

CONSTRUÇÃO DE MINIESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO E REUSO DE ÁGUAS EM TUBOS PVC DO TIPO RIB LOC

Ederaldo Godoy Junior

Dep. de Energia da UNESP– Guatinguetá e Departamento de Engenharia Mecânica da UNITAU
Av. Daniel Danelli, s/n , CEP 12060-440, Taubaté, SP, godoyjr@unitau.br ou godoyjr@feg.unesp.br

José Luz Silveira

Prof. do Departamento de Energia da UNESP–Guatinguetá,
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 ,CEP 12000-000 – Guatinguetá – SP,
jose luz@feg.unesp.br

Giorgio Eugênio Oscare Giacaglia

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté - UNITAU
Av. Daniel Danelli, s/n , CEP 12060-440, Taubaté, SP, giorgio@unitau.br

Pedro Magalhães Sobrinho

Prof. do Departamento de Energia da UNESP–Guatinguetá,
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 ,CEP 12000-000 – Guatinguetá – SP,
sobrinho@feg.unesp.br

Resumo. *O presente trabalho é sobre o desenvolvimento e a construção de uma miniETERA (miniestação de tratamento de esgoto e reuso de águas) com aproveitamento do biogás produzido, confeccionada em chapas e tubos de PVC de diâmetros de até 2.500mm, adesivo de PVC e epóxi e, concreto armado. A miniETERA opera por processo anaeróbio-aeróbio-anóxico. A parte anaeróbia é composta por meio de três biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente em manto de lodo, dispostos em série, formado cascata e com sistema de separação de fases em formato helicoidal. A parte aeróbia anóxia é composta por meio de um reator aeróbio-anóxico tubular com aeração do tipo bolha fina. A miniETERA é de fácil construção e de baixo custo operacional, quando comparada com os sistemas disponíveis no mercado. A parte anaeróbia dispensa o uso de qualquer elemento eletro-mecânico para o seu acionamento, utilizando-se apenas da força da gravidade e da ação de microorganismos. A eficiência do sistema anaeróbio no tocante a remoção da carga orgânica do esgoto é em média 82%. A maior escala de uma miniETERA, possui capacidade para tratamento do esgoto de 1200 pessoas. Como as miniETERAs são modulares, no caso de um aumento na vazão do efluente, basta instalar outra miniETERA em paralelo. Também, foi desenvolvida uma técnica de fixação de chapas de PVC na parte inferior de lajes de concreto, visando proporcionar estanqueidade a gases e resistência aos agentes corrosivos do esgoto e do biogás, além de servir como molde para a concretagem da laje. A técnica de construção é bastante oportuna uma vez que concilia saneamento de esgoto e produção de energia renovável. Como o sistema de construção promove estanqueidade e resistência à corrosão, não oferece risco algum de contaminação do lençol freático.*

Palavras-chave: *biodigestor anaeróbio, reator aeróbio-anóxico, biogás, PVC, reuso de águas*

1. INTRODUÇÃO

Ao sistema foi dado o nome de miniETERA (miniestação de tratamento de esgoto e reuso de águas), a miniETERA opera por meio de processo anaeróbio seguido de processo aeróbio-anóxico. A parte anaeróbia é composta por três biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente em manto de lodo, dispostos em série formando cascata e, com separador de fases em formato helicoidal. A parte aeróbia-anóxia é composta por um sistema de reator aeróbio de lodo ativado por aeração por bolha fina em formato tubular com câmara anóxia. Ambos os sistemas foram construídos utilizando basicamente PVC na forma de chapas, tubos, conexões e adesivos, resina epóxi e concreto armado para conferir resistência mecânica à base e à tampa dos reatores.

No tocante a eficiência do sistema, a parte anaeróbia possui uma eficiência média de remoção da carga orgânica do esgoto de 80% sem a utilização de equipamentos eletromecânicos.

Segundo o “Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgoto 2001” da BIO - Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, apenas 25,6 % da população brasileira possui esgoto tratado, o restante é descartado *in natura* nos nossos corpos d'água, causando doenças hidrotansmissíveis e a eutrofização das águas.

Segundo Van Haandel & Lettinga⁽¹⁾ e Von Sperling⁽²⁾, no sistema integrado anaeróbio-aeróbio, o efluente é tratado, primeiramente, por meio de reatores anaeróbios de fluxo ascendente em manto de lodo; em seguida passa por reator aeróbio para pós-tratamento de polimento. Nesse processo é gerado um volume de lodo residual cerca de 3/4 menor do que no gerado pelo lodo ativado, pois grande parte desse lodo é volatilizado na forma de biogás combustível, que pode ser seguramente aproveitado por sistemas de cogeração de energia, para diminuir os custos operacionais no tocante à compra de energia elétrica das concessionárias.

2. OBJETIVOS

Divulgar a técnica de construção de miniETERAs ecoeficientes, utilizando como materiais básicos o PVC e o concreto armado.

Colaborar com a descentralização do tratamento de esgoto sanitário urbano e o aproveitamento energético do biogás, uma vez que ele *in natura* é um gás estufa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando conferir estanqueidade a líquidos e gases, e ainda, resistência à corrosão causada pelo esgoto e seus gases de putrefação, foi utilizado na construção da miniETERA, chapas e tubos de PVC e, adesivos de PVC e de epóxi.

Também foi utilizado concreto armado para conferir resistência mecânica nas bases e nas campânulas dos biodigestores de forma a suportar o peso de um operador, uma vez que os tubos de PVC utilizados são auto-portantes e, as chapas de PVC que revestem a parte interna da campânula não.

Vale a pena salientar que todo o processo de construção e soldagem dos biodigestores ocorreram a frio e, utilizando-se apenas ferramentas portáteis como serra circular e furadeira de mão.

Basicamente na construção foram utilizados tubos plásticos em PVC de diâmetros que vão de 100 mm até 2.500 mm.

3.1. Configuração da miniETERA

A miniETERA opera por meio de processo conjugado anaeróbio-aeróbio-anóxico. A parte anaeróbia é composta por um sistema otimizado de três biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente em manto de lodo, dispostos em série formando cascata e, com separador de fases em formato helicoidal. A parte aeróbia-anóxia é composta por um sistema de reator aeróbio de lodo ativado por aeração por bolha fina

em formato tubular com câmara anóxica. O sistema anóxico (sem ar, mas na presença de nitrato) promove tratamento terciário no efluente, removendo parte do nitrato e do fosfato presente no efluente. A miniETERA implantada é mostrada na Figura 1.

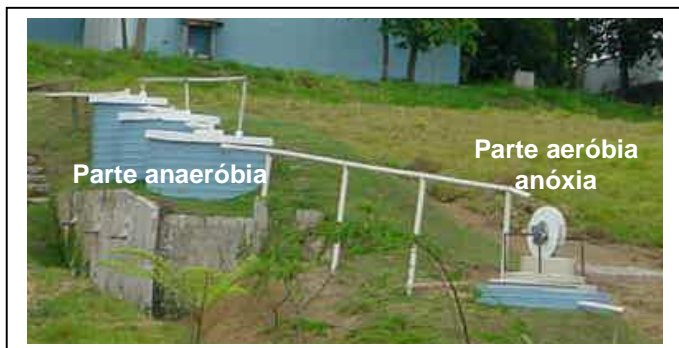


Figura 1. Foto da miniETERA 70m³.

3.1.1. Configuração geral da miniETERA

A Figura 2 mostra a configuração geral da miniETERA associada ao sistema de cogeração a biogás.

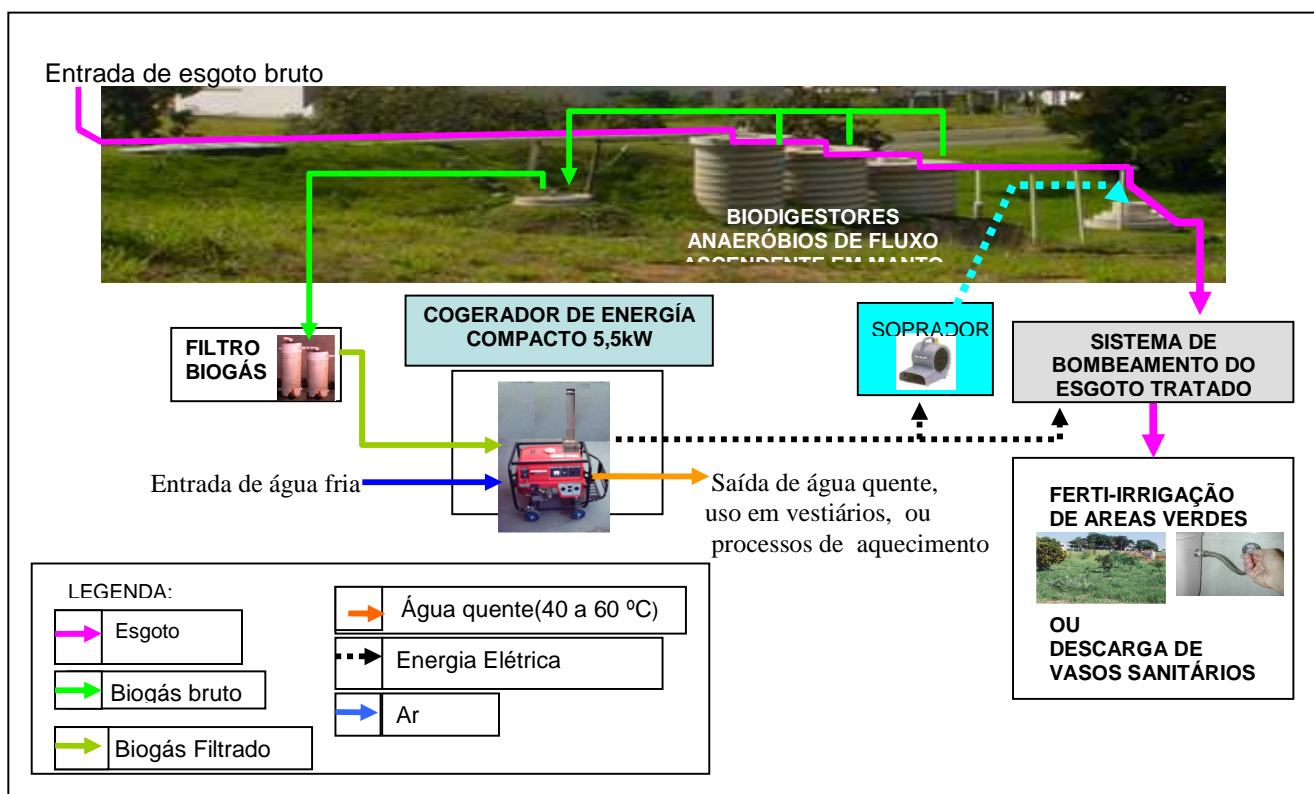


Figura 2. Fluxograma da veiculação das águas, do biogás, do ar e da energia elétrica na miniETERA

3.1.2. Sistema otimizado de biodigestores anaeróbios

A descrição detalhada do processo de tratamento de efluentes no sistema otimizado de biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente em manto de lodo, é ilustrada na Figura 03: 1º) o efluente pré-tratado (desengordurado, gradeado e desarenado) é alimentado por meio de uma tubulação na parte inferior do manto de lodo do primeiro biodigestor; 2º) conforme o efluente atravessa o manto de lodo (zona de digestão), os microorganismos anaeróbios presentes nesse lodo floculento, digerem a matéria

orgânica presente no efluente, produzindo mini bolhas de biogás na superfície dos grânulos de lodo; aumentando sua flutuabilidade, 3º) dependendo da velocidade ascendente do fluxo do efluente, o manto de lodo se expande, e alguns grânulos gaseificados são arrastados em direção à superfície; 4º) na zona de separação de fases sólida-líquida-gasosa, por meio de um separador de fases em formato helicoidal, o efluente é direcionado para a saída do biodigestor, os grânulos gaseificados são degaseificados nos separador de fases, provocando a sua precipitação e retorno ao manto de lodo, as bolhas de biogás são direcionadas para a campânula de coleta. 5º) em seguida, o efluente atravessa os mantos de lodo e os sistemas de separação de fases dos dois outros digestores dispostos em série, formando cascata. A planta piloto do sistema em escala real que está em implantação, obteve uma eficiência média na remoção de DQO de 82%, operando com um tempo de retenção hidráulica de 12 horas e tratando um efluente que possuía uma DQO média de 1.500 mg/L de DQO.

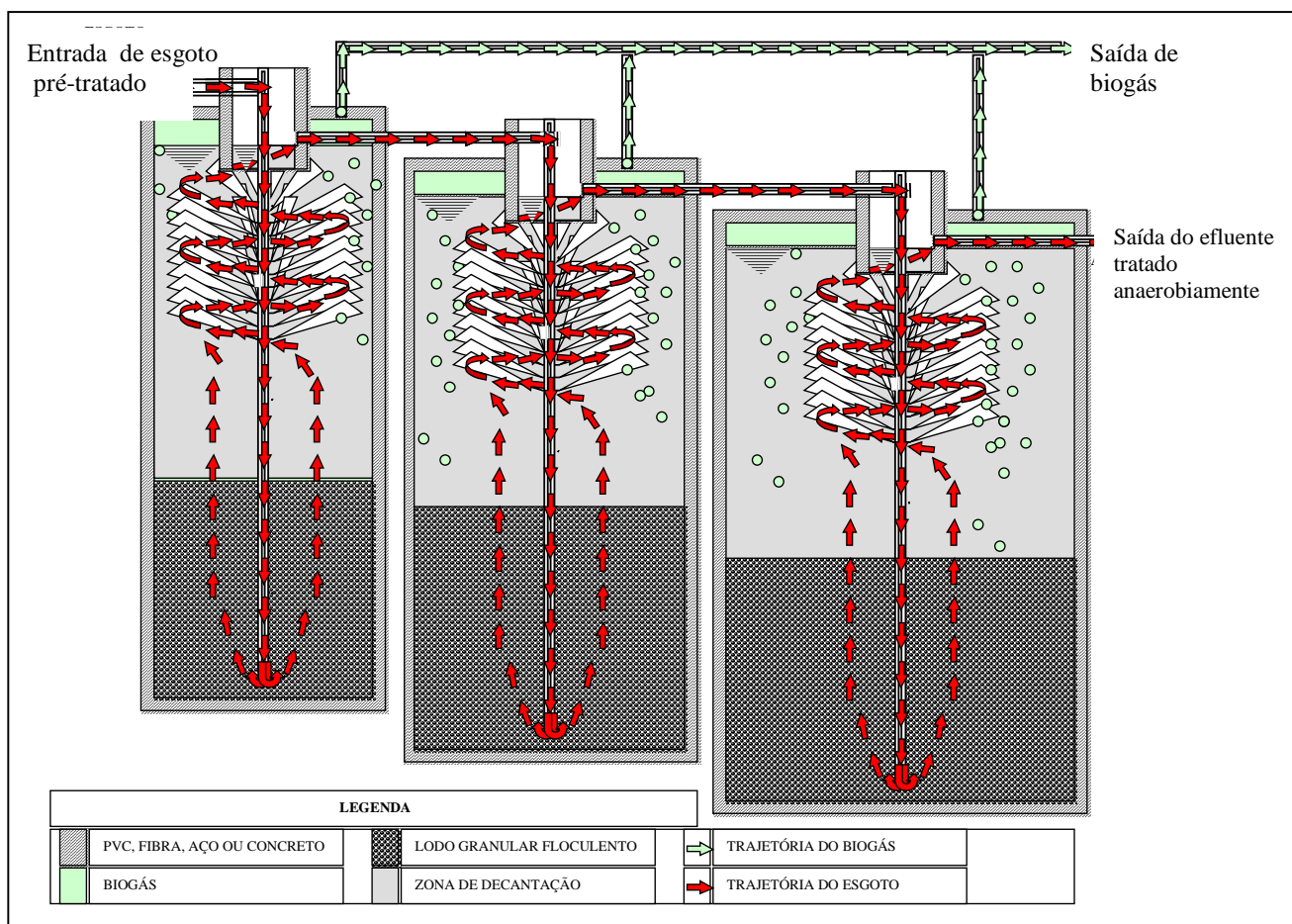


Figura 3. Desenho esquemático do Sistema Otimizado de Biodigestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente em Manto de Lodo, volume útil de 70 m³.

3.1.3. Sistema otimizado de biodigestor aeróbio e anóxico

A descrição detalhada do processo de tratamento de efluentes, no Sistema Otimizado de Biodigestores Aeróbios e Anóxico Tubular Vertical com Aeração por Bolha Fina, é ilustrado na Figura 04, onde: 1º) o efluente tratado anaerobiamente, é alimentado na parte superior do tubo central e, em fluxo descendente, ele atravessa um manto de lodo aeróbio com aeração por bolha fina e por meio de uma passagem na parte inferior do tubo central, entra na parte inferior de um tubo de maior diâmetro, em fluxo ascendente, atravessa o manto de lodo aeróbio desse segundo tubo e entra numa zona de

decantação; 2º) os microorganismos aeróbios presentes nesse lodo, digerem a matéria orgânica que não foi digerida no sistema anaeróbio, além de promover a nitrificação do nitrogênio amoniacal em nitrato; 3º) em seguida, o efluente é alimentado na parte superior de um terceiro tubo de diâmetro maior que o segundo, atravessa em sentido descendente um manto de lodo anóxico, entra na parte inferior de um quarto tubo de diâmetro ainda maior que os tubos anteriores, atravessa em sentido ascendente o manto de lodo anóxico do quarto tubo, passa pela zona de decantação e é conduzido para fora do sistema aeróbio e anóxico; 4º) os microorganismos anóxicos presentes nesse lodo, desnitrificam os nitratos na forma de nitrogênio gasoso, e removem parte do fósforo na forma de biomassa bacteriana do lodo.

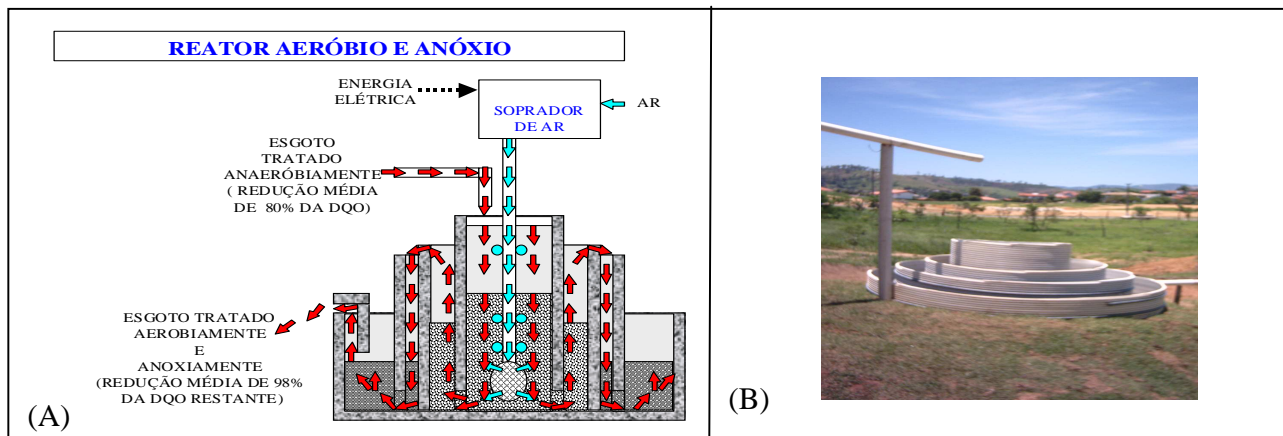


Figura 4. (A) Desenho esquemático do Sistema Otimizado Biodigestor Aeróbio e Anóxico Tubular Vertical com Aeração Tipo Bolha Fina, pós-tratamento do efluente tratado anaerobiamente, (B) Foto do sistema aeróbio-anóxico.

3.2. Detalhes construtivos da miniETERA em PVC

Os detalhes construtivos da miniETERA em PVC são ilustrados pela seqüência de fotos da construção e dos desenhos apresentados por meio das Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12.



Figura 5. Seqüência de fotos da preparação do terreno e chegada dos tubos em PVC.



Figura 6. Seqüência de fotos da acomodação dos tubos, da vedação do fundo dos biodigestores, do ensaio de tancagem e da preparação da campânula.



Figura 7. Seqüência de fotos do corte das chapas em PVC, sua montagem e colagem nos tubos de PVC tipo Rib Loc.

Na Figura 7 ilustra-se o molde em maderit, onde é acomodada a as chapas de PVC para a construção da tampa dos biodigestores anaeróbios, a sustentação dos moldes em maderit, foi feita por meio de pontaletes para moldagem de lajes em tubos de aço desmontáveis.

Na Figura 8 são mostrados os detalhes de construção do artefato para fixação das chapas de PVC na parte inferior da laje.

A Figura 9 mostra e descreve o procedimento de colagem do artefato na chapa de PVC.

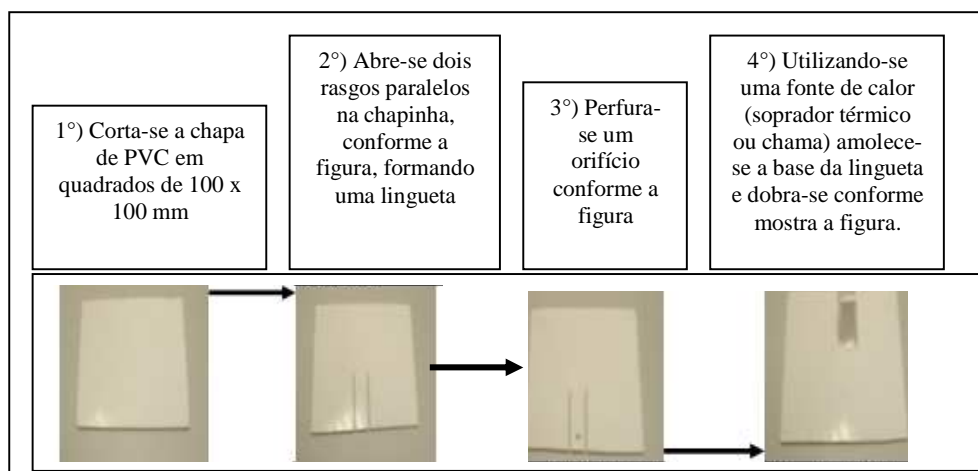


Figura 8. Fotos da seqüência de fabricação dos sistemas de fixação das chapas de PVC no concreto armado para estanqueidade e proteção corrosiva contra o gás sulfídrico presente no biogás

PROCEDIMENTO DE COLAGEM DO DISPOSITIVO NA CHAPA DE PVC:

1º) Limpa-se a superfície da chapa de PVC e a superfície do fixador que se deseja colar, com a solução limpadora;

2º) Aplica-se a cola nas duas superfícies;

3º) Uni-se as duas superfícies para efetivar a colagem.

PROCEDIMENTO DE FIXAÇÃO DO DISPOSITIVO NO CONCRETO ARMADO:

1º) Passa-se o fio de arame recozido através do orifício da lingueta do dispositivo e em volta da barra de aço, com um alicate troce-se o arame

Foto do sistema de fixação da chapa de PVC na laje de concreto armado.

Legenda:

- 1 = Dispositivo fixador;
- 2 = Solução limpadora da superfície em PVC;
- 3 = Adesivo PVC;
- 4 = Arame recozido.

Figura 9. Fotos e descrição do procedimento de fixação do artefato na chapa de PVC e sua fixação nas ferragens da laje

A Figura 10 mostra a foto e o desenho esquemático do artefato fixado laje.

Na Figura 11, é mostrada a foto do sistema separador de fases sólida-líquida-gasosa, que tem a função de separar o biogás do efluente e do lodo granular flocculento, do biodigestor anaeróbico de fluxo ascendente em manto de lodo.

Na Figura 12, é ilustrada a seqüência de fotos da concretagem da tampa dos biodigestores anaeróbios e dos ensaios de tancagem e estanqueidade a gases.

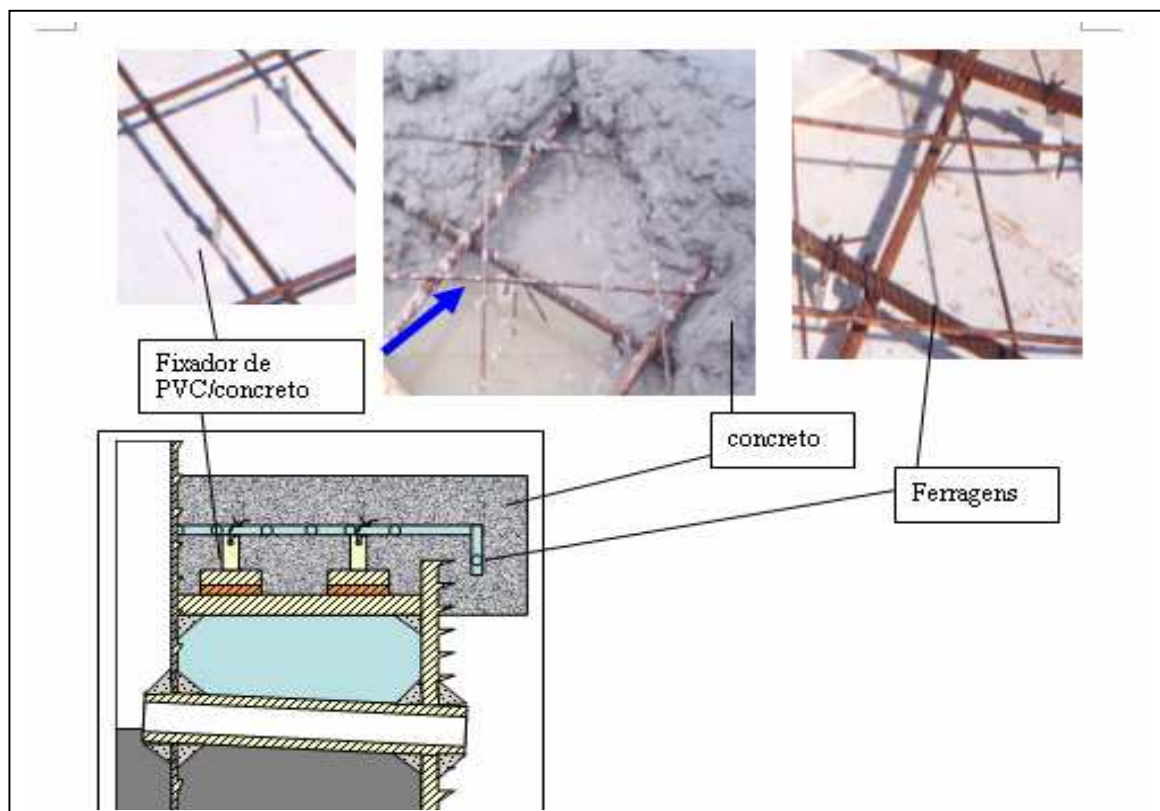


Figura 10. Foto e desenho esquemático do artefato fixando a laje ao PVC.

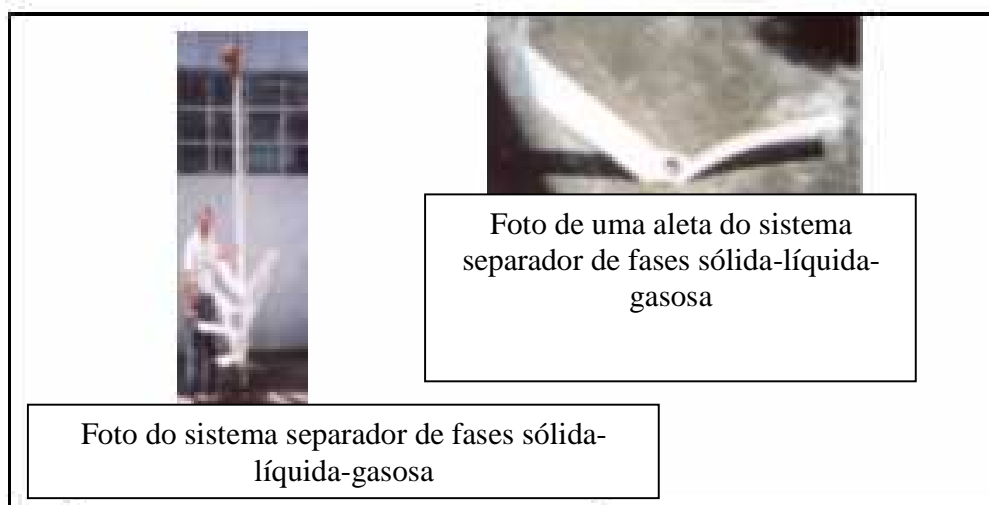


Figura 11. Foto do sistema de separação de fases sólida-líquida-gasosa em PVC

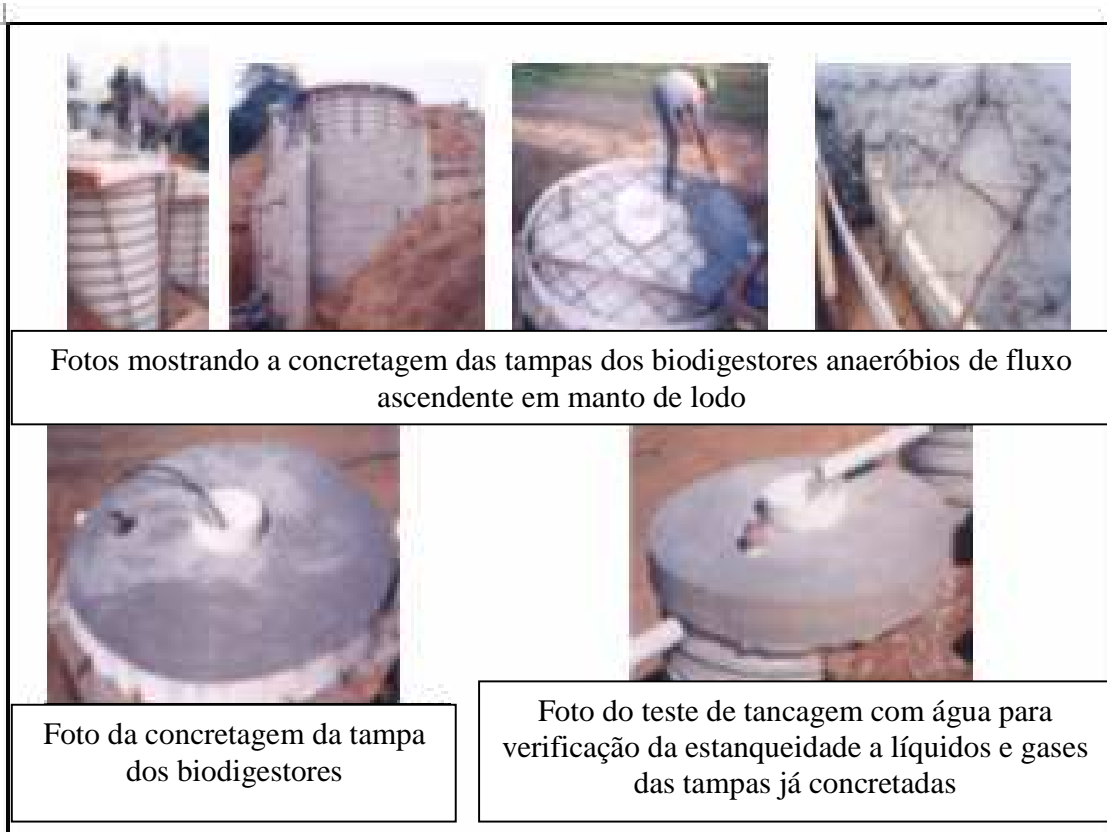


Figura 12. Foto da concretagem da tampa dos biodigestores anaeróbios e dos ensaios de tancagem e estanqueidade a gases.

3.3. Análise econômico da implantação da miniETERA

A miniETERA implantada, possui um volume útil de 70 m³/dia, sua capacidade é para o tratamento do esgoto produzido por uma população aproximada de 1.200 habitantes. Esse sistema será comparado com dois casos: o primeiro, caso 1 - sistema tradicional por lodo ativado; o segundo, caso 2 - sistema integrado anaeróbico-aeróbio-anóxico. As Figuras. 13, 14 e 15, ilustram o funcionamento nos três casos.

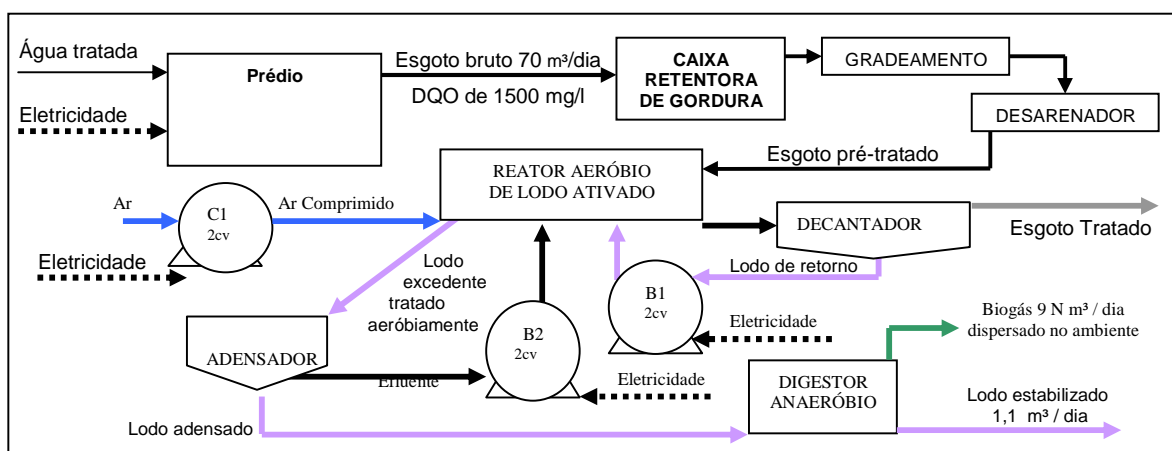


Figura 13. Esquema de funcionamento do sistema tradicional por lodo ativado.

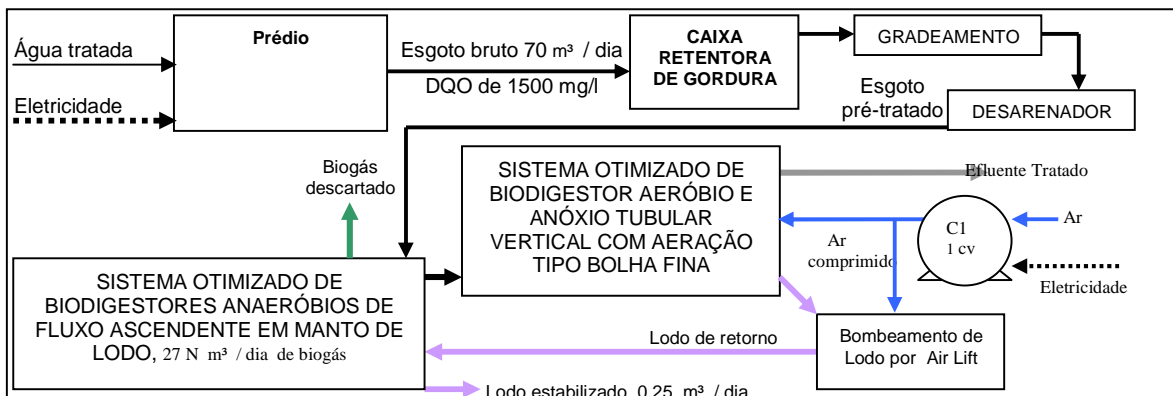


Figura 14. Tratamento Anaeróbio-Aeróbio-Anóxico.

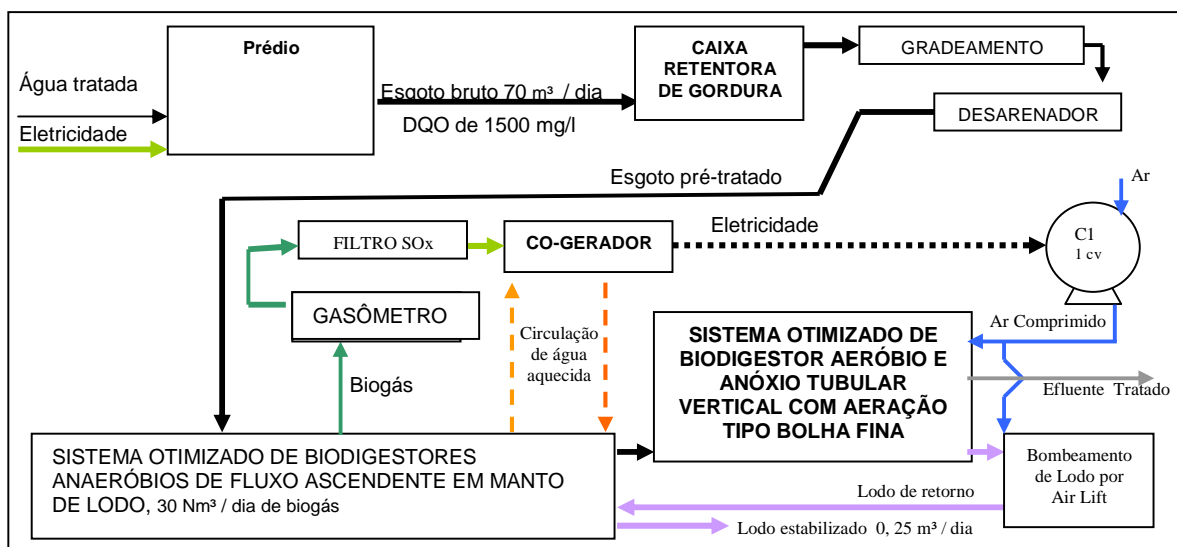


Figura 15. Tratamento anaeróbio-aeróbio-anóxico, com aproveitamento do biogás e reuso do efluente tratado.

Foram adotados os seguintes valores para os dados: $P_{el} = 0,075$ US\$/kWh; $P_{tl} = 5$ US\$/m³; DQO média do esgoto de 1500 mg/l; $r = 12\%$ aa; $H = 8.760$ h/ano; custo de manutenção para o sistema de lodo = 0,003% do Ipt; custo de manutenção para o sistema de RAFAs = 0,0001% do Ipt; custo de manutenção do sistema Cogenerador = 0,003% do Ipt; $P_{et} = 0,650$ US\$/m³ (tarifa SABESP). Esses valores foram dimensionados em base aos locais onde serão instaladas as unidades de estudo em suas configurações características. A produção de cerca de 12 m³ de biogás por dia é suficiente para o funcionamento do microcogenerador por apenas 4 horas. Sendo assim, optamos por acioná-lo das 3:00 às 7:00 horas para fornecimento de energia elétrica para a parte aeróbia da miniETERA e água quente para aquecimento dos RAFAs; durante o restante das horas do dia, energia elétrica, requerida pela parte aeróbia, será fornecida pela concessionária.

O custo de implantação é definido como o custo de construção das plantas mais os custos dos equipamentos eletromecânicos. O custo de operação é definido como o custo dos insumos mais os serviços para o destino final do efluente tratado e do lodo excedente. O custo estimado da planta instalada (Ipl), compreende o custo das instalações civis, dos equipamentos, do cogenerador e do sistema de ferti-irrigação, quando for o caso.

Tabela 01. Dados das configurações das mini-ETEs, conforme as Figuras 3, 4 e 5.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Produção de biogás [Nm³/dia]	9	30	30
Qeb [m³/dia]	70	70	70
Pl [m³/dia]	1,10	0,25	0,25
Ptl = Preço do transporte do lodo gerado por m³ de esgoto tratado [US\$/m³]	0.0310	0.0068	0.0068
Potência dos equipamentos [cv] e utilização diária [horas]	C1 = 2 ; (24 horas) B1 = 2 ; (6 horas) B2 = 2 ;(12 horas)	C1 = 1 ; (24 horas)	C1 = 1 ; (24 horas)
Ereq diária dos equipamentos [kW]	C1 = 35,8 B1 = 8,95 B2 = 18,9 62,66	C1 = 20,00 20,00	C1 = 20,00 20,00
Total			
Lodo ativado = 60,000.00		RAFAs = 30,000.00	RAFAs = 30,000.00
Ipl [US\$]		Aeróbio-Anóxico = 15,400.00 Fertirrigação = 2,000.00	Aeróbio-Anóxico = 15,400.00 Fertirrigação = 2,000.00 Cogerador importado = 9,000.00
Total	60,000.00	53,800.00	62,800.00
Lodo ativado = 0.333		RAFAs = 0.003	RAFAs = 0.003
CmETE [US\$/m³]		Aeróbio-Anóxico = 0.18 Fertirrigação = 0.01	Aeróbio-Anóxico = 0.18 cogerador = 0.29 Fertirrigação = 0.01
Total	0.333	0.1895	0.4894

Temos então que:

$$Cet = \frac{Ipt * F}{H * Qeb} + CoETE + CmETE \quad \text{equação (1)}$$

onde:

$$F = \frac{q^k * (q-1)}{q^k - 1} \quad \text{equação (2)}$$

$$q = 1 + \frac{r}{100} \quad \text{equação (3)}$$

Para o caso 1 e 2, sem cogeração, teremos:

$$R = H * \frac{Qeb}{24} * (Pet - Cet) \quad \text{equação (4)}$$

Para o caso 3, com cogeração, teremos:

$$R = H * \frac{Qeb}{24} * (Pet - Cet) \quad \text{equação (5)}$$

Para o caso 1, Tratamento Convencional (Aeróbio por lodo ativado), teremos:

$$CoETE = \frac{Ereq * Pel}{Qeb} + Ptl = 0,87 \text{ US$/m}^3 \quad \text{equação (6)}$$

Para o caso 2, Tratamento Alternativo (Anaeróbio-Aeróbio-anóxico), teremos:

$$\text{CoETE} = \frac{E_{\text{req}} * P_{\text{el}}}{Q_{\text{eb}}} + P_{\text{tl}} = 0,224 \text{ US\$/m}^3 \quad \text{equação (7)}$$

Para o caso 3, Tratamento Alternativo (Anaeróbio-Aeróbio-anóxico + Cogrador + Reuso), teremos:

$$\text{CoETE} = \frac{-(E_p * 4/24 - E_{\text{req}}) * P_{\text{el}}}{Q_{\text{eb}}} + P_{\text{tl}} = 0,087 \text{ US\$/ m}^3 \quad \text{equação (8)}$$

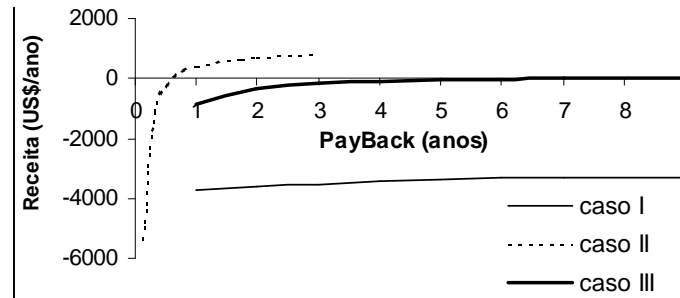


Figura 16 – Gráfico comparativo entre os três casos: Receita (US\$/ano) versus *payback* (anos).

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Observa-se da Figura 16 que o caso 1 (Lodo ativado convencional) é praticamente inviável, pois sua receita será sempre negativa.

No caso 2 (RAFAs aquecidos por energia solar, seguido de pós tratamento por lodo ativado) o investimento se amortiza em sete meses.

No caso 3 (RAFAs aquecidos por energia solar, seguido de pós tratamento por lodo ativado e associado a sistema de cogeração para aproveitamento *in situ* do biogás produzido) que considera a queima do biogás, o investimento se amortiza em sete anos, podendo este caso ser interessante do ponto de vista da oferta de energia elétrica.

5. CONCLUSÕES

Para o caso 1, uma primeira conclusão leva a crer que praticamente o sistema é inviável economicamente;

O caso 2, com um *payback* de sete meses, se mostra como um sistema extremamente vantajoso em termos econômicos, pois seu custo operacional é bastante reduzido, além de gerar cerca de 75% a mesmos de lodo que no caso 1.

O caso 3 possui o maior custo de implantação, devido ao alto custo do sistema cogrador que atualmente é importado e não é encontrado comercialmente numa potência menor, porém possui o menor custo operacional, podendo num futuro próximo, ser totalmente nacionalizado e encontrado em menores potências, ou aguardando uma provável expansão da planta.

No caso de uma ETE de industria alimentícia ou agro-indústria, com efluente com maior concentração orgânica, os custos operacionais tendem a diminuir com o aumento na produção de biogás, resultando até em um superavit elétrico que poderá ser aproveitado em processo industrial local.

A implantação do projeto é bastante interessante do ponto de vista ecológico e energético, pois é uma alternativa que concilia saneamento e produção de energia.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Energia da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Guaratinguetá, e ao Dep. de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, pelo apoio logístico.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de Doutorado e de Produtividade em Pesquisa.

Às empresas TIGRE S.A. Tubos e Conexões e TRIGAS Ltda pelo patrocínio da pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

(1) VAN HAANDEL, A.C., LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgoto – Um Manual Para Regiões de Clima Quente**, V.1, Campina Grande, PB, Universidade Federal da Paraíba, 1991.

(2) VON SPERLING, M., **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados**, V.4, Belo Horizonte, MG, Dept.de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 416p.

CONSTRUCTION OF MINISTATIONS OF TREATMENT OF SEWER AND REUSE OF WATERS IN TUBE PVC RIB LOC

Ederaldo Godoy Junior

Dep. de Energia da UNESP– Guatinguetá e Departamento de Engenharia Mecânica da UNITAU
Av. Daniel Danelli, s/n , CEP 12060-440, Taubaté, SP, godoyjr@unitau.br ou godoyjr@feg.unesp.br

José Luz Silveira

Prof. do Departamento de Energia da UNESP–Guaratinguetá, joseluz@feg.unesp.br

Giorgio Eugênio Oscare Giacaglia

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté - UNITAU, giorgio@unitau.br

Abstract. *The present work is on the development and the construction of one miniSTSRW (ministration of treatment of sewer and reuse of waters) associate to a system of cogeneration of energy biogas. MiniSTSRW was confectioned in plates and pipes of PVC of diametre of until 2.500mm, adhesive of PVC and epox e, armed concrete. It operates for process anaerobic-aerobic organism-anoxic. The anaerobic part is composed by means of three anaerobic bioreactor of up-flow in silt mantle, made use in series, formed cascade and with system of separation of phases in helical format. The anoxic aerobic part is composed by means of a reactor tubular aerobic organism-anoxic with aeration of the type fine bubble. MiniSTSRW is of easy construction and low operational cost, when compared with the available systems in the market. The anaerobic part excuses the use of any electromechanical element for its drive, using itself only of the force of the gravity and the action of microorganisms. The efficiency of the anaerobic system in regards to removal of the organic load of the sewer is in average 82%. The biggest scale of one miniSTSRW, possess capacity for treatment of the sewer of 1200 people. As miniSTSRW they are modular, in the case of an increase in the outflow of the effluent one, is enough to install another one miniSTSRW in parallel. Also, one technique of plate setting was developed of PVC in concrete the inferior flagstone part, having aimed at to provide to estanq the gases and resistance to the corrosive agents of the sewer and biogas, besides serving as mold for the concretagem of the flagstone. The construction technique is sufficiently opportune a time that conciliates sanitation of sewer and production of renewable energy. As the construction system promotes estanqueidade and resistance to the corrosion, it does not offer to risk some of contamination of the freatic sheet.*

Key-word: *bioreactor anaerobic-aerobic-anoxic in PVC, biogas, reuse of waters*