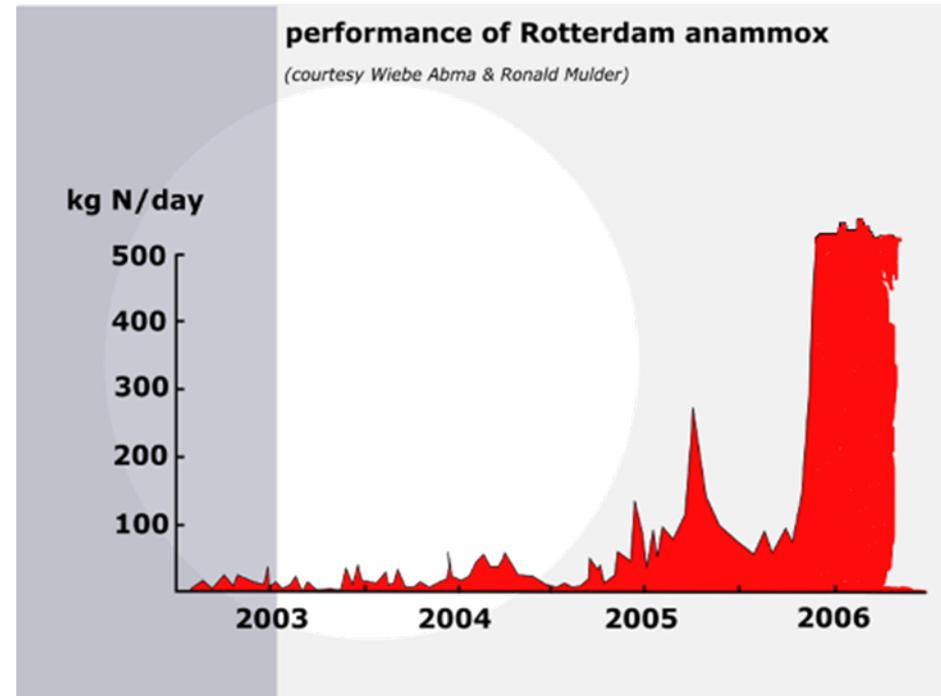
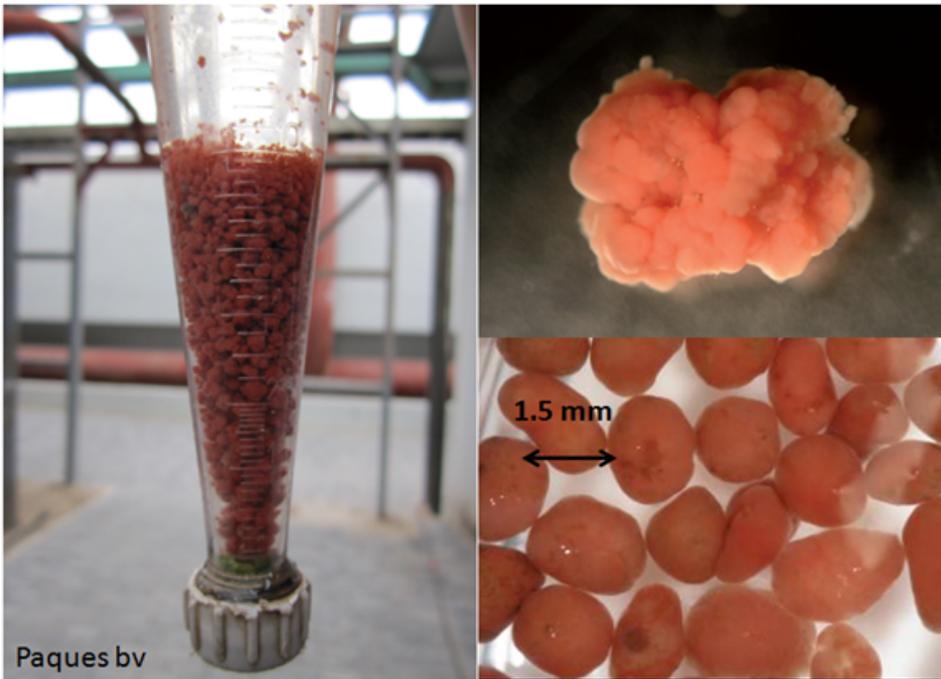
Remoção de fósforo  alguns processos disponíveis no Brasil mas ainda com limitações

Quais os aspectos de sustentabilidade que foram recentemente consolidados, e estão prontos para utilização nos próximos 10 anos?

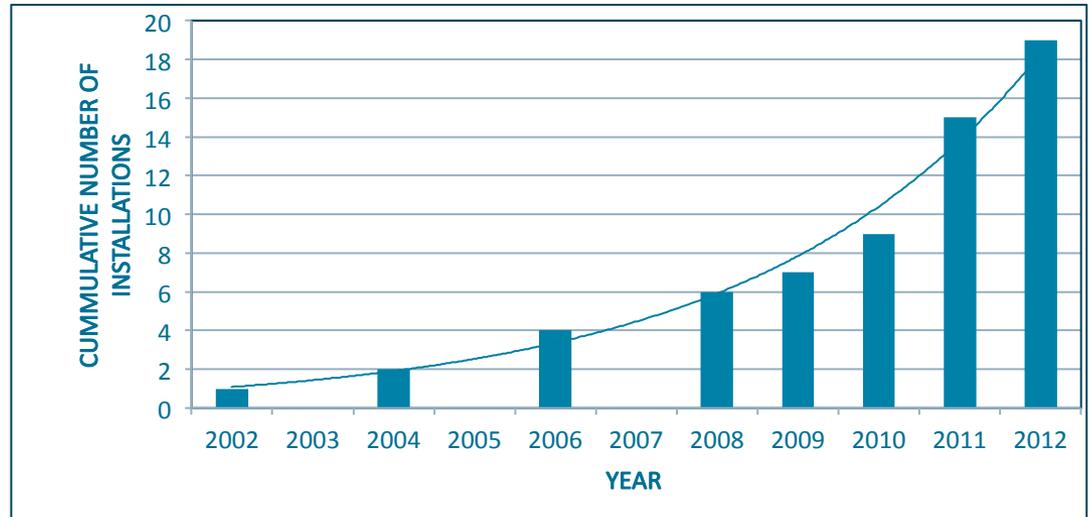
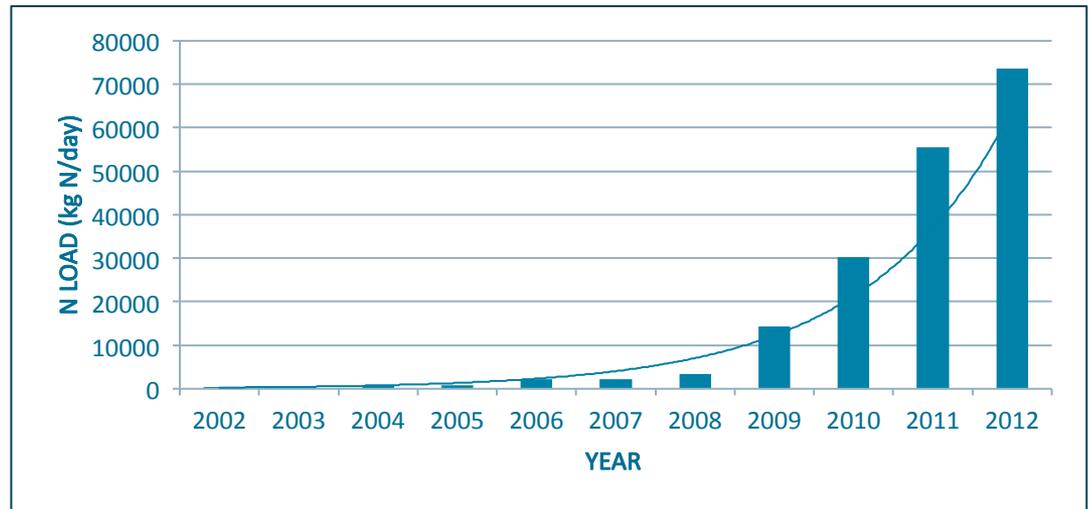


- UASB:
  - Evolução dos sistemas (EGSB, IC) e dos dispositivos de distribuição afluyente e separadores trifásicos (uso recente de CFD)
  - Aplicação em efluentes ricos em gordura
  - Aplicação dentro do ciclo do enxofre (gases e precipitação seletiva de metais)
  - Projeto de dispositivos removedores de espuma
  - Evolução dos sistemas de reaproveitamento em diferentes níveis de escala

- ANAMMOX:



- ANAMMOX:



- RECUPERAÇÃO DE P COMO ESTRUVITA:



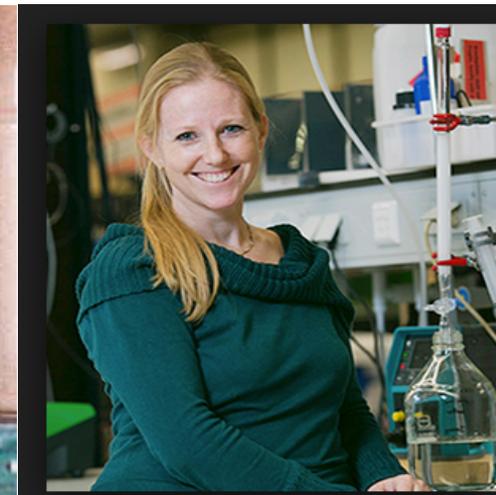
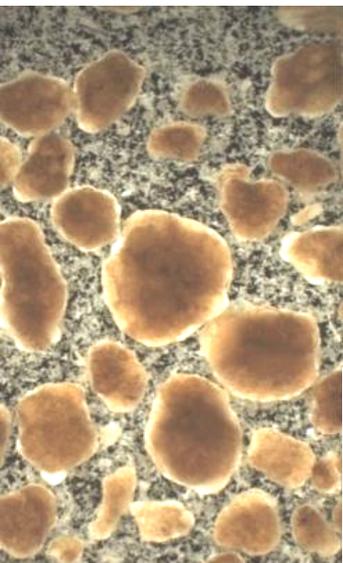
Estruvita  
 $\text{Mg NH}_4\text{PO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Van Lier (2017)



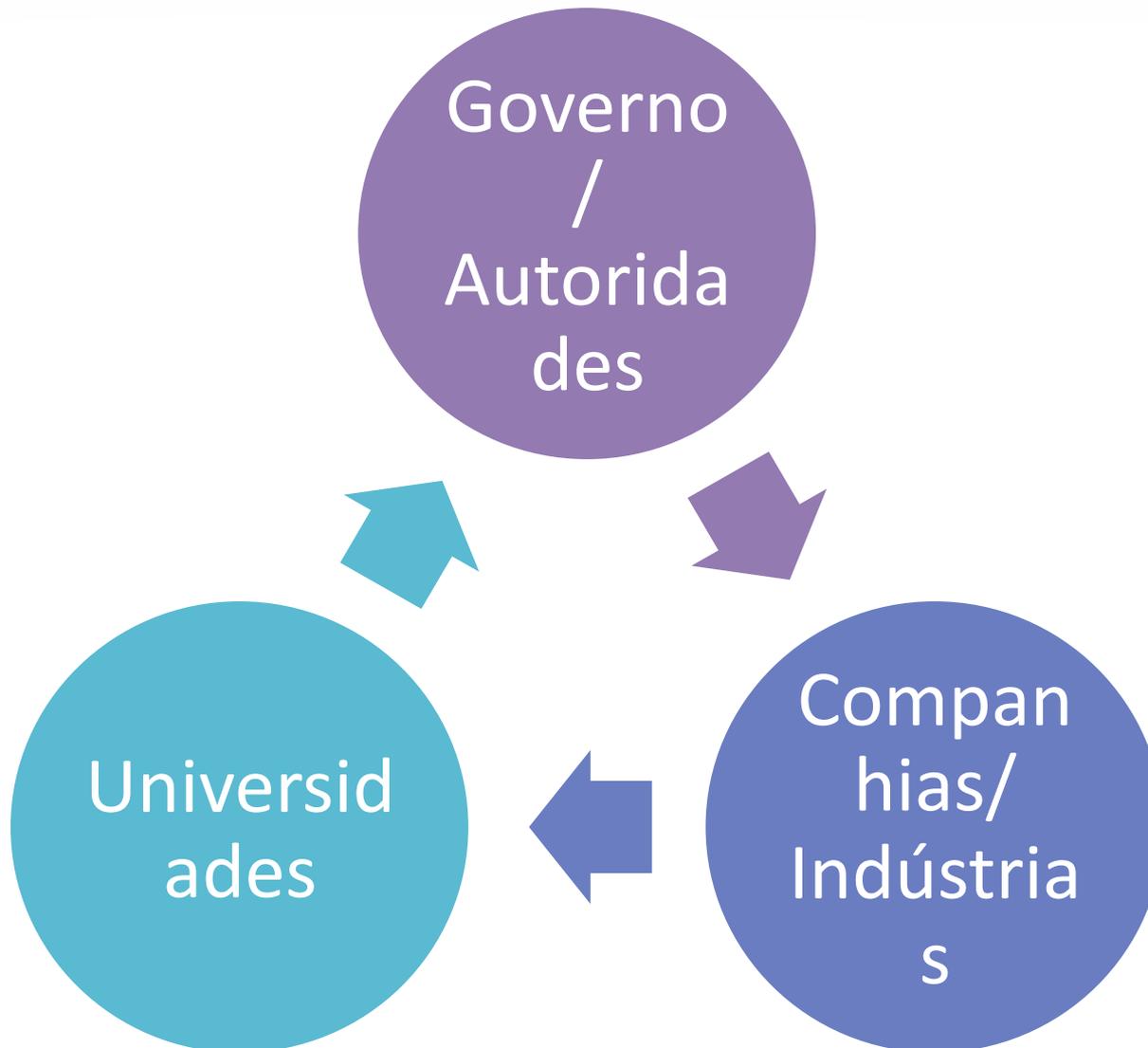
- REATORES AERÓBIOS DE GRÂNULOS:
  - 35% redução no consumo de energia!
  - 75% redução da demanda de área!
  - Diminuição dos custos de investimento, O&M
  - Elevadas remoções de MO, N, P

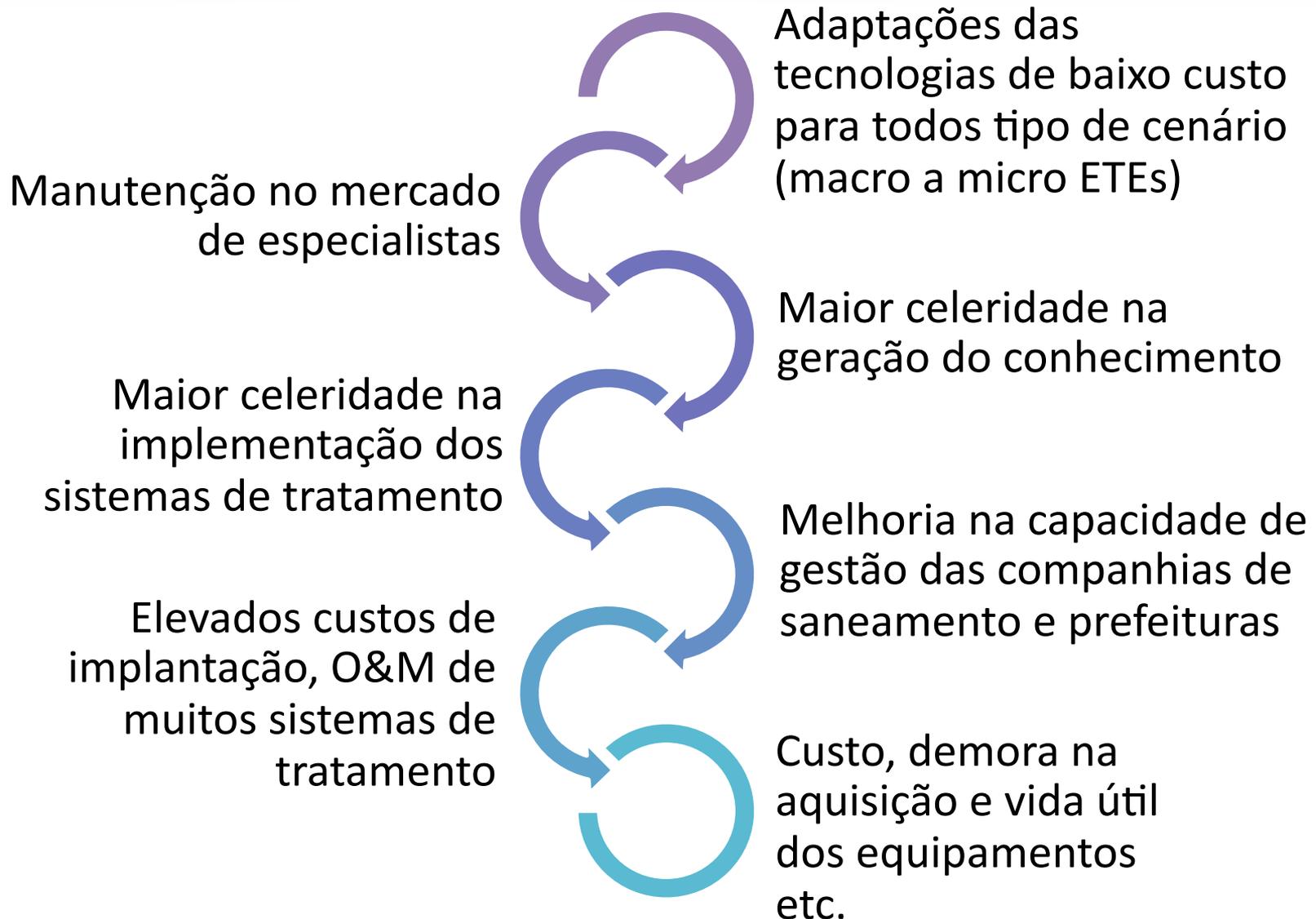
Van Loosdrecht / De Kreuk





Quais as atuais limitações que se constituam em entraves para a adoção dos fatores de sustentabilidade nos próximos 10 anos, e que devem ser solucionadas?

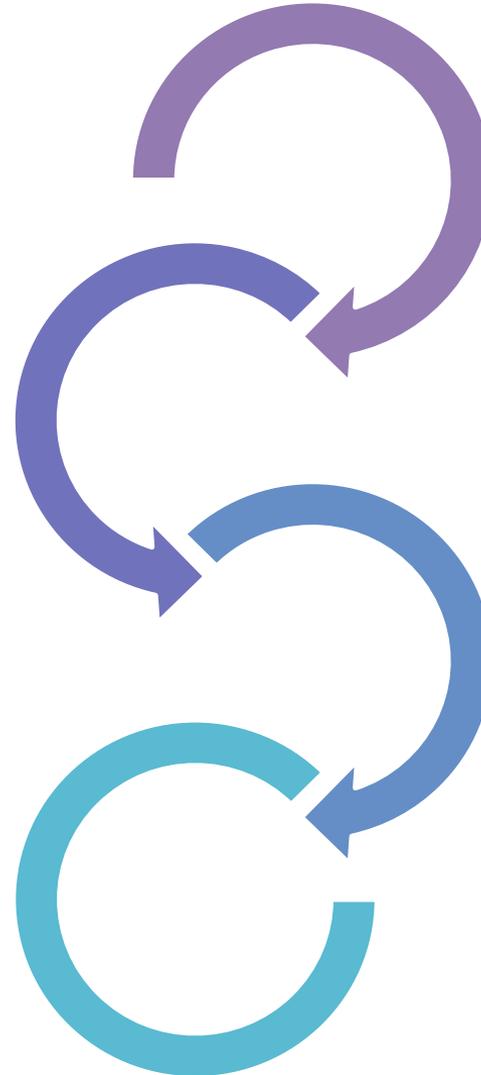






“Receitas de bolo”  
utilizadas pelos projetistas  
independente do caso  
específico

Baixas tarifas  
praticadas e  
intervenção do estado  
na atualização dos  
valores



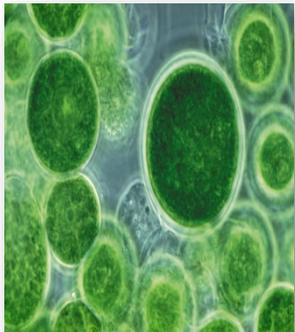
Não utilização de  
ferramentas de  
sustentabilidade na tomada  
de decisão

Melhor capacitação dos  
operadores



Quais as soluções de sustentabilidade do futuro?

<https://www.hometeka.com.br/>

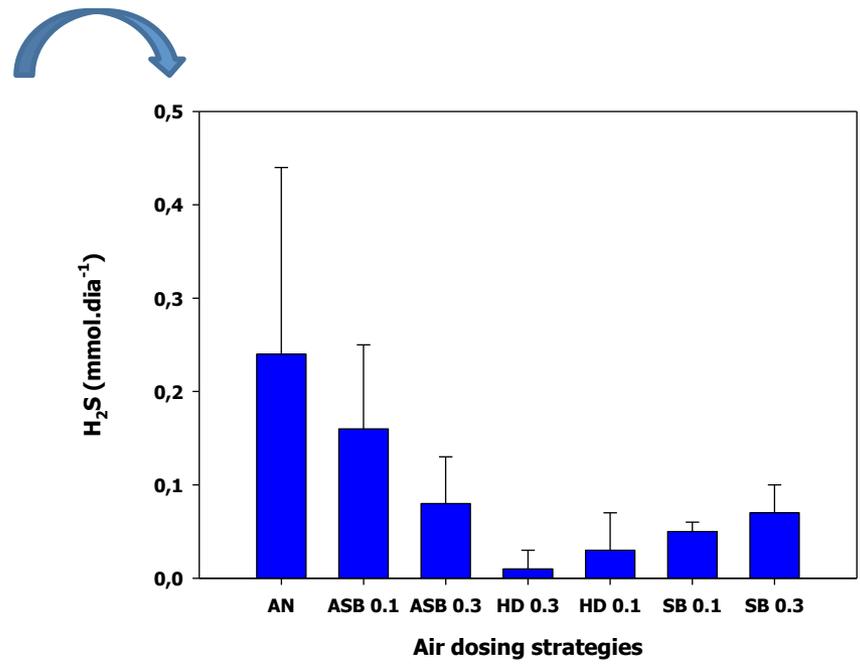
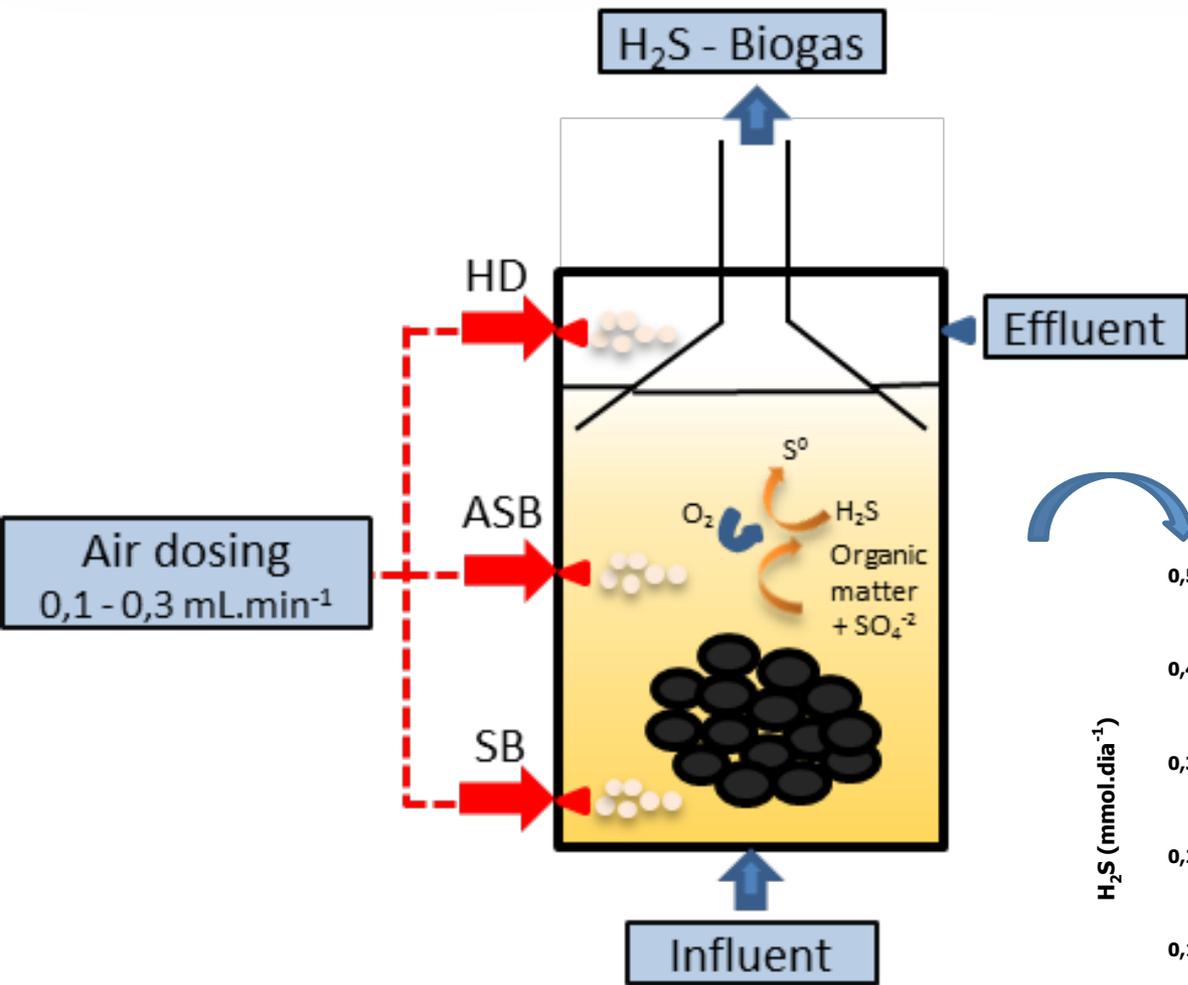




- Maximização da produção algal
- Produção de algas com elevado conteúdo lipídico
- Produção de algas com elevada capacidade de sedimentação
- Desenvolvimento de sistemas de baixo custo de separação algal
- Avaliação da melhor forma de reutilização da biomassa algal



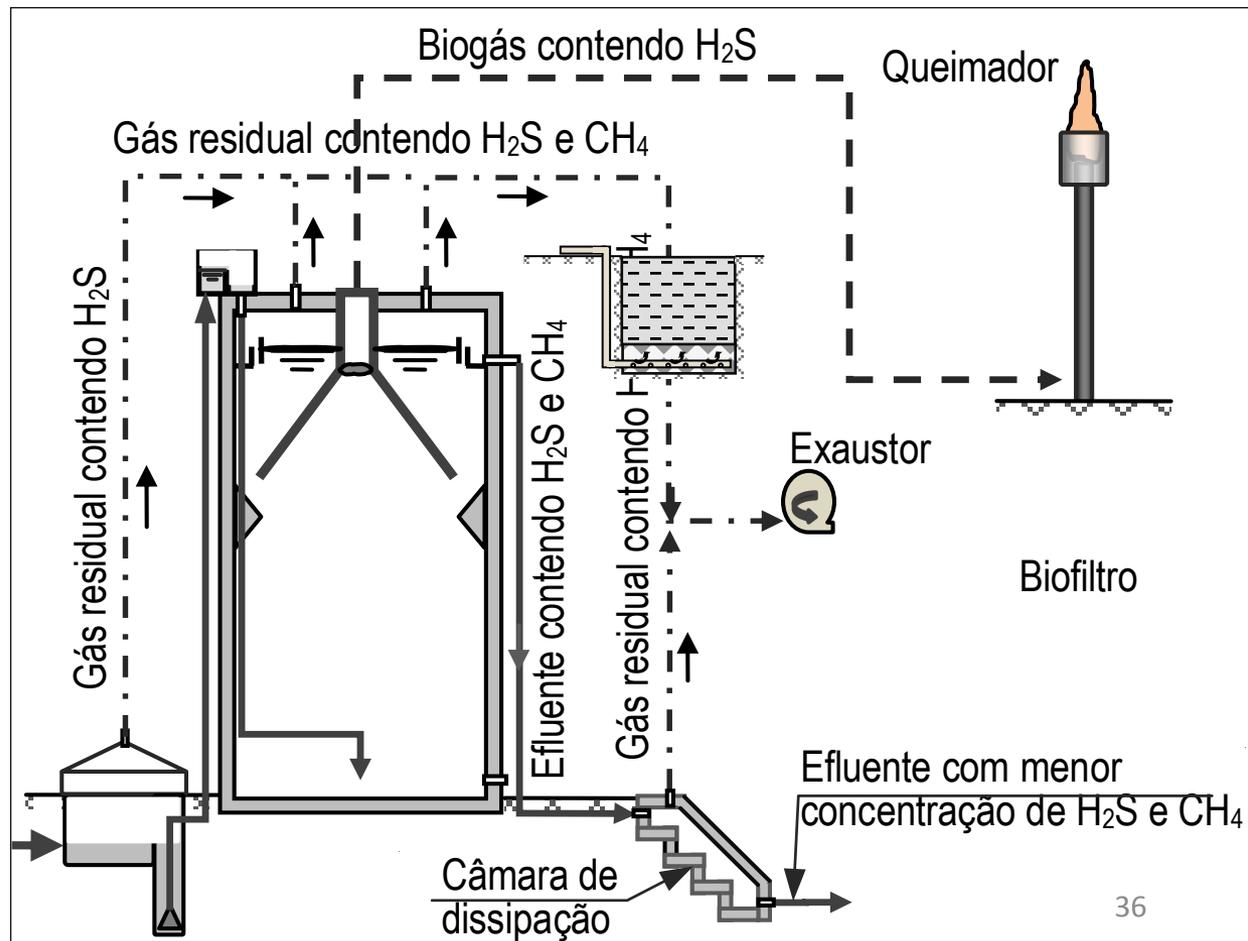
- Produção de produtos com maior valor agregado do que o biogás
  - Produção de ácidos orgânicos de cadeia longa como **1,3-propanodiol, ácido caproico, ácido oleico, ácido succínico etc.**  uso na indústria química e petroquímica
  - Alongamento de ácidos
  - Produção de bioplásticos
- Grande desafio na produção e retirada dos produtos da fração líquida





- Remoção de metano e sulfeto dissolvidos

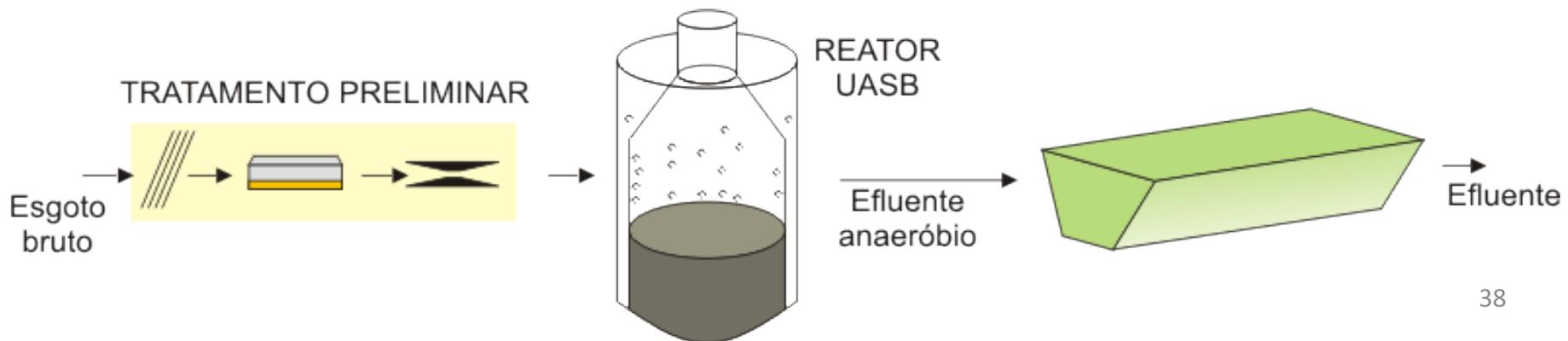
Alternativa para o gerenciamento combinado de emissões de  $H_2S$  e  $CH_4$  (perda de 30 a 40%)

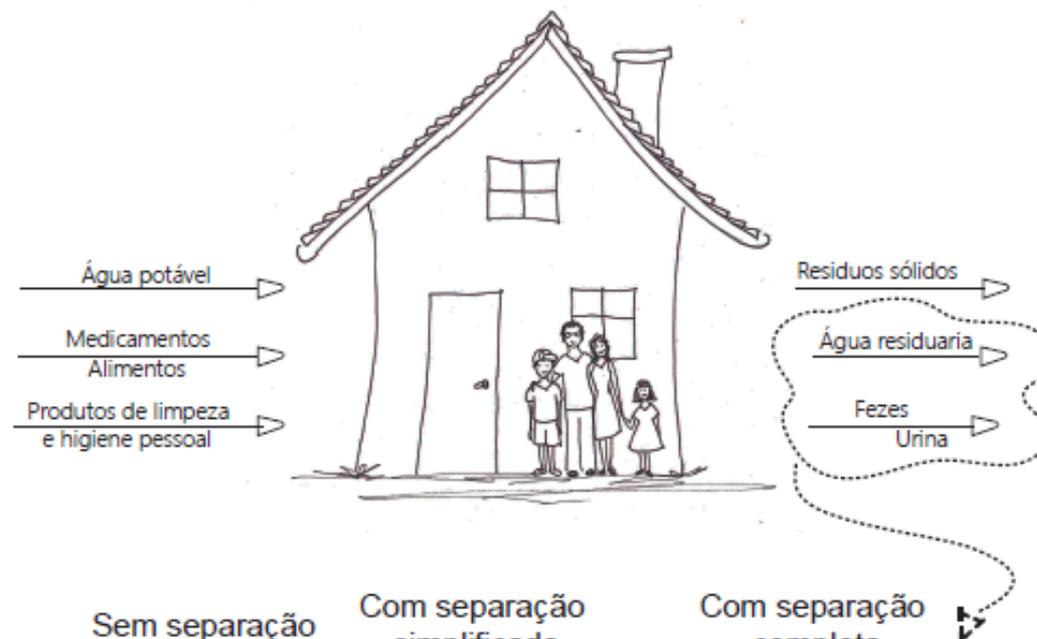


- Incorporação de **coluna de absorção** em sistemas UASB-FBP
  - Baixíssimos TDH
  - Maior flexibilidade operacional
  - Maior custo do que o FBP tradicional mas menor do que os sistemas aerados



- Vantagens:
  - Uso dos melhores benefícios de ambas as tecnologias
  - Tecnologias de baixos custos de implantação, O&M
  - Além das possibilidades de recuperação de recursos, ainda garante-se a qualidade microbiológica do efluente
- Desvantagens:
  - Limitação de área em alguns casos
  - Perda de água por evaporação





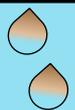
	Sem separação	Com separação simplificada	Com separação completa	
	Esgoto convencional	Água negra Água cinza (Escura)	Água marron (fezes + água) Água amarela (Urina + água) Água cinza clara Água cinza da cozinha	Com água
	Fezes + Urina	Sanitário seco	Sanitário seco com separação de urina	sem água
	Nível I	Nível II	Nível III	



Recuperação de nutrientes  ainda não é uma realidade em escala plena



Energia

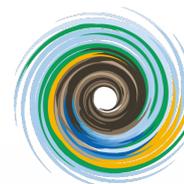


Água



Nutrientes

Nova concepção  Aproveitamento dos subprodutos desde o projeto das ETEs



ETE Sustentável



**inct**

ETEs Sustentáveis

Obrigado pela atenção!!!

André Bezerra dos Santos

andre23@ufc.br

*Agradecimentos*

