

Produção
+Limpa

VII Seminário sobre
Tecnologias Limpas

20 e 21 de novembro de 2017



Inovação, Design, Reúso e Reciclagem

SALÃO DE ATOS
UFRGS

LODO DE ETEs: Produção, Minimização, Condicionamento e Tratamento

Miguel Mansur Aisse

Produção
+Limpa

VII Seminário sobre
Tecnologias Limpas

20 e 21 de novembro de 2017



Inovação, Design, Reúso e Reciclagem

SALÃO DE ATOS
UFRGS

Lodo de ETEs: Produção, Minimização, Condicionamento e Tratamento”:

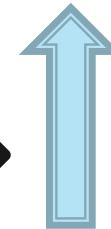
- 1) Lodo de ETEs;
- 2) **Minimização:** a partir da escolha da tecnologia de tratamento e pesquisas para a minimização (principalmente do lodo aeróbio);
- 3) **Condicionamento e Tratamento:** problemática do lodo do Tanque Séptico e seu recebimento nas ETEs;
- 4) **Tratamento e Desaguamento:** inclusive a Secagem Térmica (uso do Biogás, estabelecendo “ponte” com outras Palestras);
- 5) **Higienização do Lodo:** a EAP, o Armazenamento Prolongado (preparando a palestra da Simone).

1. Lodo de Esgoto

Lodos de esgoto são subprodutos sólidos, orgânicos e inorgânicos, proveniente do tratamento de esgotos.



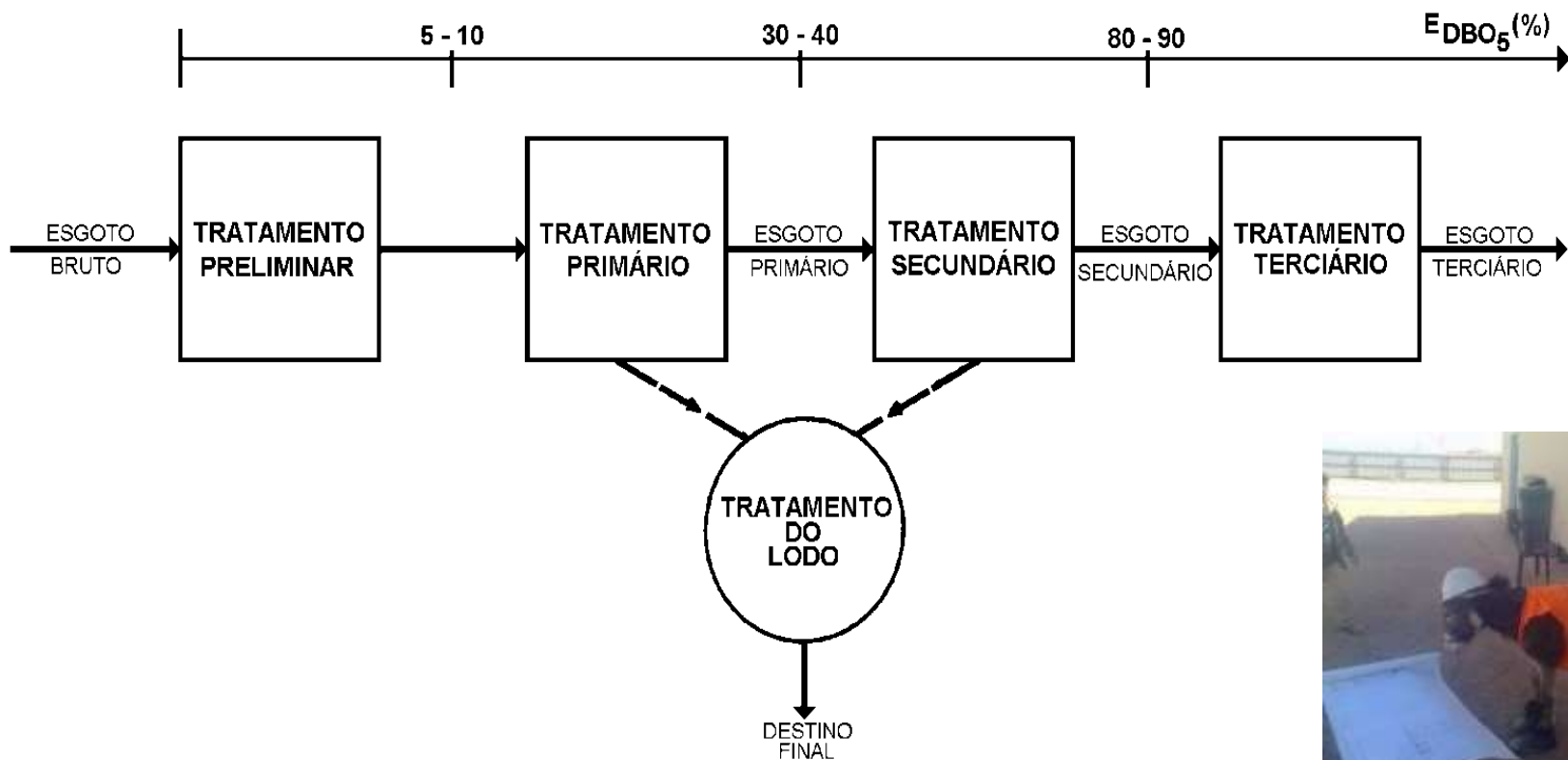
Cobertura de esgotos serviços de tratamento de



Produção de lodo

Para definir a alternativa de tratamento e disposição final é necessário levar em conta as características do lodo gerado, sendo que a quantidade e a qualidade do lodo dependem da composição e da vazão do esgoto, bem como do sistema de tratamento utilizado.

Contradição (?) com o Título: a Produção de Lodo precisa crescer nos próximos anos.



OBS: Não foi considerada produção de lodo do tratamento terciário
 Figura 1 – Fluxograma típico de uma ETE completa.

Historicamente, os projetos de ETEs foram elaborados e executados sem que houvesse preocupação com a destinação adequada do lodo gerado.

Tabela - Intervalos típicos de remoção do lodo das unidades da fase líquida

Sistema	Intervalo de remoção do lodo da fase líquida		
	Lodo primário	Lodo secundário	Lodo químico
Tratamento primário (convencional)	Horas		
Tratamento primário (tanques sépticos)	Meses		
Tratamento primário com coagulação			Horas
Lagoas de estabilização (resumido)		Anos	
Lagoa facultativa + remoção físico-química de algas		Anos (a)	Horas
Terras úmidas construídas, escoamento superficial,....o		(b)	
Tanque séptico + filtro anaeróbio	Meses	Meses	
Tanque séptico + infiltração	Meses	(b)	
Reator UASB		Semanas	
UASB + lodos ativados		Semanas (c)	
UASB + biofiltro aerado submerso		Semanas (c)	
UASB + filtro anaeróbio		Semanas	
UASB + filtro biológico de alta carga		Semanas (c)	
UASB + flotação		Semanas	Horas
UASB + lagoas de polimento		Semanas (d)	
UASB + escoamento superficial		Semanas (b)	
Lodos ativados convencional	Horas	~ Contínuo	
Aeração prolongada		~ Contínuo	
Reator por batelada (aeração prolongada)		Horas	
Lodos ativados convencional c/ remoção biológica de N/P	Horas	~ Contínuo	
Lodos ativados c/ remoção biológica e química de N/P		~ Contínuo	Horas
Filtro biológico de baixa carga	Horas	Horas	
Filtro biológico de alta carga	Horas	Horas	
Biofiltro aerado submerso	Horas	Horas	
Biodisco	Horas	Horas	

Fonte: Von Sperling; Gonçalves (2014)

Tabela - Características e quantidade do lodo produzido (Fonte: Von Sperling; Gonçalves, 2014)

Sistema	Características do lodo produzido e descartado da fase líquida (dirigido à etapa de tratamento do lodo)			
	kgSS / kgDQO aplicada	Teor de sólidos secos (%)	Massa de lodo (gSS/hab.d) (a)	Volume de lodo (L/ hab.d) (b)
Tratamento primário (convencional)	0,35 - 0,45	2 - 6	35 - 45	0,6 - 2,2
Tratamento primário (tanques sépticos)	0,20 - 0,30	3 - 6	20 - 30	0,3 - 1,0
Lagoa facultativa	0,12 - 0,32	5 - 15	12 - 32	0,1 - 0,25
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa				
• Lagoa anaeróbia	0,20 - 0,45	15 - 20	20 - 45	0,1 - 0,3
• Lagoa facultativa	0,06 - 0,10	7 - 12	6 - 10	0,05 - 0,15
• Total	0,26 - 0,55	-	26 - 55	0,15 - 0,45
Lagoa aerada facultativa	0,08 - 0,13	6 - 10	8 - 13	0,08 - 0,22
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sediment.	0,11 - 0,13	5 - 8	11 - 13	0,15 - 0,25
Tanque séptico + filtro anaeróbio				
• Tanque séptico	0,20 - 0,30	3 - 6	20 - 30	0,3 - 1,0
• Filtro anaeróbio	0,07 - 0,09	0,5 - 4,0	7 - 9	0,2 - 1,8
• Total	0,27 - 0,39	1,4 - 5,4	27 - 39	0,5 - 2,8
Lodos ativados convencional				
• Lodo primário	0,35 - 0,45	2 - 6	35 - 45	0,6 - 2,2
• Lodo secundário	0,25 - 0,35	0,6 - 1	25 - 35	2,5 - 6,0
• Total	0,60 - 0,80	1 - 2	60 - 80	3,1 - 8,2
Lodos ativados – aeração prolongada	0,50 - 0,55	0,8 - 1,2	40 - 45	3,3 - 5,6
Filtro biológico de alta carga				
• Lodo primário	0,35 - 0,45	2 - 6	35 - 45	0,6 - 2,2
• Lodo secundário	0,20 - 0,30	1 - 2,5	20 - 30	0,8 - 3,0
• Total	0,55 - 0,75	1,5 - 4,0	55 - 75	1,4 - 5,2
Biofiltro aerado submerso				
• Lodo primário	0,35 - 0,45	2 - 6	35 - 45	0,6 - 2,2
• Lodo secundário	0,25 - 0,35	0,6 - 1	25 - 35	2,5 - 6,0
• Total	0,60 - 0,80	1 - 2	60 - 80	3,1 - 8,2
Reator UASB	0,12 - 0,18	3 - 6	12 - 18	0,2 - 0,6
UASB + pós-tratamento aeróbio (c)				
• Lodo anaeróbio (UASB)	0,12 - 0,18	3 - 4	12 - 18	0,3 - 0,6
• Lodo aeróbio (lodos ativados) (d)	0,08 - 0,14	3 - 4	8 - 14	0,2 - 0,5
• Total	0,20 - 0,32	3 - 4	20 - 32	0,5 - 1,1



Figura – Lodo anaeróbio de reator UASB, estabilizado, descarregado em Leito de Secagem

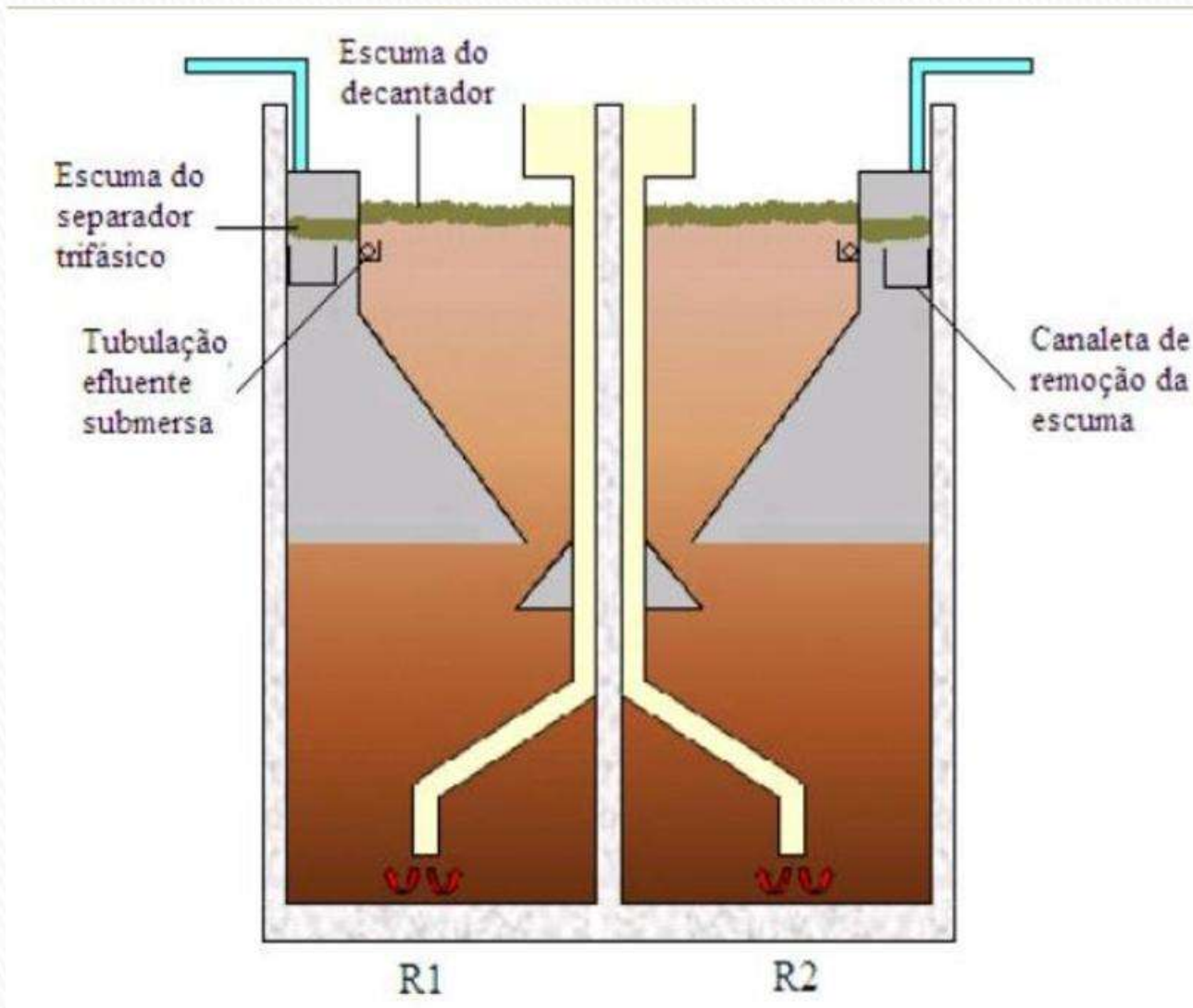
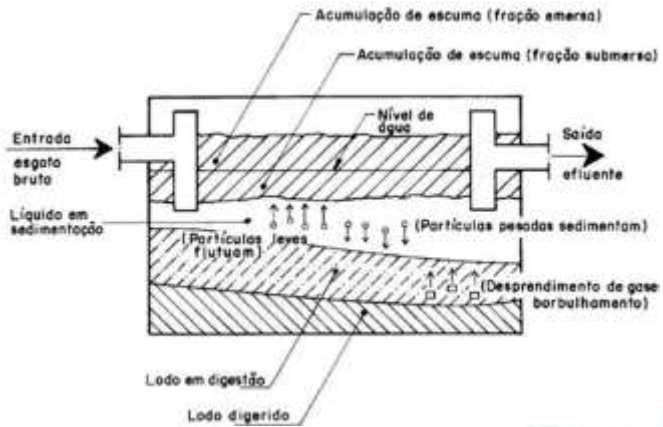


Figura : Corte esquemático de Reator UASB e visualização das escumas acumuladas.
Fonte: Ross (2015) citando Souza; Aquino; Chernicharo.

Limpa-Fossa - (Coleta e Transporte)



2. Minimização do Lodo de ETEs

REATOR UASB SEGUIDO POR REATOR AERÓBIO DE BIOMASSA SUSPensa (ex: LODOS ATIVADOS)

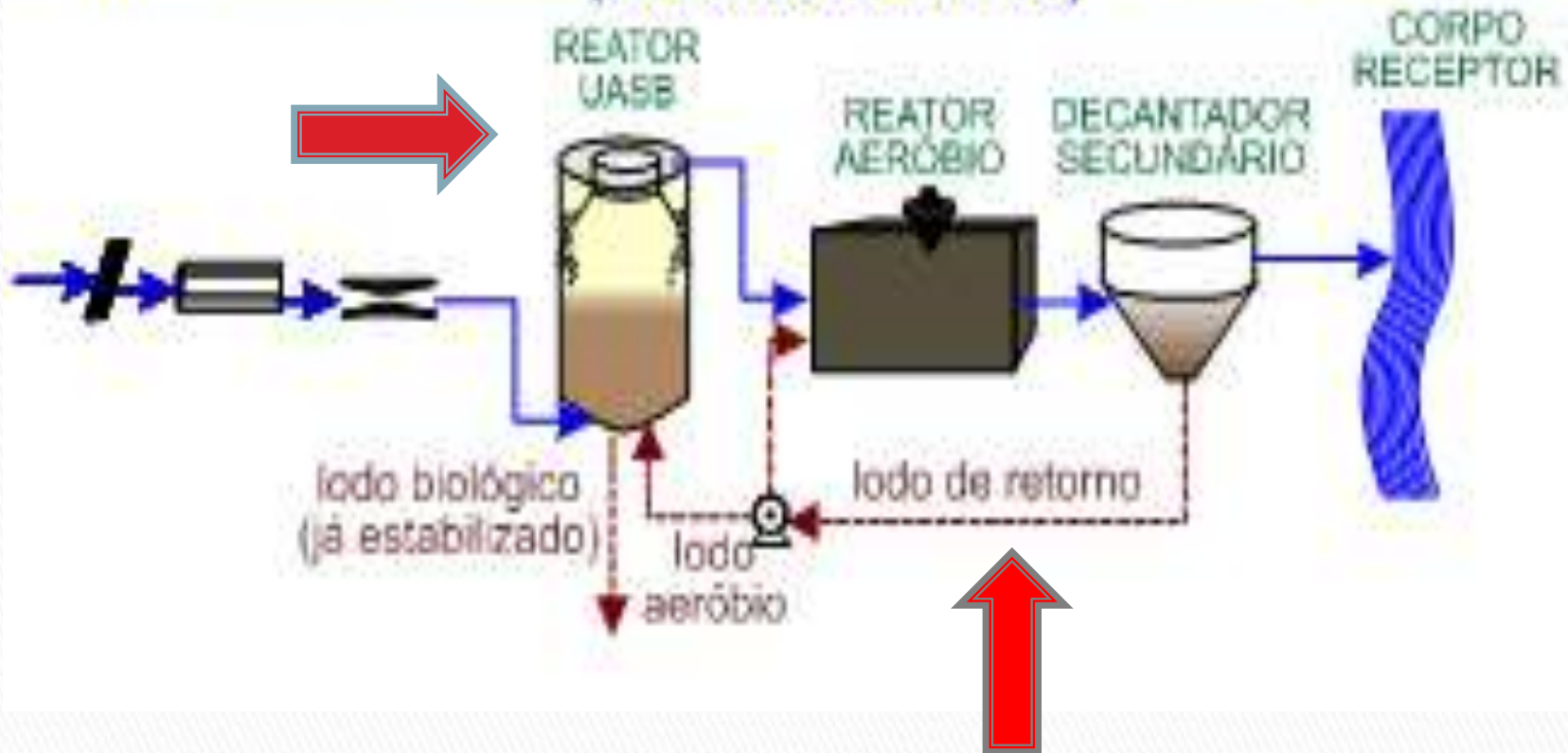


Figura - Fluxogramas de ETE empregando UASB + LA

Fonte: Von Sperling; Gonçalves (2014)



Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/CTC
Università degli studi di Trento
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica



Estudo da minimização da produção de lodo em sistemas de lodos ativados para esgotos sanitários

Viviane Furtado Velho

Orientadora: Rejane Helena Ribeiro da Costa
Coorientadores: Paola Foladori
Gianni Andreottola



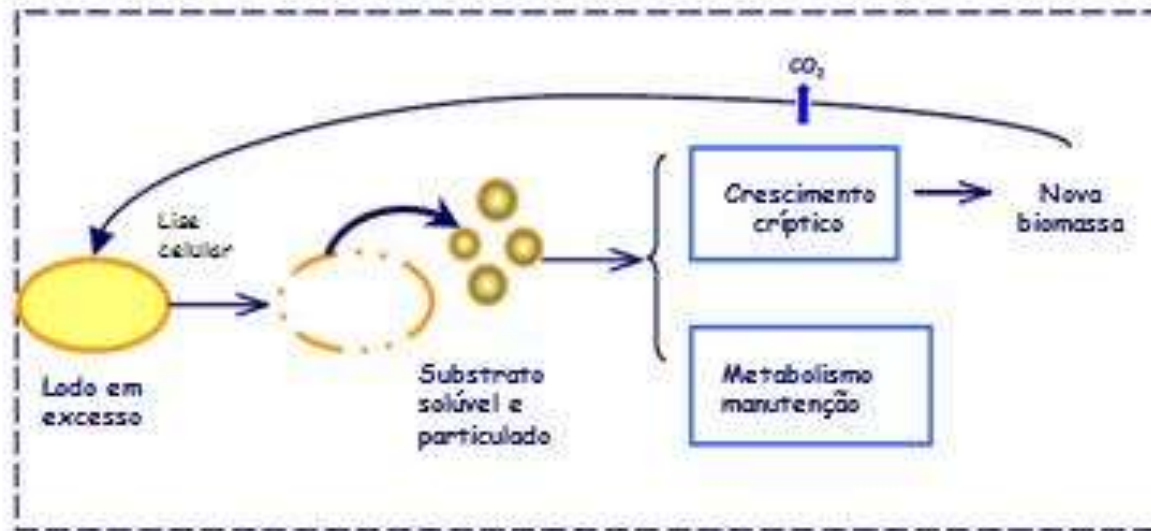
Florianópolis – maio de 2015



Redução da produção de lodo

➤ Tratamento Físico-Químico

❖ Lise celular/crescimento críptico.



❖ Forças externas (mecânicas, térmicas, químicas) são aplicadas ao lodo, o que resulta no rompimento das células bacterianas e/ou na desintegração dos flocos;

➔ Dessa forma substrato e nutrientes são liberados no meio, e serão utilizados no metabolismo de outros microrganismos;

Cloração
Desintegração ultrassônica

Redução da produção de lodo

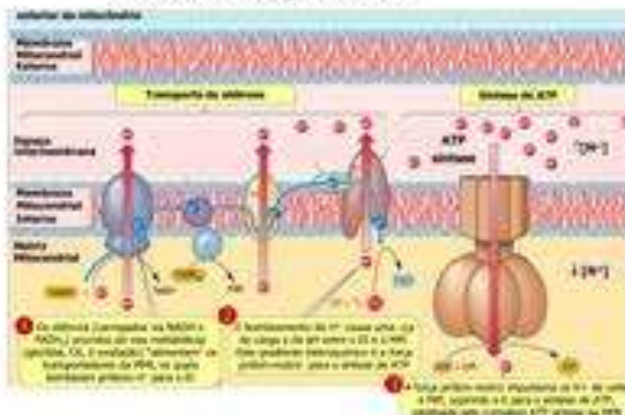
➤ Tratamento Físico-Químico

❖ Metabolismo desacoplado.

Metabolismo { catabolismo → produção de energia e formação de produtos;
anabolismo → síntese de novas células;

Processo aeróbio { 60% substrato → utilizado na síntese da biomassa;
40% substrato → utilizado para produção de energia;

Cadeia respiratória

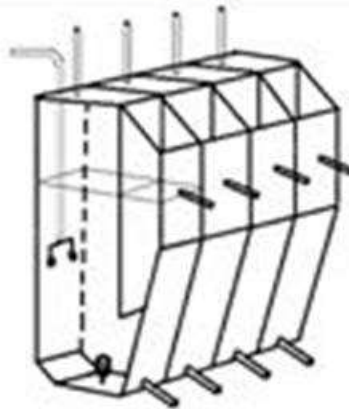
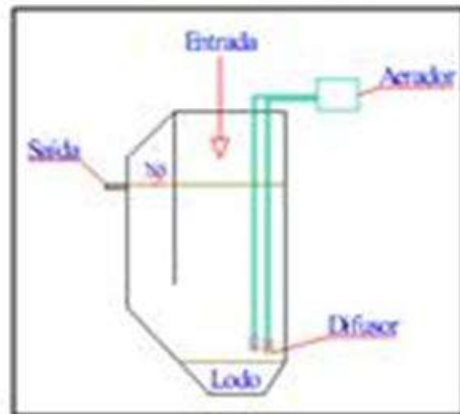


Reagentes desacopladores:

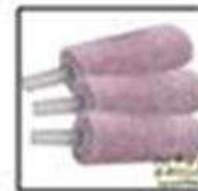
- ✓ Substâncias lipofílicas;
- ✓ Atravessam a membrana mitocondrial carregando os H⁺ para a matriz mitocondrial;
- ✓ Desfazendo o gradiente eletroquímico;
- ✓ Não ocorre a síntese de ATP;
- ✓ Aumenta o consumo de O₂;
- ✓ Energia é perdida na forma de calor.

Sistema Experimental

➤ Reatores biológicos – Escala de Bancada



- ❖ Cada reator funcionava como tanque de aeração e decantador ao mesmo tempo;
- ❖ A saída do efluente tratado era feita através de um vertedor;
- ❖ A aeração e a homogeneização eram realizadas através de difusores de ar.
- ❖ Operados em fluxo contínuo com vazão de 1L/h e tempo de detenção hidráulica de 10 horas.



Artigo – Sistema Experimental I

➤ Conclusões

- ❖ O monitoramento do sistema em bancada operando diferentes alternativas de minimização permitiu concluir que as diferentes técnicas testadas **podem efetivamente reduzir a produção de lodo**, mostrando eficiências da ordem de **25 a 75% de redução**.
- ❖ A **cloração** apresentou efeitos negativos que colocam esta técnica como uma **opção não ideal para redução de lodo**, uma vez que altera a qualidade do efluente e **piora a sedimentabilidade do lodo**, além disso, comparada às demais alternativas, o coeficiente de produção celular neste sistema não foi significativamente reduzido.
- ❖ As demais alternativas testadas apresentaram eficiências na **redução** da produção de lodo **superiores a 50%**, mantendo a eficiência do tratamento, ou até mesmo **melhorando o seu rendimento**, com aumento nas eficiências de remoção de substrato e nutrientes.

3. Condicionamento e Tratamento do lodo de ETEs

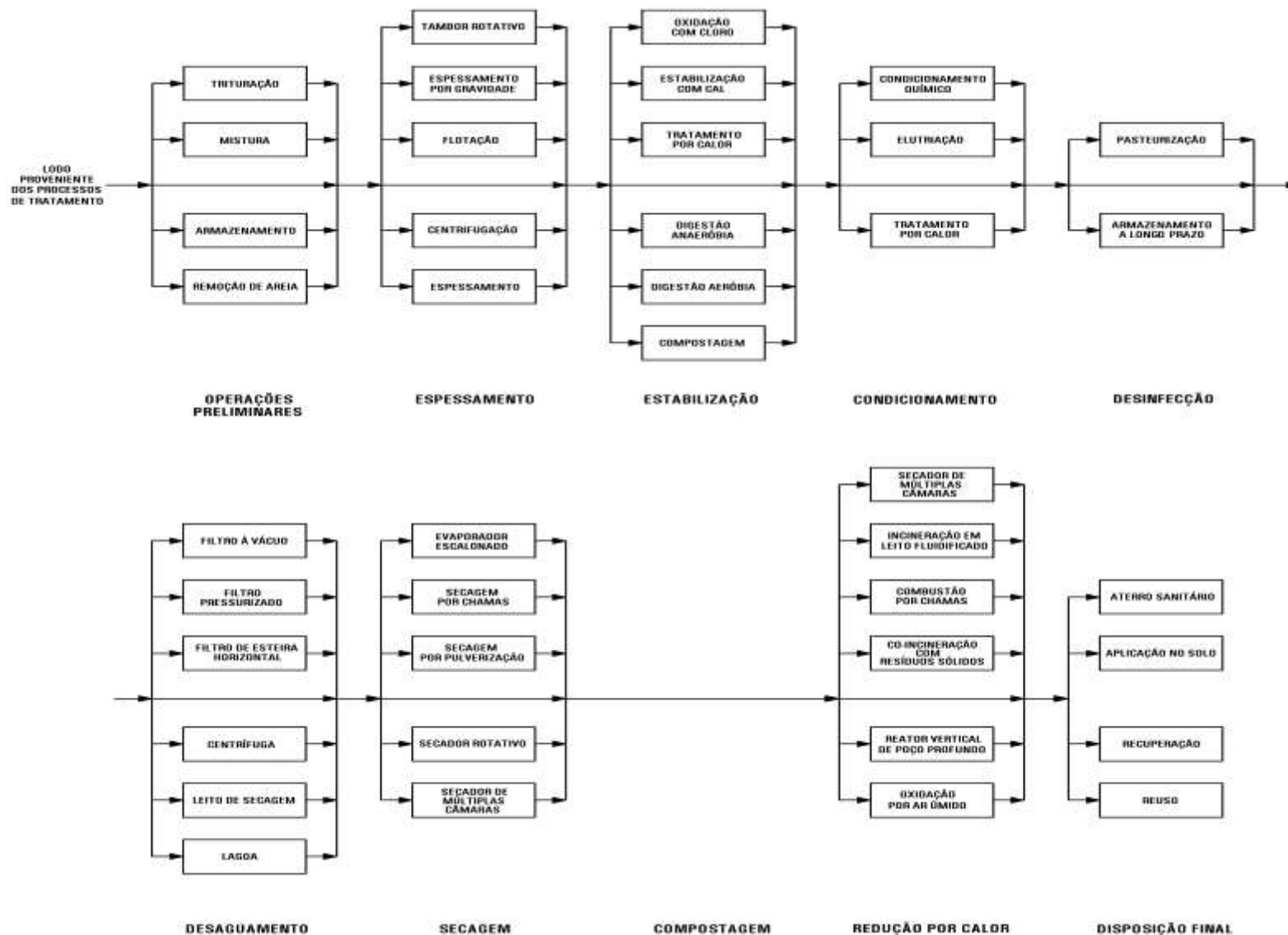


Figura – Fluxograma das etapas de gerenciamento de lodo
 Fonte: Metcalf & Eddy (1991)

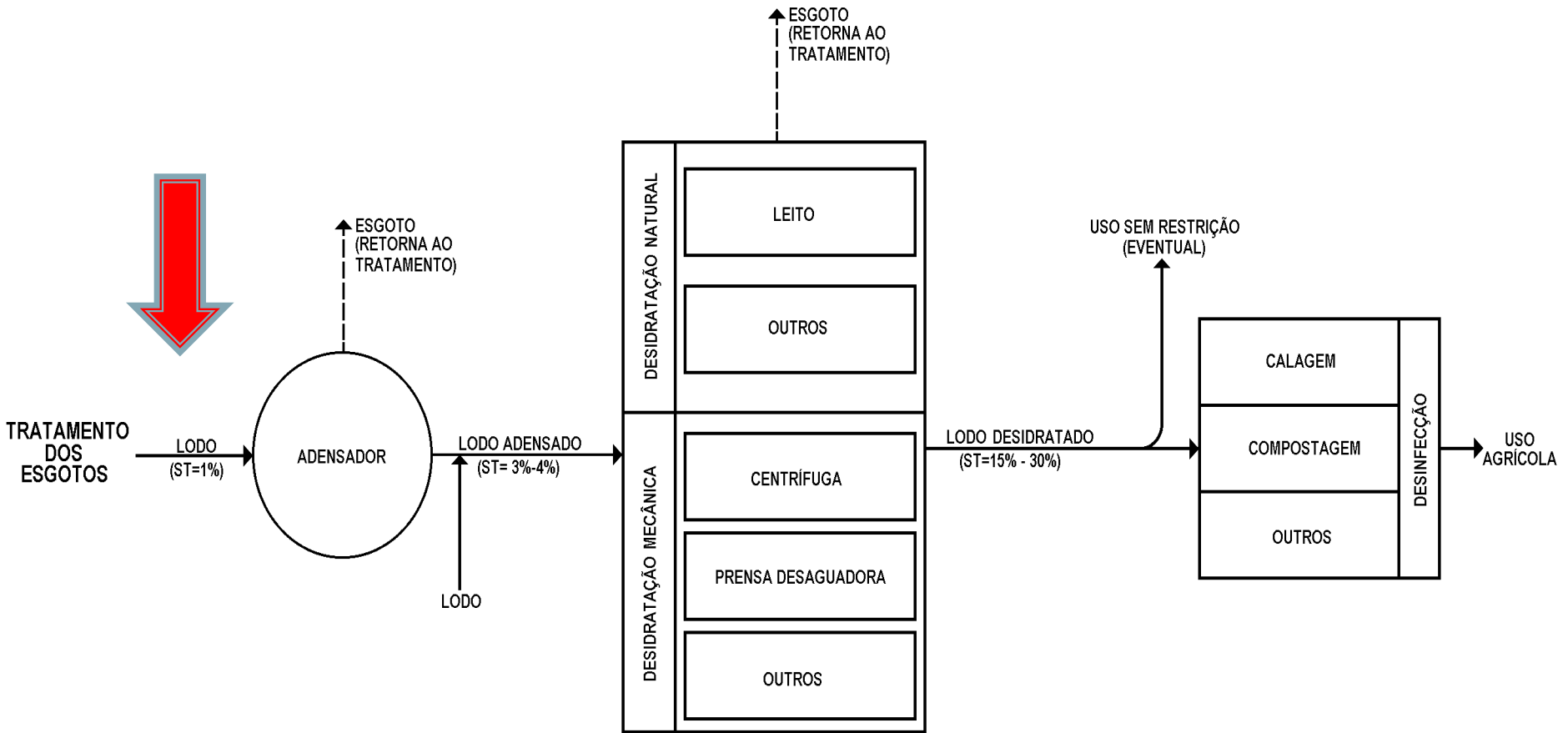


Figura – Fluxograma simplificado do processamento do lodo de esgoto numa ETE

Fonte: Aisse (2000)

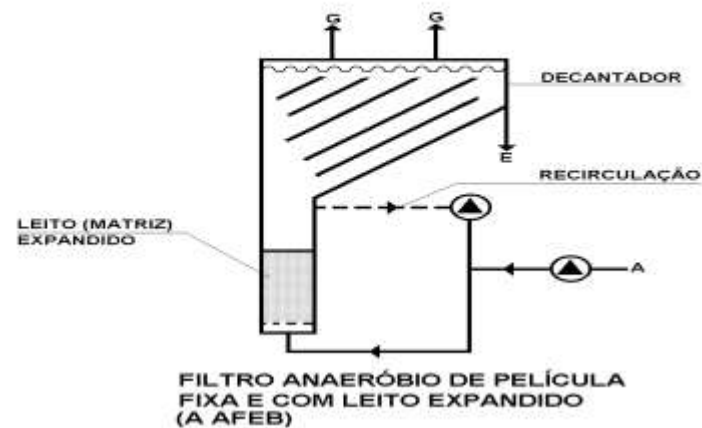
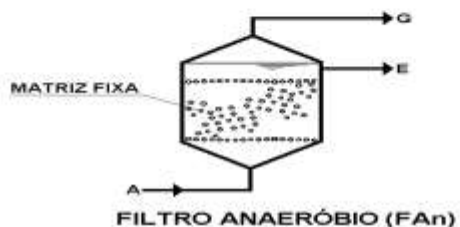
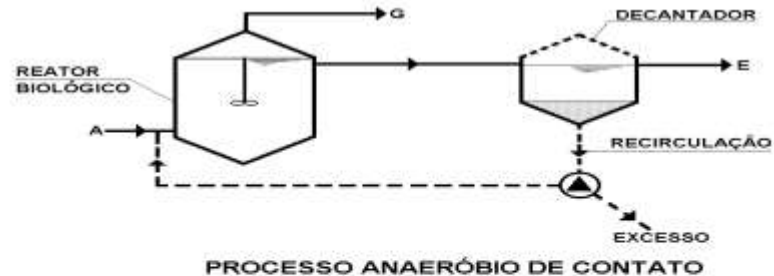
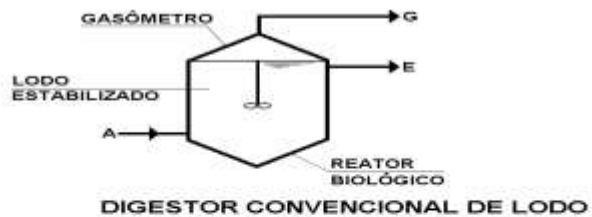


Figura – reatores de tratamento anaeróbio de fluxo contínuo
Fonte: Aisse (2000)

2.1. Reatores de Manto de Lodo

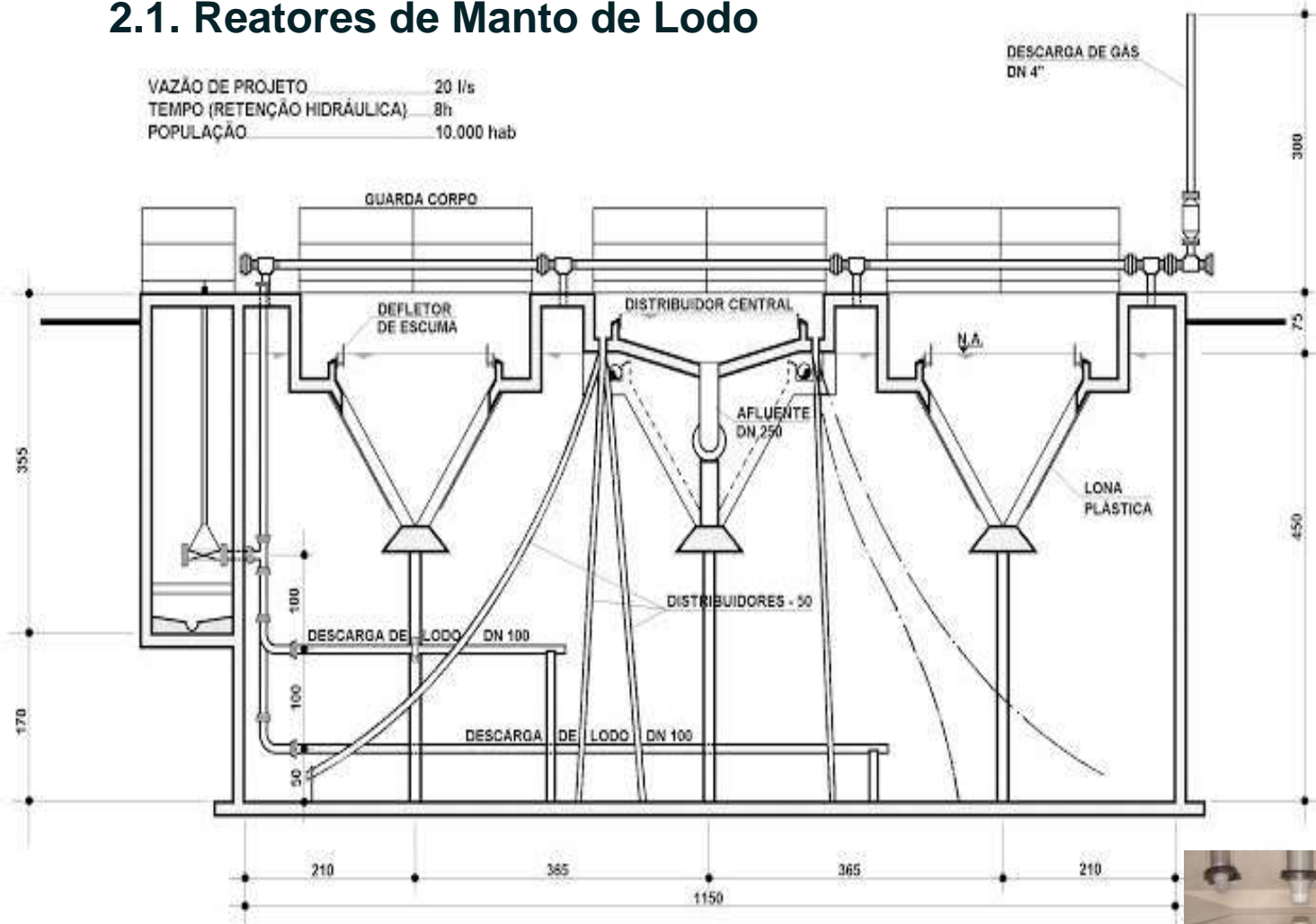


Figura 1– Ilustração de um reator UASB em perfil
Fonte: Aisse (2000) citando Sanepar





Figura – ETE CIC Xisto da Sanepar (Curitiba – PR)

2.2. Tanques sépticos

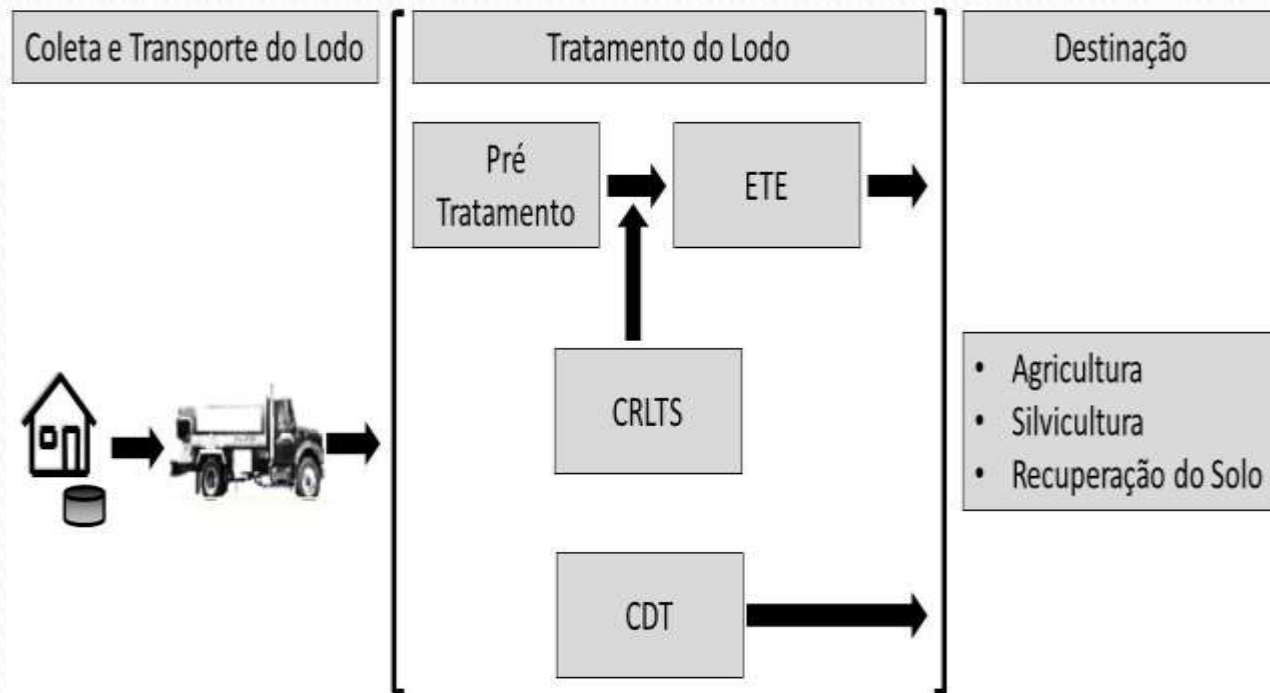


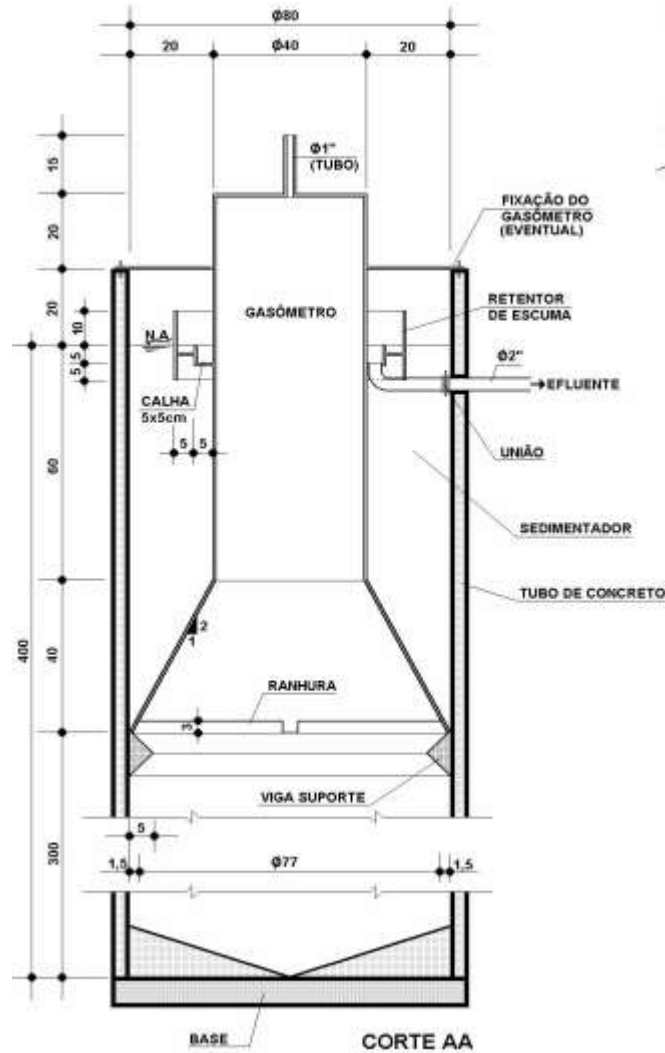
Figura – Coleta, Transporte, Tratamento e Disposição final de lodo de tanque séptico.

Tabela – Lodo de tanque séptico: subprojetos e metas físicas, por IES

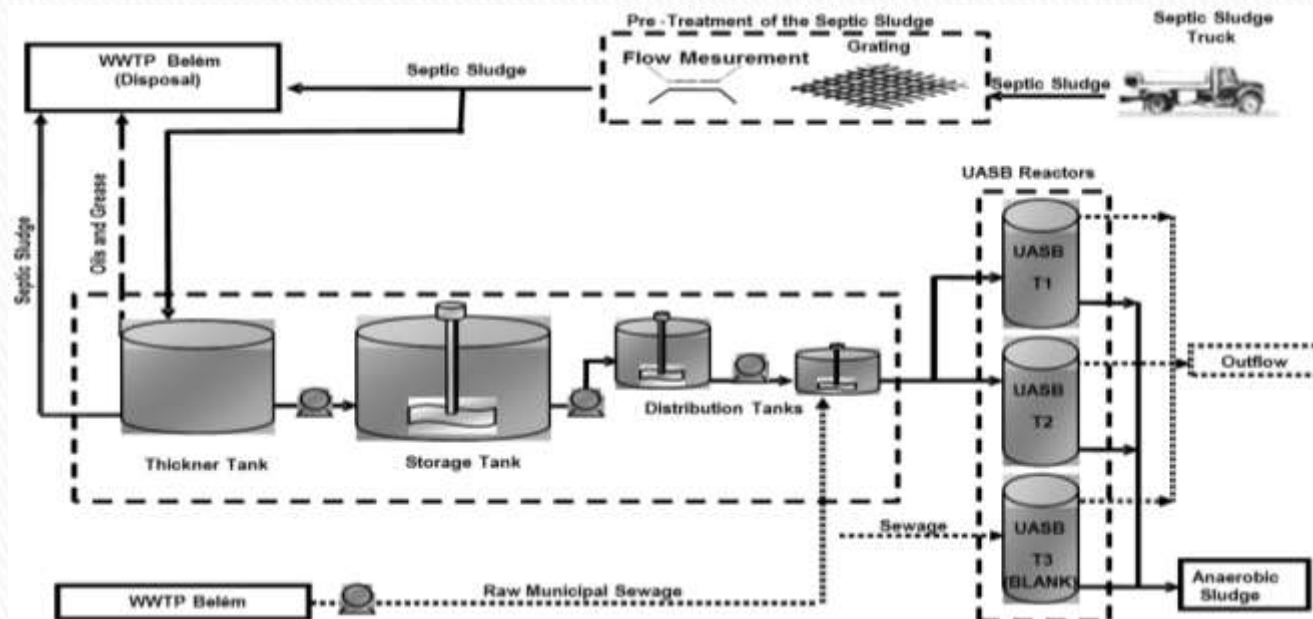
SUBPROJETO		METAS FÍSICAS	INSTITUIÇÃO
1	Gestão Administrativa da Rede Temática	Reuniões de Integração	Todas
		Publicação de Livro	Todas
2	Co-disposição de lodos sépticos em Estações de Tratamento de Esgoto	Pré-tratamento para remoção de gorduras	UnB, UFG
		Metodologias de Lançamento na rede coletora de esgoto	FAE, UnB
		Avaliação dos impactos do lançamento em sistemas de tratamento de esgoto sanitário	UnB, FAE, UFG
3	Tratamento Isolado de Lodos Sépticos	Desinfecção Natural	UFC, FAE
		Sistema de zonas de raízes	UFG
		Compostagem	UFPA, UFC
4	Desaguamento e Secagem de Lodos Sépticos	Big Bags	UNICAMP e UFRN
		Caminhão Desaguador	UFES
		Eletro osmose e drenos condutores elétricos	UnB
		Leitos de secagem	UFRN
5	Aproveitamento de Lodos Sépticos	Co-processamento em cimenteiras	UNICAMP
		Geração de Biodiesel	UFES, UFC
		Utilização na Construção civil	UFRN
		Condicionador de solo (utilização em roseiras/eucalipto)	UNICAMP
6	Co-disposição de lodos sépticos em Aterros Sanitários	Disposição nas trincheiras de resíduos sólidos	UFG
		Disposição no sistema de tratamento de lixiviados	UFG
7	Gestão de Lodos sépticos	Sistema de Apoio à Decisão	UnB
		Economicidade do uso de fossa séptica	FAE

Fonte: Edital de Ação Transversal Saneamento Ambiental e Habitação- MCT, MC e FINEP (2009).

Tratamento do lodo de tanques sépticos combinados com esgoto sanitário bruto em reatores anaeróbios de manta de lodo



- Reatores operados com TDH médio de 8 h;
- O lodo séptico foi condicionado numa concentração de 4.000 mg ST L⁻¹.



Dose	Raw Sewage					Septic Sludge					Sludge/Sewage Load Rate		
	Flow	TS	COD	Load TS	Load COD	Flow	TS	COD	Load TS	Load COD	Flow	TS	COD
	L.d ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	kg.d ⁻¹	kg.d ⁻¹	L.d ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	kg.d ⁻¹	kg.d ⁻¹	%	%	%
1	6,000	562	535	3.4	3.2	110	3,515	2,280	0.4	0.3	1.8	11.8	9.4
2	6,000	587	615	3.5	3,7	250	3,650	3,150	0.9	0.8	4.2	25.7	21.6
3	6,000	587	615	3.5	3,7	450	3,650	3,150	1.6	1.4	7.5	45.7	37.8

- Assumiu-se que os reatores utilizados na pesquisa não sofreram perdas na sua qualidade de tratamento, nas doses testadas com o lodo séptico (Samways *et al.*, 2010).

Centrais de Recebimento de Lodo de Tanque Séptico

Tabela – Centrais de Recebimento de Lodo de Tanque Séptico - CRLTS estudadas

Proposta	Autor(es)	Local	Proponente	Escala
(1)	ECOSOL (2006)	Campo Largo / PR	SANEPAR	Plena
(2)	DALCON (2006)	Contenda / PR	SANEPAR	Plena
(3)	PROENSI (2007)	Londrina / PR	SANEPAR	Plena
(4)	GONÇALVES (2008)	São Carlos / SP	EESC-USP	Piloto
(5)	CRIPPEN <i>et al.</i> (2009)	Líbano	-	Plena
(6)	CAMPOS <i>et al.</i> (2009)	-	EESC-USP	Teórico
(7)	CAMPOS <i>et al.</i> (2009)	São Carlos / SP	EESC-USP	Piloto
(8)	CAMPOS <i>et al.</i> (2009)	Campinas / SP	SANASA	Plena
(9)	SAMWAYS <i>et al.</i> (2010)	Curitiba / PR	UFPR/SANEPAR	Piloto
(10)	AISSE <i>et al.</i> (2014)	-	DHS/UFPR	Teórico
(11)	AISSE <i>et al.</i> (2014)	-	DHS/UFPR	Teórico
(12)	AISSE <i>et al.</i> (2014)	Brasília / DF	UnB/CAESB	Plena
(13)	AISSE <i>et al.</i> (2014)	Brasília / DF	SLU/CAESB	Experimental

Nota: SANASA, SANEPAR e CAESB: Empresas de Saneamento.

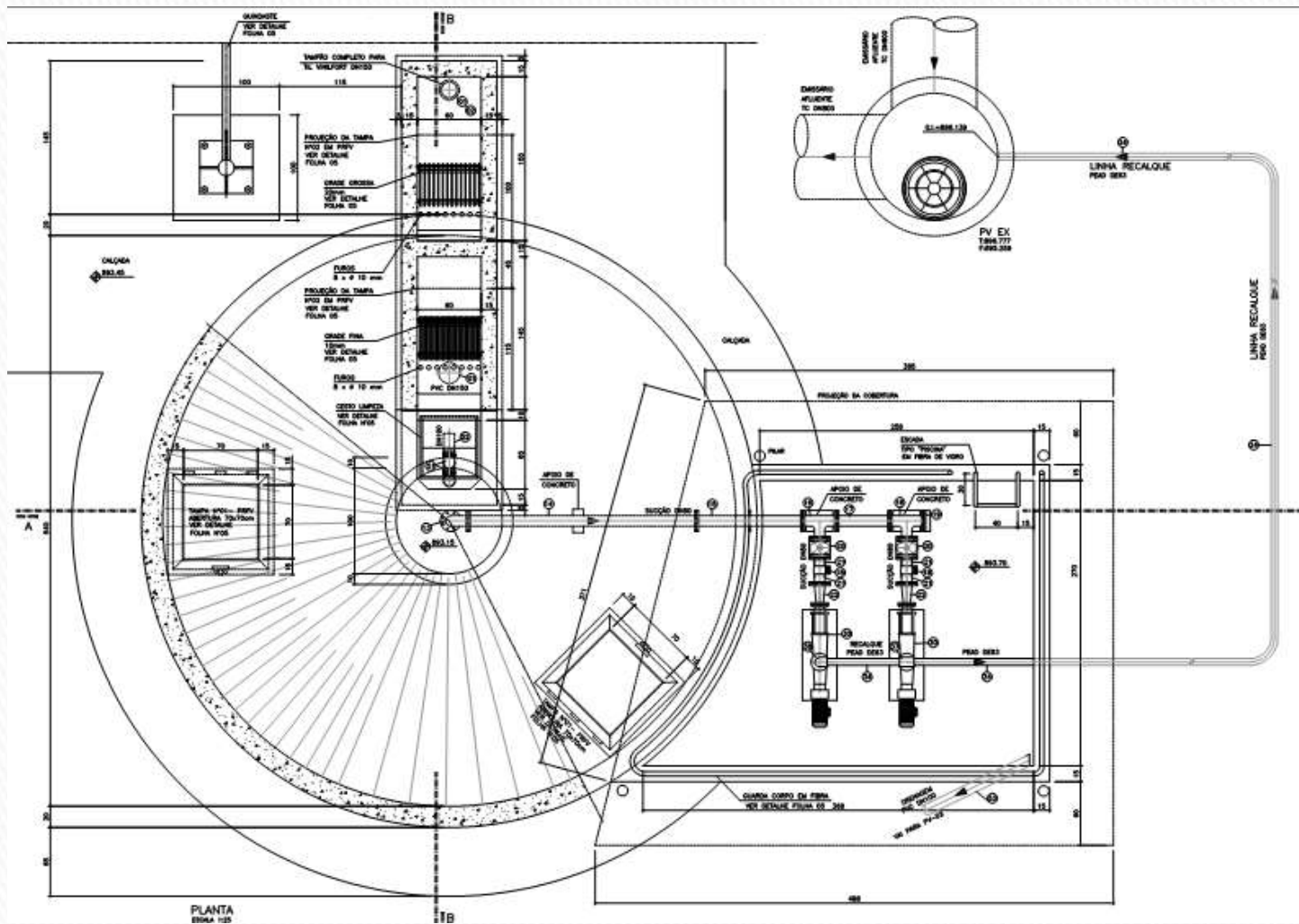


Figura - Tanque de recepção de lodo de Tanque Séptico (planta)
 Fonte: (1) ECOSOL (2006)

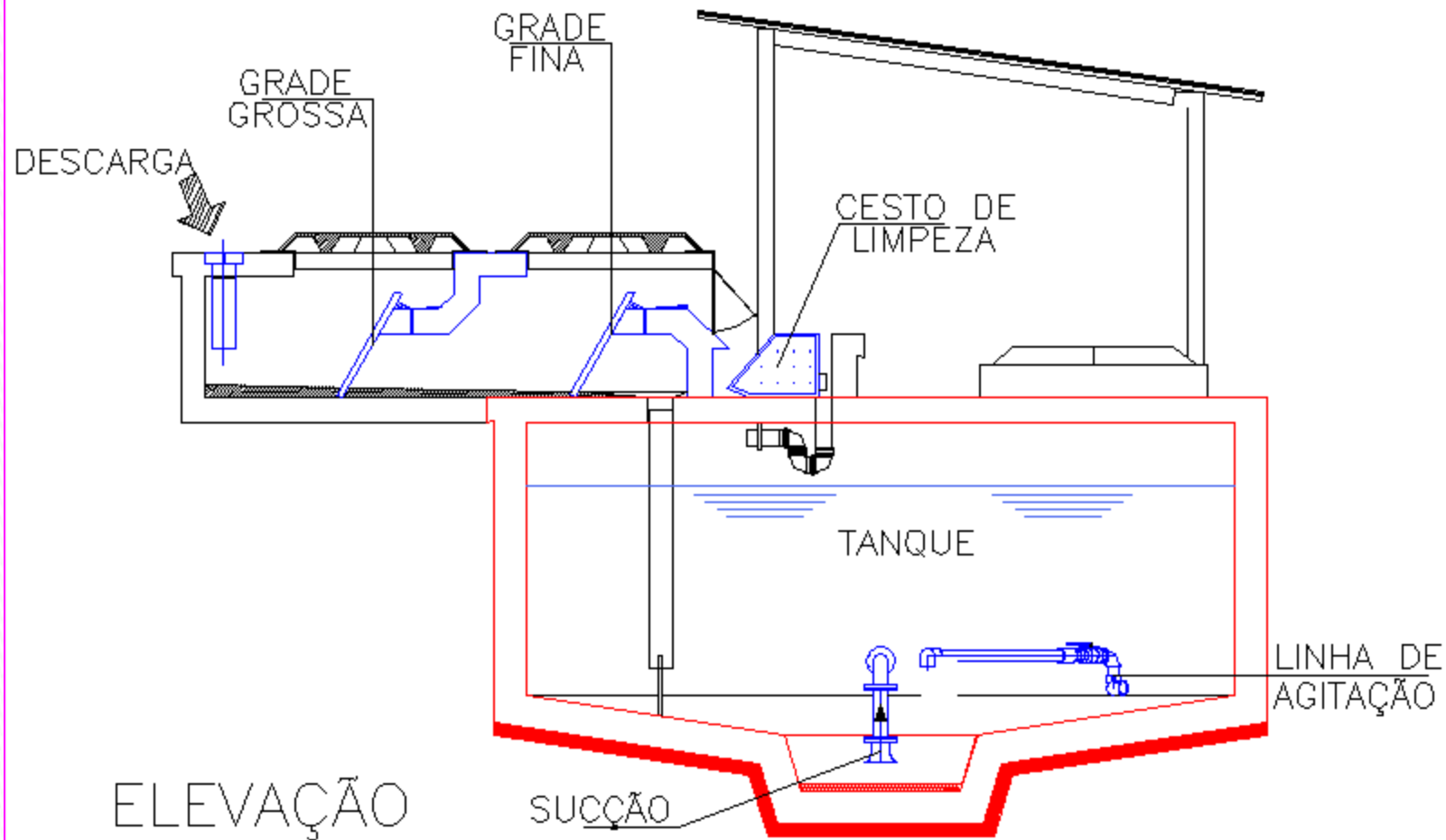


Figura - Tanque de recepção de lodo de Tanque Séptico (perfil)
 Fonte: (1) ECOSOL (2006)

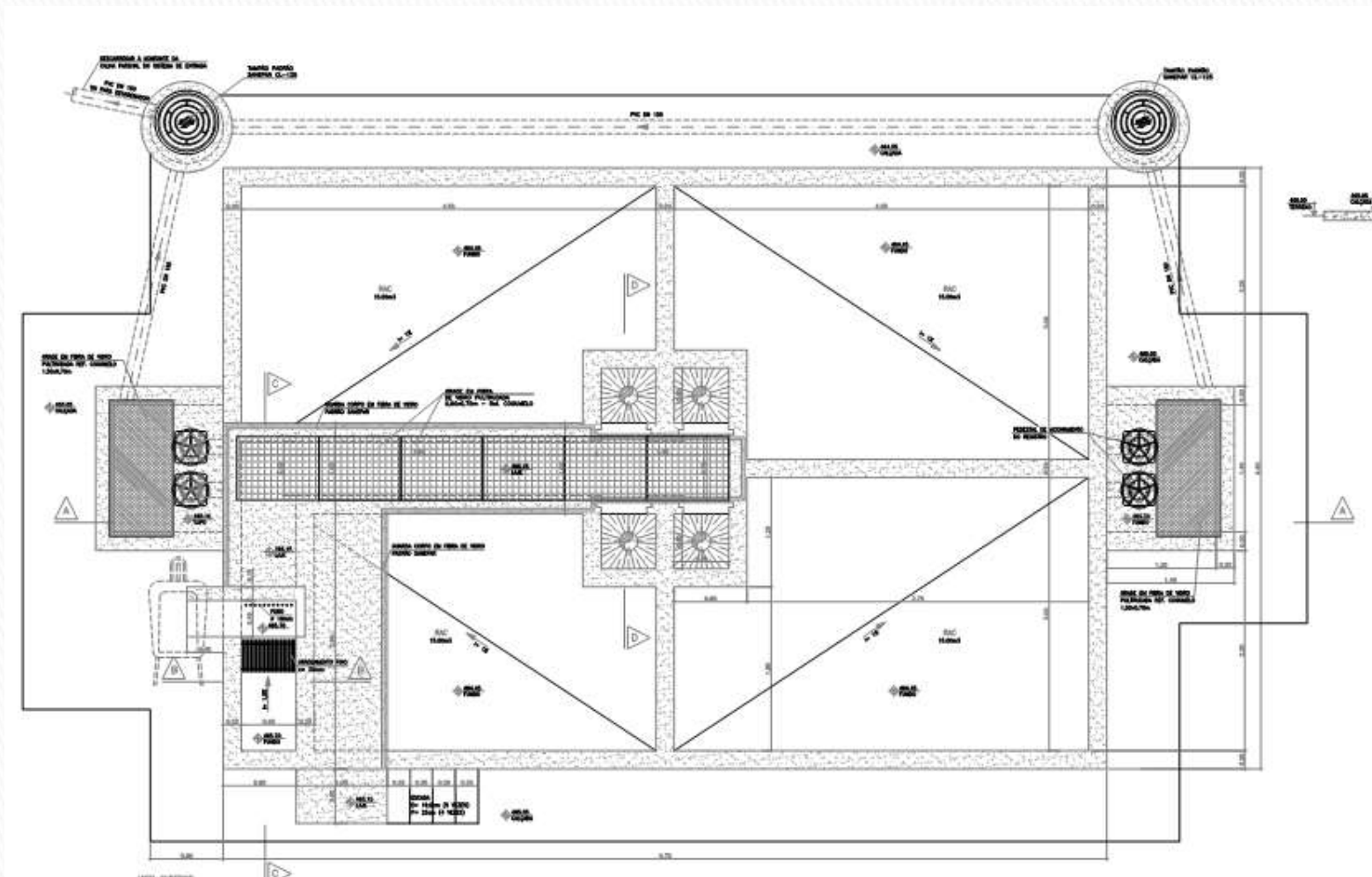


Figura - Tanque de recepção de lodo de Tanque Séptico (planta)
 Fonte: (2) PROENSI (2007)

2.3. Digestores Anaeróbios de Lodo

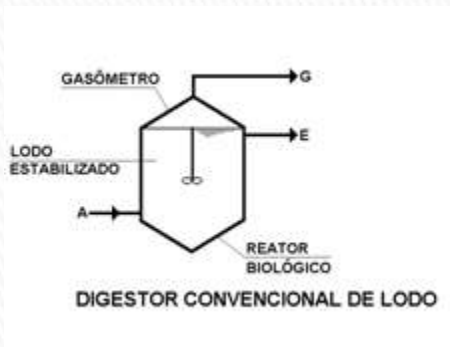


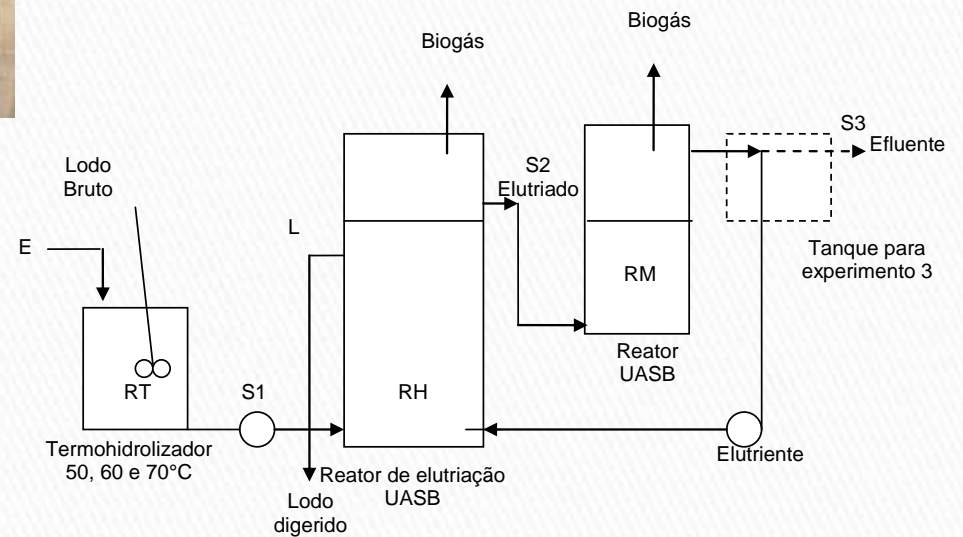
Tabela - Digestão Anaeróbia: taxa de aplicação a ser empregada em projetos

Tipo de Digestor	Taxa de Aplicação (kg SSV/m³.d)	Tempo de detenção (dias)	Comentário
Convencional não homogeneizada	≤ 0,5	≥ 45	-----
Convencional homogeneizada	entre 0,5 e 1,2	≥ 30	Homogeneizado 1 W/m ³ (*)
Alta taxa	entre 1,2 e 4,8	≥ 22	Homogeneizado ≥ 5 W/m ³ (*)
		≥ 18	Homogeneizado ≥ 5 W/m ³ (*); Aquecido

OBS: (*) Dispositivo de homogeneização quando não emprega a recirculação de lodo.

Fonte: ABNT (2011)

Digestão do Lodo em duas fases e pré –tratamento térmico



Legenda: RT – Reator Termohidrólise, RH – Reator de Hidrólise, RM – Reator Metanogênico.

Fonte: Barés (2010), citando Noyola (2007)

Digestão do Lodo em duas fases e pré –tratamento

Tabela – Parâmetros de projeto obtidos de pesquisas de (co-) digestão anaeróbia em um e dois estágios, utilizando lodo de esgotos e diferentes substratos orgânicos

Parâmetro	Um estágio	Dois estágios	
		Primeiro estágio (hidrolise)	Segundo estágio
TRH (d)	20	1,0	14,3
Carga (kg SVT m ⁻³ .d ⁻¹)	1,9	36,2	2,23
Carga (kg DQO m ⁻³ .d ⁻¹)	3,5	68,6	4,83



FONTE: Blank e Hoffmann (2011)

Digestão do Lodo em duas fases e pré –tratamento

Tabela – Resultados de pesquisas de (co-) digestão anaeróbia em dois estágios de lodo de esgotos e diferentes substratos orgânicos

Processo (d)	Substrato	Biogás (L kg ⁻¹ SVT _{Rem})	Eficiência de remoção(%)		Metano (% CH ₄)	Fonte
			ST	AGV		
Um estágio (TRH 25)	Lodo de esgotos	987,5	40	84	69	Perot e Amar (1989)
Dois estágios (TRH 1,6 + 10)	Lodo de esgotos	755	60	83	70	
Um estágio (TRH 20)	Lodo de esgotos (54,6 %) e outros resíduos orgânicos	899,9	46,5 (*)	89	57	Blank e Hoffmann (2011)
Dois estágios (TRH 1,0 + 14,3)	Lodo de esgotos (54,6 %) e outros resíduos orgânicos	970,6	59,5 (*)	92	65	

OBS: (*) Eficiência de remoção de 61 % e 60% respectivamente em termos de DQO

Outras alternativas de minimização do lodo

Tabela - Comparação relativa dos diversos processos hidrolíticos de lodo de esgoto

Características	Hidrólise térmica	Hidrólise química	Hidrólise biológica
Demanda de produto (bio)químico	-	+++	+++
Demanda de energia	+++	+	-
Possibilidade de uso de biogás	+++	-	-
Eficiência, solubilização	+++	+++	++
Biodegradabilidade do hidrolisado	++	+	+++
Destruição de SV	++	+++	++
Inativação de patógenos	+++	++	-
Geração de odores	+++	+++	ND
Tempo de detenção do lodo	++	+	ND
Complexidade operacional	++	+	+
Complexidade de manutenção	++	+	+
Tamanho da ETE	++ a +++	+ a +++	+ a +++
Custo de implantação	+++	++	++

Nota: (-) inexistente, (+) pouco, reduzido, pequeno, (++) médio, intermediário, (+++) elevado, muito, (ND) dado não disponível.

Fonte: Cassini *et al.* (2003)

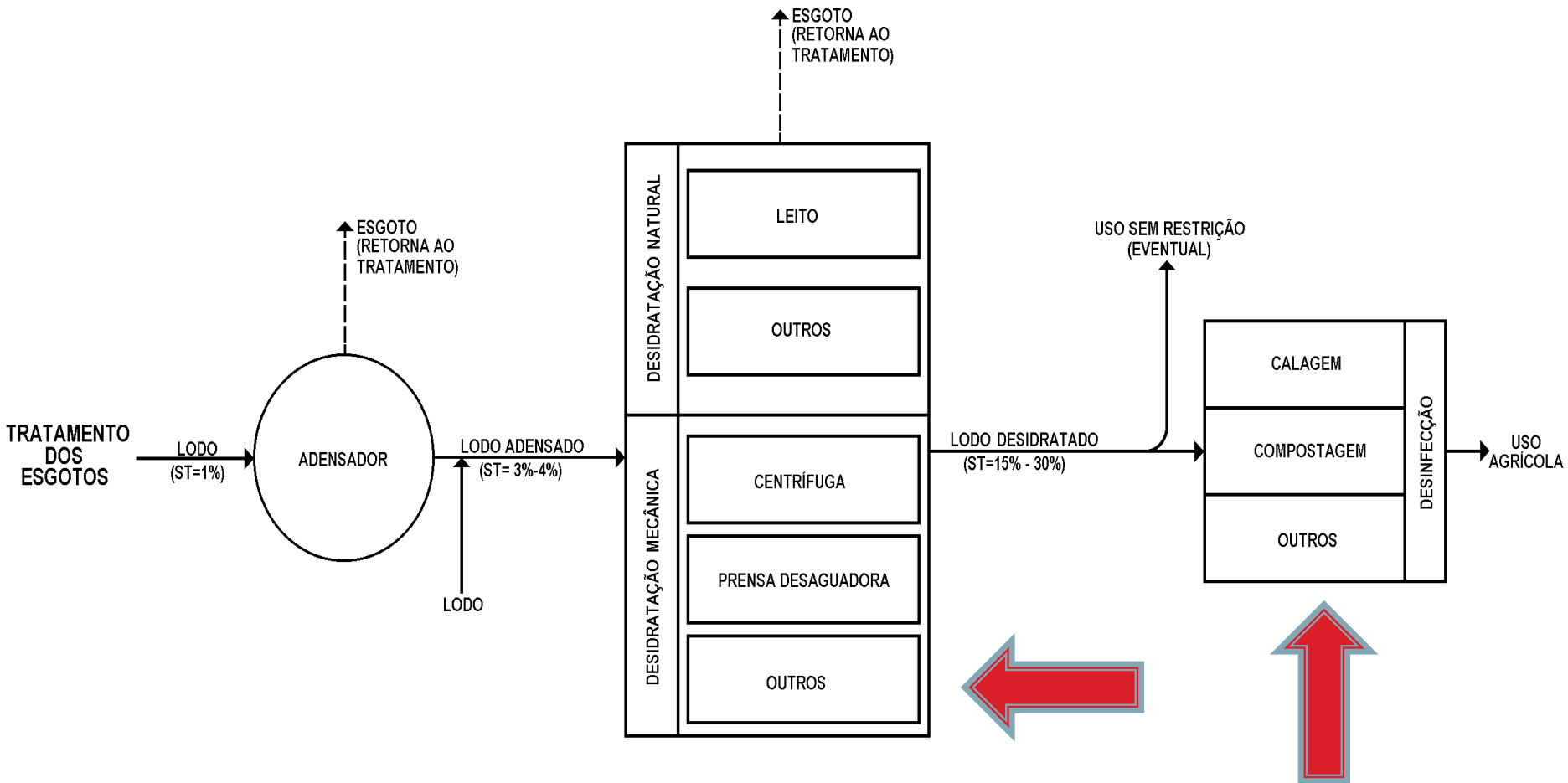


Figura – Fluxograma simplificado do processamento do lodo de esgoto numa ETE

Fonte: Aisse (2000)

4. Tratamento e Desaguamento do Lodo

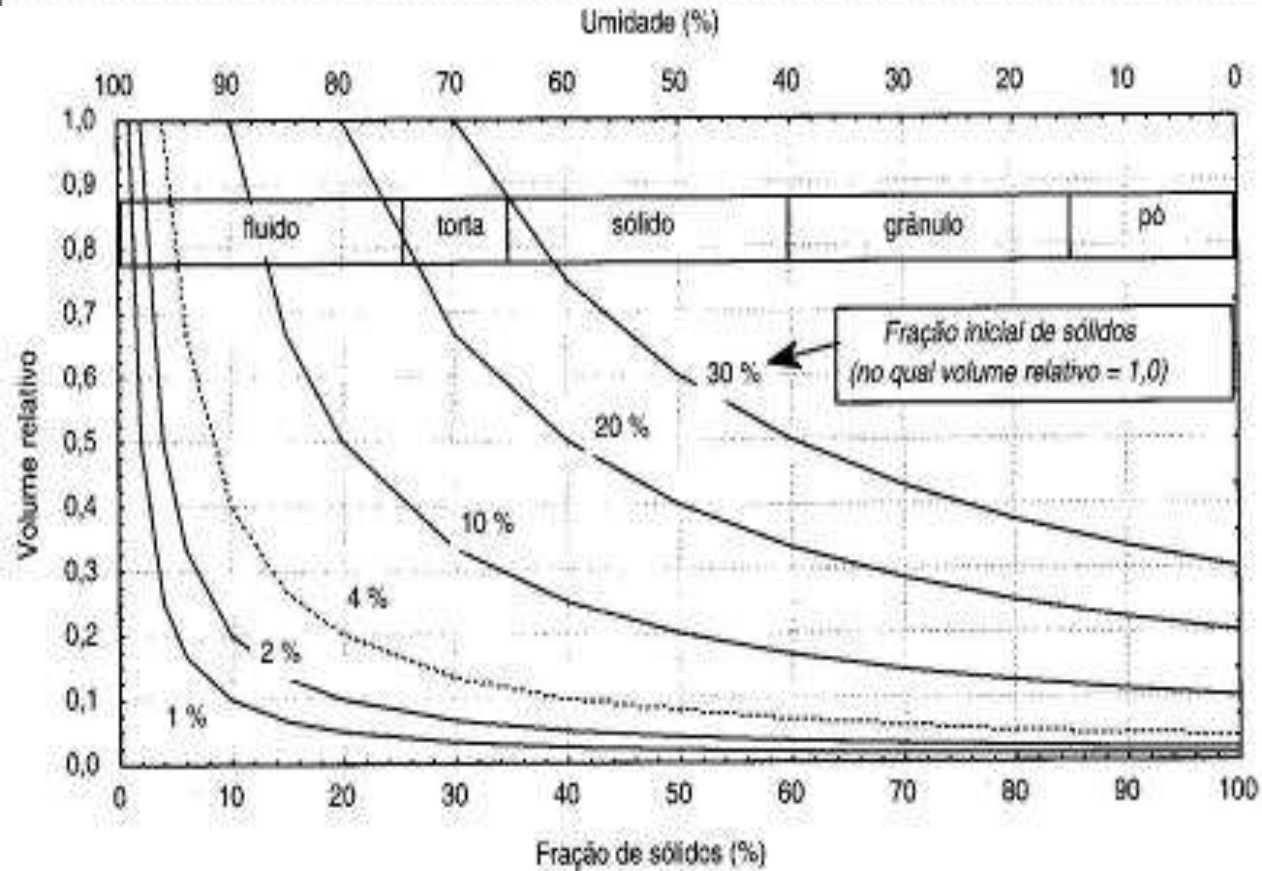


Figura – Curvas de volumes relativos entre concentração de sólidos e umidade

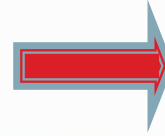
Fonte: Andreoli *et al.* (2001)

Tabela – Categorias de ligação intermolecular entre a água e os sólidos presentes no lodo

Categorias	Características
Água livre	Água que não está associada às partículas de sólidos e pode ser facilmente separada por gravidade. Representa a maior quantidade em lodo de esgoto (cerca de 70% da água total).
Água intersticial	Água presa nos interstícios dos flocos, caracterizada pela baixa energia de ligação entre as partículas sólidas e líquidas. Essas partículas estão unidas fisicamente por forças capilares e podem se tornar água livre se o floco for destruído.
Água vicinal	Água presa à superfície das partículas por adsorção e adesão. Pode ser removida por força mecânica ou pelo uso de floculantes.
Água intracelular	Água ligada quimicamente às partículas de sólido. Esse tipo de água só pode ser removido por forças térmicas que promovam uma mudança no estado de agregação da água.

Fonte: Andreoli *et al.* (2001)

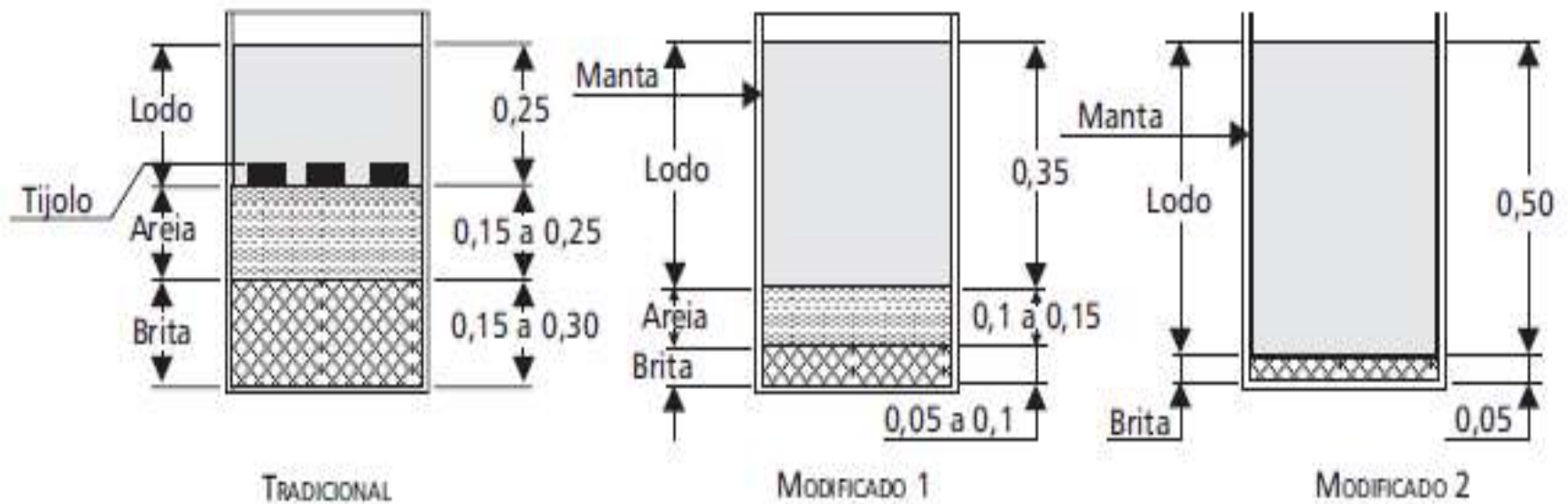
4.1. Processos Naturais: Leitos



Bags



LEITOS DE DRENAGEM COM MATERIAL GEOTÊXTIL



Tecidos



Não tecidos



4.2. Processos Mecanizados



Tabela – Teor de sólidos obtidos no desaguamento mecânico

Equipamento	Teor de Sólidos (%)	Comentários (*)
Filtros de Esteiras ou Prensas Desaguadoras	17 a 25	Lodo primário digerido por via anaeróbia
	20	Lodo misto digerido por via anaeróbia
	20	Lodo de digestão aeróbia.
Filtro Prensa	30 a 45	•Lodo primário digerido por via anaeróbia
	25 a 40	Lodo misto digerido por via anaeróbia
	20 a 25	Lodo de digestão aeróbia.
Centrifuga	20 a 35	Lodo primário digerido por via anaeróbia
	18 a 30	Lodo misto digerido por via anaeróbia
	15 a 20	Lodo de digestão aeróbia.

OBS: (*) A utilização de polímeros é necessária a aumentar a captura de sólidos e a Taxa de aplicação de sólidos. **Fonte:** ABNT (2011)

4.3. Secagem Térmica

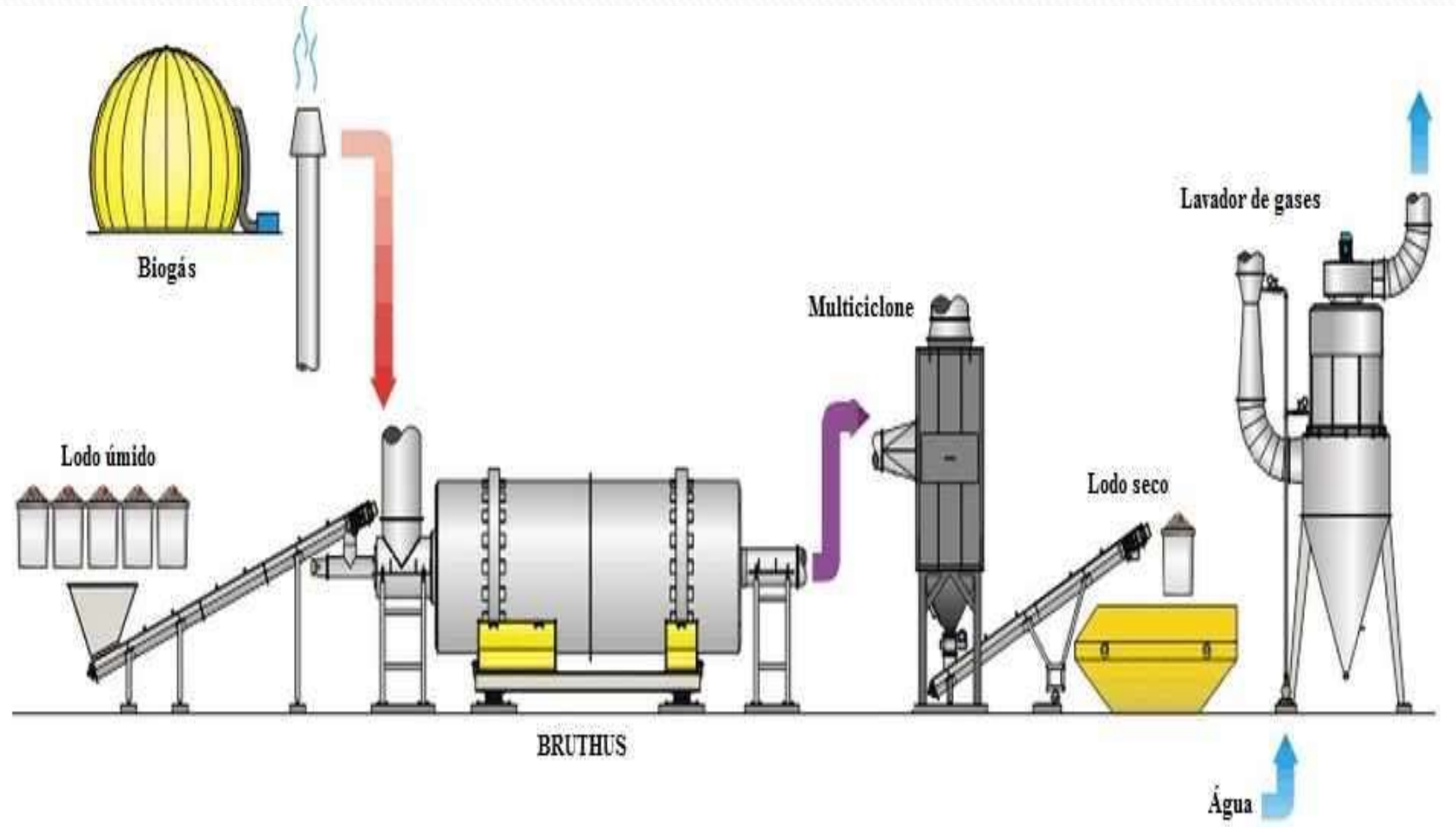


Figura - Representação esquemática do sistema térmico piloto de secagem de lodos movido a biogás. Fonte: Possetti et al. (2015)

Conclusões:

- Sistema térmico piloto composto por um secador rotativo, apto a processar até 100 kg/h de lodo úmido, foi instalado numa ETE com capacidade para tratar 420 L/s de esgoto, dotada de seis reatores UASB, os quais produzem cerca de 120 Nm³/h de biogás.
- O biogás foi conduzido até uma câmara de combustão, acoplada ao secador de lodos, utilizando-se dois compressores radiais, modulados por inversores de frequência e instalados em série com os tubos condutores de biogás. Um reservatório contendo limalha de ferro foi incorporado para diminuir os teores de sulfeto de hidrogênio.
- Na câmara de combustão, o calor oriundo da queima do biogás aqueceu o volume de ar contido em seu interior. O ar quente foi utilizado para a transferência de calor para o lodo úmido, ocorreu ao longo de um tambor com rotação controlável, capaz de remover a água presente no lodo em um ambiente saturado e de transformá-lo em grãos.

- Separador multiciclone foi empregado para segregar os compostos sólidos e gasosos disponibilizados na saída do tambor rotativo. Os compostos gasosos foram, então, conduzidos até um lavador de gases alimentado com água. Os compostos sólidos (lodo seco), por sua vez, foram recolhidos em sacos de rafia.

- Temperaturas do ar medidas foram $205,49 (\pm 17,18)^\circ\text{C}$, na entrada do tambor rotativo, e $96,2 (\pm 9,8)^\circ\text{C}$, na saída do tambor rotativo. Dessa forma, assegurou-se que o processo de secagem do lodo ocorresse em um ambiente saturado e sem que o lodo atingisse temperaturas superiores àquelas inerentes ao seu ponto de ignição.

- A energia necessária para remover 1 kg de água presente no lodo foi, em média, de $1.323,91 (\pm 285,11)$ kcal. Adicionalmente, constatou-se que foram necessários, em média, $0,24 (\pm 0,15)$ Nm³ de biogás para cada 1 kg de lodo úmido processado;

-  Higienização.

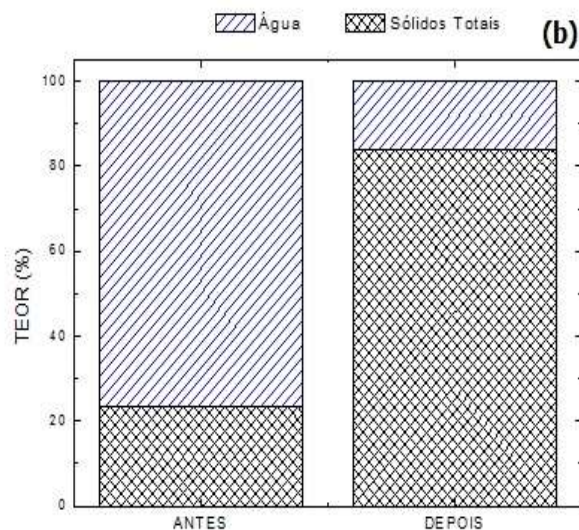
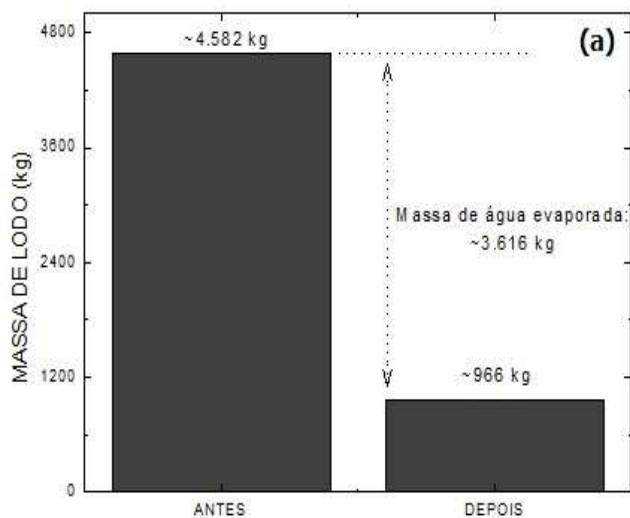


Figura:
Massas de lodo e teores médios de ST
(a) Antes;
(b) Após o processamento do lodo
no sistema térmico piloto.

Tabela: Propriedades físicas, químicas e calorimétricas do lodo seco.

Fonte: Possetti *et al.* (2015)

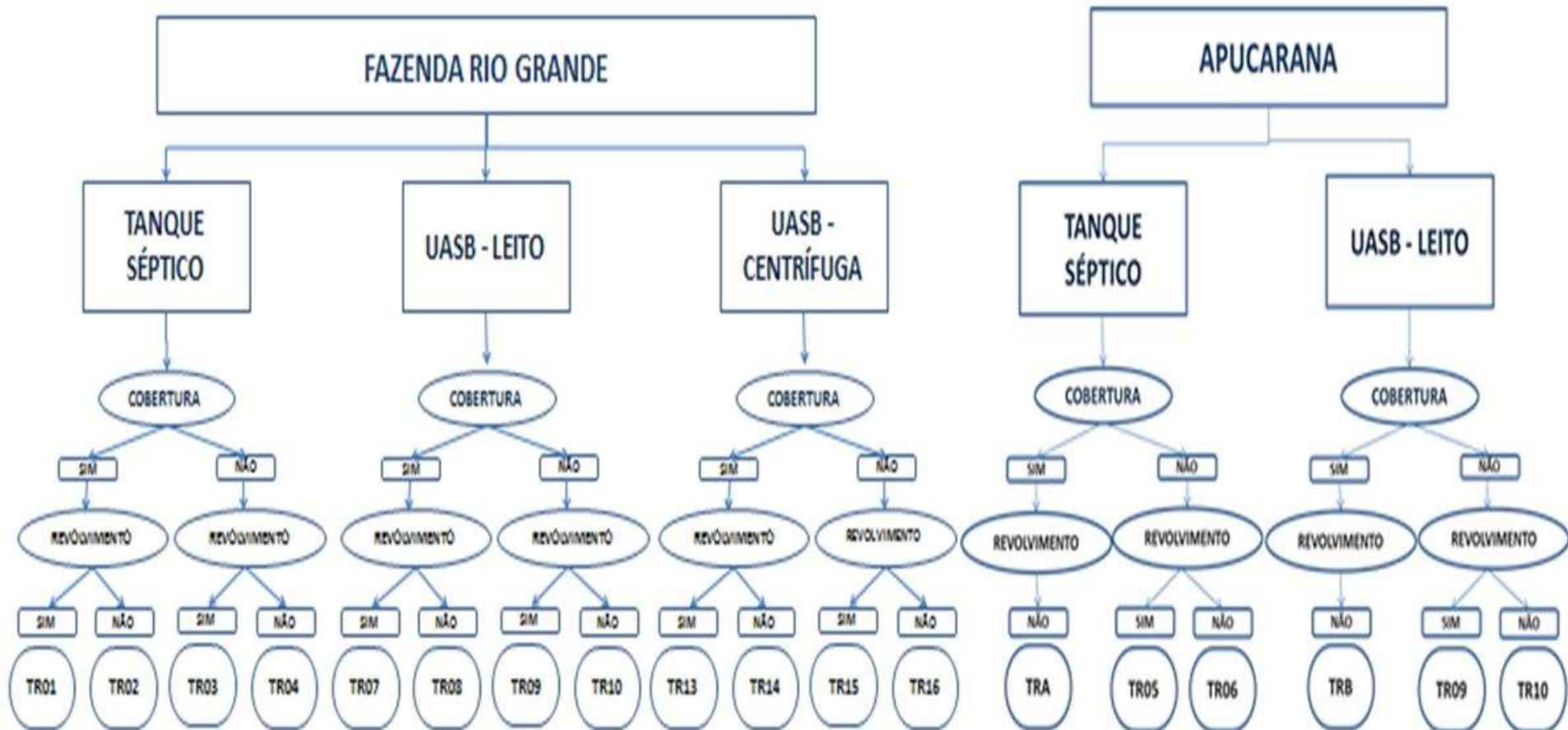
Análises	Parâmetros	Lodo Seco
Elementar	Carbono (C - %, b.s. ⁽¹⁾)	23,66
	Hidrogênio (H - %, b.s.)	4,95
	Nitrogênio (N - %, b.s.)	3,15
	Enxofre (S - %, b.s.)	3,44
	Oxigênio (O - %, b.s.)	19,25
Imediata	Cinzas (%, b.s.)	45,55
	Matéria Volátil (%, b.s.)	50,37
	Carbono fixo (%, b.s.)	4,08
	Umidade (%, bruta)	20,04
Poder Calorífico	PCS (%, kcal/kg, b.s.)	2.877,56
	PCI (%, kcal/kg, b.s.)	2.497,84
Observações: ⁽¹⁾ Base Seca		

5. Higienização do lodo de esgoto

5.1. Estabilização Alcalina Prolongada



DELINEAMENTO EXPERIMENTAL



FLUXOGRAMA DOS TRATAMENTOS REALIZADOS NO EXPERIMENTO DE ESTOCAGEM PROLONGADA DE LODO

4 REPETIÇÕES

Fonte: Pompeo (2015)

Delineamento Experimental

UNIDADES EXPERIMENTAIS - PÁTIO COBERTO
(1) FAZENDA RIO GRANDE - PR; (2) APUCARANA - PR



COBERTURA

Proteção das
chuvas

REVOLVIMENTO



Função: Acelerar a secagem e expor os ovos de helmintos que sedimentam no lodo;

Frequência: Semanal nos três primeiros meses e a cada 14 dias, até 2 anos;

Tempo: Mínimo de 15 minutos em cada unidade, o procedimento foi realizado manualmente com enxada.

Métodos

- ovos de helmintos



Yanko modificado por THOMAZ-SOCCOL *et al.*(2000)

- coliformes termotolerantes



Tubos múltiplos

- *Salmonella* sp



Tubos múltiplos



INÍCIO



abril de 2012

COLETAS



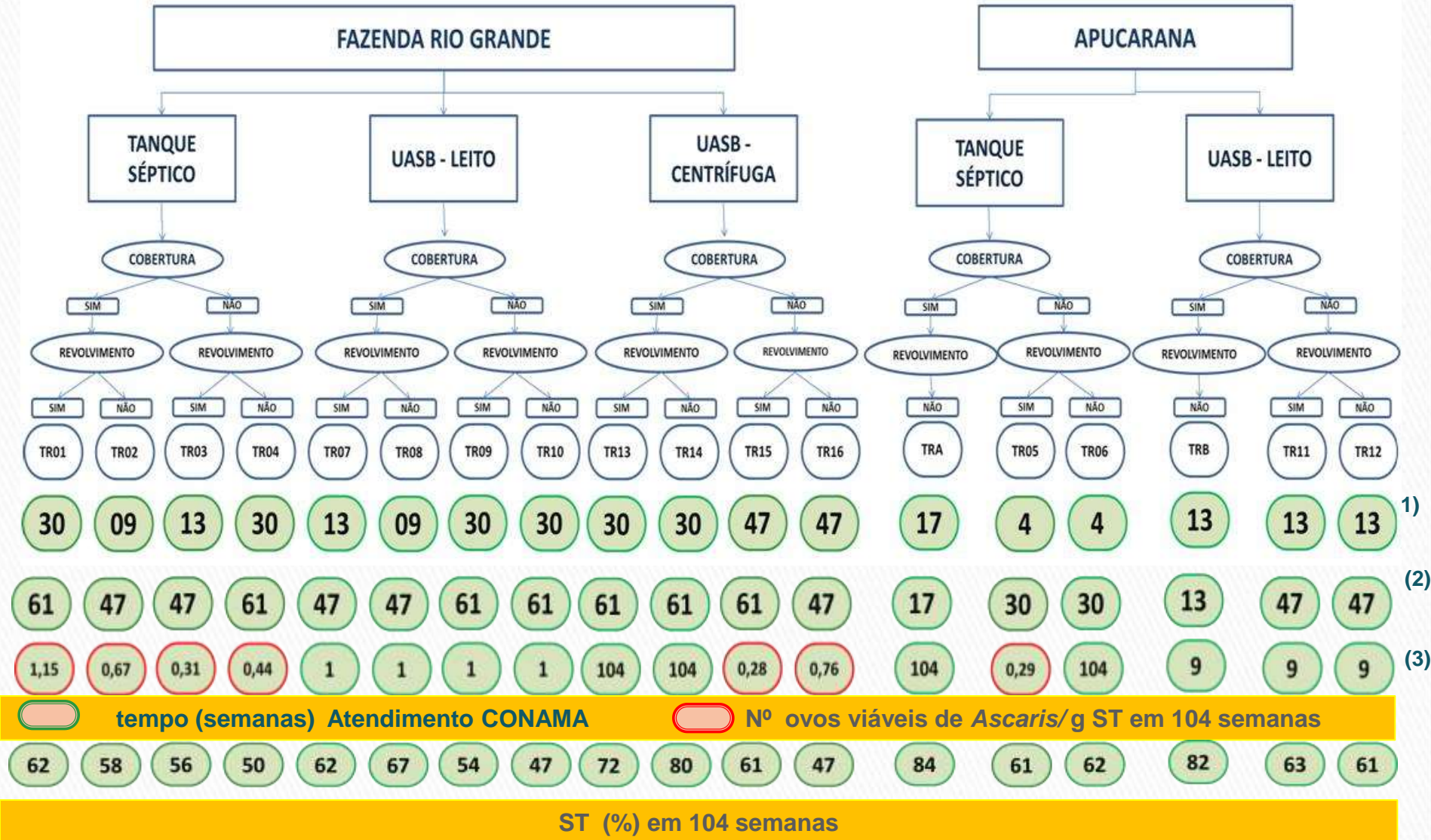
0, 4, 9, 13, 17, 30, 47, 61, 104 semanas



48 unidades experimentais em FRG e 18 em Apucarana

Síntese dos Resultados

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL



(1) Coliformes Termotolerantes
10^3 NMP / g de ST

(2) *Salmonella*
ausência em 10 g de ST

(3) Ovos viáveis de helmintos
<math><0,25</math> ovo / g de ST

5.3. Compostagem



Situação Atual - Bituruna - PR

Fonte: Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos
http://www.meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Caderno_de_Especificacoes_Final_Pos_Print.pdf



Tabela - Teores de substâncias inorgânicas (metais pesados) de lodo gerado em diferentes sistemas de tratamento de esgoto brasileiros

Sistema	Parâmetros (mg kg ⁻¹)										
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
SÃOPAULO, SP ⁽¹⁾	-	-	7,0	2981	808	29,0	-	219,0	276,0	-	2086
JERÔNIMO MONTEIRO, ES ⁽²⁾	-	-	0,40	14,8	129	4,10	-	9,4	39,7	-	320
SUZANO, SP ⁽³⁾	-	-	8,0	579	625	-	-	346	217	-	1,12
RMC, PR ⁽⁴⁾	0,2	138,1	0,3	47,7	100,9	0,1	0,4	30,1	31,7	8,0	343
BARUERI, SP ⁽⁵⁾	12,0	-	18,0	-	850,0	2,0	13,0	34,0	189,0	1,0	1870
FRANCA, SP ⁽⁶⁾	-	306,6	3,27	284,5	572,6	-	2,8	56,6	77,3	-	1028

Referências: ⁽¹⁾Melo, Marques e Melo (2002); ⁽²⁾Lopes *et al.* (2005); ⁽³⁾Marques *et al.* (2006); ⁽⁴⁾Bittencourt *et al.* (2010a); ⁽⁵⁾Nogueira *et al.* (2010); ⁽⁶⁾Merlino *et al.* (2010).

Fonte: Bittencourt (2014)

6. Referencias Bibliograficas

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 12.209 – **Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. 2ª Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.**

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229 – **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.**

Aisse, M. M. *et al.* *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. In: Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbios. Campos, J. R. (Coord.). Rio de Janeiro, ABES. 1999. p. 271 – 99.*

Aisse, M. M. **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários. Rio de Janeiro – RJ, ABES. 2000. 192 p.**

Bares, M. E.; Braga, S. M.; Aisse, M. M.; Noyola, A.; Braga, M. C. B. Avaliação da higienização térmica de lodo de estação de tratamento de esgoto In: XXXII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2010, Punta Cana, Rep. Dominicana. **Anais. Punta Cana, Rep. Dominicana: AIDIS, 2010.**

Bittencourt, S. Gestão do processo de uso agrícola de **lodo de esgoto no estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução Conama 375/06. 220 f.** Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Blank, A.; Hoffmann, E. Upgrading of a co-digestion plant by implementation of a hydrolysis stage. **Waste Management & Research. 29(11): 1145-52. 2011.**

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA nº 375. (2006): Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n. 167, 30 ago 2006. p. 141-146.

Cassini, S. T.; Chernicharo, C. A. L.; Andreoli, C. V.; França, M.; Borges, E. S. M.; Gonçalves, R. F. Hidrólise e Atividade Anaeróbia em Lodos. In: **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás. Servio Túlio Cassini (Coord.). Rio de Janeiro, ABES. 2003. 11-52.**

Gonçalves, R. F., Ludovice, M., Von Sperling, M., Andreoli, C. V.; Pegorini, E. S.; Fernandes, F. Remoção da Umidade de lodo de esgotos. In: **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Andreoli, C. V.; Von Sperling, M.; Fernandes, F. (Editores). Belo Horizonte, Editora UFMG. 2014. p. 157- 258.**

6. Referencias Bibliograficas

- Jordão, E. P.; Pessoa, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos. 7ª edição. Rio de Janeiro, ABES. 2014.**
- Metcalf & Eddy. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. Metcalf & Eddy inc. 3a ed. Nova York, Mc Graw-Hill. 1991. 1819 p.**
- Metcalf & Eddy . Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. Metcalf & Eddy inc. 3a ed. Nova York, Mc Graw-Hill. 1991. 1819 p.
- Pompeo, R. P. **Influencia da Estocagem Prolongada de lodos de esgoto, em diferentes condições operacionais, na redução de patógenos visando a reciclagem agrícola.** 2015. Tese (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná
- Possetti, G. R. C. *et al. Investigação Experimental de um Sistema Piloto de Secagem Térmica de Lodo Movido a Biogás. 28 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. ABES, Rio de Janeiro, 2015.*
- Ross, B. Z. L. **Escuma de Reatores Anaeróbios Tratando Esgotos Domésticos em Escala Real: Produção, Caracterização e Proposição de Parâmetros para o seu Gerenciamento.** 2015. Tese (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná
- Samways, G.; Aisse, M. M.; Andreoli, C. V. Tratamento do lodo de tanques sépticos combinados com esgoto sanitário bruto em reatores anaeróbios de manta de lodo em escala piloto In: XXXII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2010, Punta Cana, Rep. Dominicana. **Anais. Punta Cana, Rep. Dominicana: AIDIS, 2010. 8p.**
- Samways, G.; Barea, L. C.; Busato, R.; Aisse, M. M. Concepção de Central de Recebimento de Lodo de Tanque Séptico (CRLTS) em Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos In: XXXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2014, Monterrey. **Anais. México: AIDIS, 2014. 10 p.**
- Samways, G. **Estratégias de Co-Processamento de Lodo Séptico em ETES empregando Reatores UASB.** Tese (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná. 2015.
- Velho, V. F. **Estudo da Minimização da Produção de Lodo em Sistemas de Lodos Ativado para Esgotos Sanitários.** 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.



Agradecimentos:

Os resultados apresentados pela UFPR neste evento foram possíveis graças

A FINEP e ao CNPq pelo financiamento de pesquisas, através do edital Ação Transversal Saneamento Ambiental e Habitação (2009);

A CAPES e o CNPq pela cessão de Bolsas de Estudo;

A SANEPAR estimuladora de pesquisa relativas ao saneamento, desde sempre.

Obrigado!

miguel.dhs@ufpr.br

