

## II-251 - TRATAMENTO DE ESGOTOS E RESÍDUOS SÓLIDOS: AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM COMUNIDADES ISOLADAS

**Ana Beatris Souza de Deus Brusa<sup>(1)</sup>**

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Coordenadora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

**Roberta de Moura Lisbôa<sup>(2)</sup>**

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

**Michéli Beatriz Lenz<sup>(3)</sup>**

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

**Mateus Henrique Schmidt<sup>(4)</sup>**

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

**Jéssica Ribeiro Fontoura<sup>(5)</sup>**

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** UFSM/CT – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Av. Roraima, 1000 – Cidade Universitária – Bairro Camobi – Santa Maria – RS – CEP 97105-900 – Tel: +55 (55) 3220-9667 – email: absdeus@gmail.com

### RESUMO

A redução da qualidade das águas dos recursos hídricos tem mostrado a importância e a necessidade urgente de buscar alternativas para evitar o descarte de esgotos sanitários “in natura” e resíduos sólidos em cursos d’água. A dificuldade de tratar esses resíduos é ainda maior em comunidades isoladas, pois este está associado diretamente com os custos na construção do sistema, sua operação e manutenção. Sendo assim, deve-se partir para alternativas que possam reduzir estes valores, mas que proporcionam a eficiência necessária da remoção dos poluentes. O presente trabalho apresenta os resultados parciais e a avaliação econômica do projeto Uso de Tecnologias Sustentáveis no Tratamento/Disposição Final de Resíduos Líquidos e Sólidos de Comunidades Isoladas, o qual propõe um sistema de tratamento, sustentável, de baixo custo e reduzida manutenção com o objetivo de mostrar que é possível tratar esgotos domésticos, evitando assim que esse efluente e parte dos resíduos sólidos sejam lançados inadequadamente no meio ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento Biológico de Esgoto, Alternativas Sustentáveis, Comunidades Isoladas, Avaliação Econômica.

### INTRODUÇÃO

A falta de saneamento básico faz com que o destino final do esgoto sanitário, muitas vezes em sua forma bruta, seja um curso d’água. Em consequência desse lançamento, a qualidade da água dos recursos hídricos é prejudicada, comprometendo a saúde pública e o meio ambiente. Uma alternativa é o tratamento dos esgotos, tendo por finalidade eliminar ou reduzir nutrientes e os microorganismos a uma densidade sanitariamente segura evitando a poluição do solo e de mananciais de abastecimento e o contato de vetores com as fezes, evitando assim, a transmissão de doenças e a degradação ambiental.

Já os problemas relativos ao tratamento e à disposição final de resíduos sólidos constituem questões cuja solução é de grande interesse e necessidade das concessionárias de saneamento, uma vez que, o inadequado gerenciamento acarreta impacto, entre eles a poluição das águas, do solo e do ar, bem como problemas de saúde pública.

Os municípios que apresentam coleta, tratamento e/ou disposição final dos esgotos e resíduos sólidos são de médio e grande porte e esses serviços são realizados com grandes dificuldades devido, principalmente, ao custo elevado. No caso de municípios de pequeno porte a quantidade de obstáculos é maior ainda e em comunidades isoladas é, economicamente, inviável realizar tais serviços.

Diante desse quadro é justificável e urgente desenvolver tecnologias adequadas para o tratamento de esgotos e resíduos sólidos com alternativas de custo reduzido, de fácil construção, operação e manutenção, aliadas a preocupação com a qualidade ambiental, a qualidade de vida do ser humano e o uso racional dos recursos naturais, baseados nos princípios e conceitos da sustentabilidade.

A proposta desta pesquisa para tratar os efluentes consiste em um sistema de tratamento formado por Tanque Anaeróbio, Filtros Biológicos Aeróbios formados com espumas de polietileno e garrafas pet, Banhado Construído e posterior Reuso das Águas Residuais. Considerando as condições ambientais, econômicas e culturais do Brasil, esse tratamento para os esgotos domésticos e uso de material retirado dos resíduos sólidos é indicado, pois apresenta alta relação custo/benefício e eficiência significativa de poluentes.

Entre os objetivos desta pesquisa estão a apresentação de alternativas sustentáveis, simples, de baixo custo e de fácil implantação, operação e manutenção, possibilitando melhorar a qualidade do meio ambiente de comunidades isoladas - sem acesso a redes coletoras de esgoto e/ou coleta dos resíduos sólidos - para o tratamento/disposição final dos esgotos e resíduos sólidos gerados; e avaliação das condições de operação, técnicas e econômicas do sistema de tratamento formado por Tanque Anaeróbio, Filtro Biológico Aeróbio com diferentes materiais suporte, Banhado Construído e Reuso.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O sistema proposto para tratar os esgotos é formado pelas unidades Tanque Anaeróbio, Filtro Biológico Aeróbio com dois meios suportes, Filtros Biológico Aeróbio com três meios suportes mais macrófitas e Banhado Construído. Posteriormente será avaliada a possibilidade de reuso em culturas de milho. O esgoto sanitário utilizado para operar a Unidade Experimental de Tratamento de Esgotos (UETE) foi coletado após a grade grossa de limpeza manual da ETE Santa Maria / CORSAN. Em cada batelada são utilizados cerca de 120 litros de esgotos brutos.

Na unidade tanque anaeróbio ocorrem os processos de sedimentação, flotação e digestão, as partículas minerais sólidas sedimentam no fundo do tanque dando origem ao lodo. Na filtração biológica o afluente é lançado (aspergido) sobre o leito suporte ocorrendo a percolação deste através da camada de microorganismos aderidos ao leito, cuja função é dar suporte ao desenvolvimento destes. Como neste projeto buscamos alternativas de baixo custo e também uma opção para a reutilização dos resíduos sólidos nos filtros são utilizadas garrafas pet e espuma de polietileno. A seguir é apresentada uma breve descrição das etapas de tratamento e o sistema proposto, sendo que a alimentação dos tanques é feita por gotejamento.

- **Etapas 1** - Anaeróbia: Tanque Anaeróbio - O esgoto bruto permanece em um tanque fechado (2 bombonas de 60 litros) durante 48 horas.
- **Etapas 2** - Aeróbia: Tanque com leito suporte duplo (1 bombona de 100 litros). Após a passagem dos esgotos pelo tanque anaeróbio estes são direcionados para o tanque com leito suporte duplo (5 cm de brita nº 1 + 10 cm de brita nº 0) com tempo de detenção de 120 horas.
- **Etapas 3** - Aeróbia: Tanque com leito suporte triplo 1 (1 bombona de 100 litros). Após a passagem dos esgotos pelo tanque com leito suporte duplo estes são direcionados para o tanque com leito suporte triplo 1 (5 cm brita nº 1 + 5 cm material plástico e espuma de polietileno + 5 cm brita nº 0) com tempo de detenção de 120 horas. O material plástico empregado é constituído por tampas de garrafas pet e espuma de polietileno (geralmente, presente em caixas/embalagens de eletrodomésticos).
- **Etapas 4** - Aeróbia: Tanque com leito suporte triplo 2 (1 bombona de 100 litros). Após a passagem dos esgotos pelo tanque com leito suporte triplo 1 estes são direcionados para o tanque com leito suporte triplo 2 (5 cm brita nº 1 + 5 cm material plástico + 5 cm brita nº 0) e macrófitas aquáticas (Macrófita utilizada: Eichhornia crassipes - Aguapé) com tempo de detenção de 120 horas. O material plástico utilizado é constituído por garrafas pet cortadas em tiras.
- **Etapas 5** - Aeróbia: Banhado Construído (1 bombona de 100 litros). Os esgotos parcialmente tratados passam por um substrato inerte onde estão fixadas as macrófitas aquáticas. O tempo de detenção previsto é de 240 horas.
- **Etapas 6**: Aeróbia: Reuso. O efluente oriundo do Banhado Construído será utilizado na irrigação de cultura de milho.

- Etapa 7: Aeróbia: Compostagem. A compostagem será realizada com o lodo do tanque anaeróbio, as macrófitas aquáticas (excesso e mortas) e os resíduos sólidos orgânicos, o líquido (lixiviado) gerado na compostagem será direcionado ao primeiro filtro biológico aeróbio.

## RESULTADOS

### Avaliação Qualitativa dos Efluentes

Durante cerca de dois meses foram realizadas diversas atividades relacionadas, diretamente, com as macrófitas: levantamento das macrófitas aquáticas disponíveis na área do campus da UFSM; coleta das macrófitas; identificação das espécies; pesagem das macrófitas; aclimação das macrófitas a um novo ambiente, inicialmente, com água potável e pequena quantidade de esgotos; pesagem das macrófitas após esta aclimação; colocação das macrófitas em tambores somente com esgoto; pesagem das macrófitas. Quando se verificou que as macrófitas não alteravam mais a sua pesagem iniciou-se o funcionamento da UETE.

Os resultados das análises dos parâmetros foram avaliados com base nas Resoluções do CONAMA n.º 357/2005 e n.º 430/2011 que, respectivamente, classifica os corpos de água e fornece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes dos parâmetros estabelecidos pela resolução federal.

O Quadro 1 apresenta os valores médios dos parâmetros analisados nas saídas das unidades da UETE.

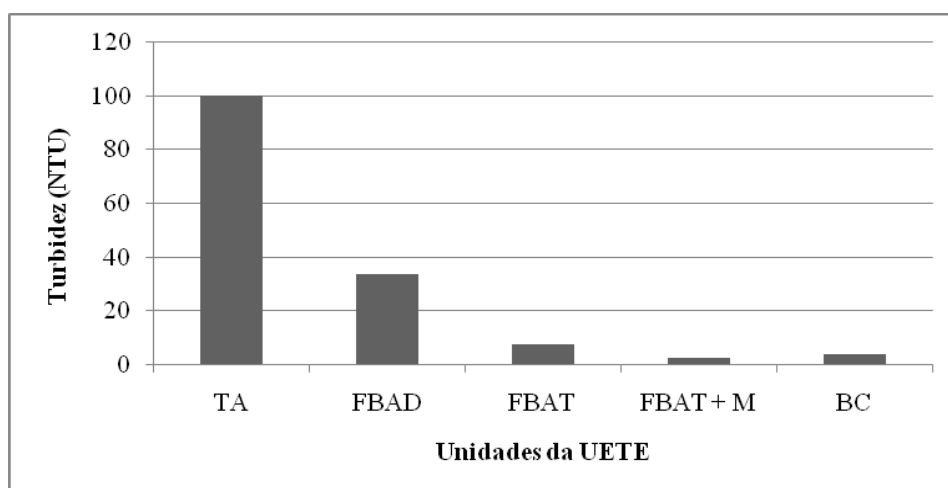
**Quadro 1 – Valores médios dos parâmetros analisados nas saídas das unidades da UETE.**

Parâmetro Avaliado	TA	FBAD	FBAT	FBAT + M	BC
Condutividade (µs/cm)	742,0	642,0	642,0	660,0	721,0
pH	7,2	7,7	7,8	7,7	7,6
Turbidez (NTU)	100,0	33,5	7,4	2,5	3,8
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	228,0	86,0	73,5	15,0	10,0
Sólidos Totais (mg/L)	489,0	424,0	437,0	426,0	523,0
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	451,5	387,5	432,5	416,0	486,0
Sólidos Totais Suspensos (mg/L)	37,5	36,5	4,5	10,0	37,0
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	226,0	356,5	344,0	373,5	425,0
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	263,0	67,5	93,0	52,5	98,0

Obs.: TA - Tanque Anaeróbio, FBAD - Filtro Biológico Aeróbio Duplo, FBAT - Filtro Biológico Aeróbio Triplo, FBAT + M - Filtro Biológico Aeróbio Triplo + Macrófitas Aquáticas, BC – Banhado Construído.

Os sólidos totais voláteis presentes nas amostras coletadas na unidade tanque anaeróbio representam, cerca de 54%, dos sólidos totais. Essa quantidade de sólidos totais voláteis, associada às concentrações de DBO, indicam a presença de matéria orgânica, no entanto há quase que um equilíbrio com os sólidos inertes (sólidos fixos totais). Nas outras unidades a predominância dos sólidos totais fixos é expressiva, provavelmente, devido ao material utilizado nos filtros, exceto no banhado construído.

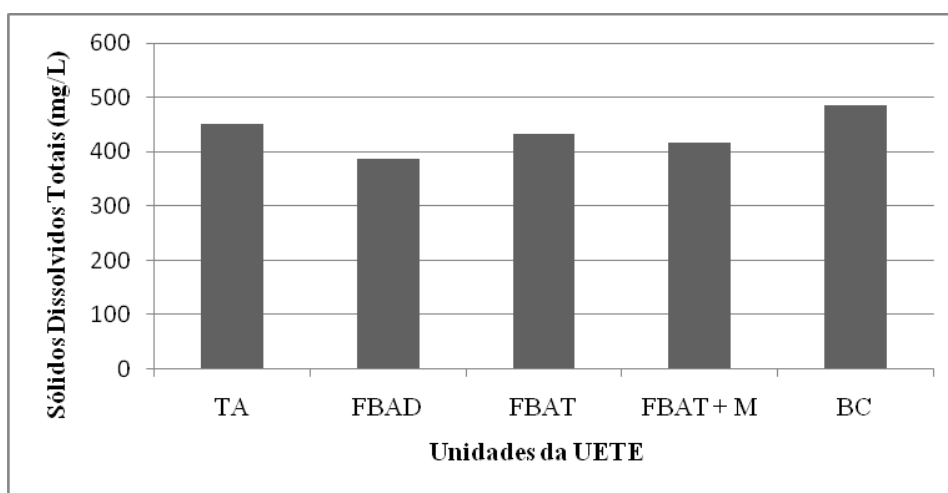
Na Figura 1 estão representados os valores médios para turbidez ao longo do tratamento. Observa-se que incrementos de Sólidos Suspensos Totais (SST) alteram o valor turbidez, exceto quando da presença das macrófitas, provavelmente, associado aos sólidos aderidos às raízes das macrófitas. A turbidez a partir do Filtro Biológico Aeróbio Duplo reduz bruscamente, com valores inferiores ao preconizado na Resolução CONAMA No 357/2005 para águas de classe 1.



**Figura 1 - Valores médios do parâmetro Turbidez em amostras coletadas nas unidades da UETE.**

Obs.: TA - Tanque Anaeróbio, FBAD - Filtro Biológico Aeróbio Duplo, FBAT - Filtro Biológico Aeróbio Triplo, FBAT + M - Filtro Biológico Aeróbio Triplo + Macrófitas Aquáticas, BC – Banhado Construído.

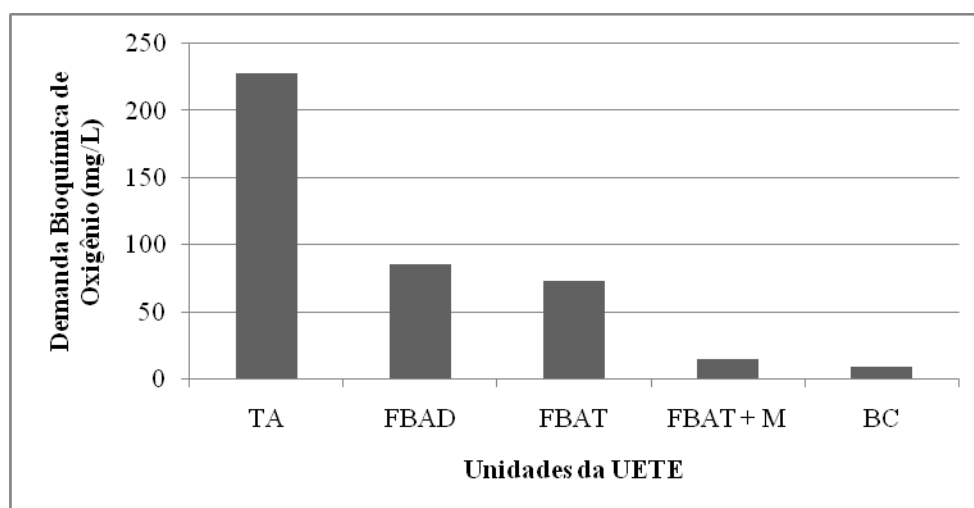
A Figura 2 mostra a variabilidade dos valores médios de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) ao longo da UETE. Verifica-se que há uma certa proporcionalidade entre os valores de condutividade e SDT, para um incremento no teor de SDT há um incremento no valor da condutividade. O teor médio de SDT é inferior aos 500mg/l proposto para águas doces de classe 1 (Resolução CONAMA n.º 357/2005).



**Figura 2 - Valores médios de Sólidos Dissolvidos Totais em amostras coletadas nas unidades da UETE.**

Obs.: TA - Tanque Anaeróbio, FBAD - Filtro Biológico Aeróbio Duplo, FBAT - Filtro Biológico Aeróbio Triplo, FBAT + M - Filtro Biológico Aeróbio Triplo + Macrófitas Aquáticas, BC – Banhado Construído.

Na figura 3 constam os valores médios para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ao longo do sistema. O padrão encontra-se dentro dos limites dispostos nas resoluções do CONAMA n.º 357/2005 e 430/2011.



**Figura 3 - Valores médios do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em amostras coletadas nas unidades da UETE.**

Obs.: TA - Tanque Anaeróbio, FBAD - Filtro Biológico Aeróbio Duplo, FBAT - Filtro Biológico Aeróbio Triplo, FBAT + M - Filtro Biológico Aeróbio Triplo + Macrófitas Aquáticas, BC – Banhado Construído.

Em termos médios, considerando o início do sistema (Tanque Anaeróbio) e o final (Banhado Construído) a eficiência de remoção média da DBO é de 95,6% e da turbidez de 96,2%. Observa-se que há um incremento na eficiência a partir da presença das macrófitas. Com base nestes valores pode-se confirmar a capacidade de remoção da carga orgânica através do sistema proposto, bem como mostrar a ocorrência do processo de clarificação, sendo este de fundamental importância para o reúso.

### Avaliação Econômica para Instalação da UETE em Comunidades Isoladas

O fator financeiro é o principal limitante para a construção, operação e manutenção de estações de tratamento de esgotos em comunidades isoladas. Diante desse quadro o presente trabalho apresenta uma avaliação do custo de construção das unidades de tratamento mostrando ser possível à implantação do sistema proposto nestas comunidades.

Inicialmente, foram pré-dimensionadas as unidades para o recebimento do afluente seguindo o preconizado nas normas técnicas *NBR 7229/1993: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos e pela NBR13969/1997: Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projeto, construção e operação* da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A seguir foi realizada uma estimativa de custos dos materiais utilizados para a construção das unidades do sistema. Os valores referentes à quantidade de material (tijolos, areia e cimento) e a mão de obra (pedreiro e servente) foram obtidos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI/IBGE) e o custo dos materiais empregados no Relatório de Insumos da Caixa Econômica Federal.

O quadro 2 apresenta as dimensões das unidades de tratamento do sistema proposto. No dimensionamento das unidades foram considerados os padrões de residências (Padrão Médio e Padrão Baixo) conforme estabelecido na NBR 7229/1993 e que cada residência possui 5 moradores (habitantes).

**Quadro 2 – Dimensões das Unidades de Tratamento.**

Padrão da Residência e Habitantes	Dimensões (L x B x H) (m) e Volume da Unidade (m <sup>3</sup> )		
	Tanque Anaeróbio (Tanque Séptico) (1 Unidade)	Filtro Biológico (3 Unidades)	Banhado Construído (1 Unidade)
Padrão Médio: 1 Residência 5 Habitantes	2,40 x 0,70 x 1,20 (m) 1,98 m <sup>3</sup>	1,50 x 0,75 x 1,20 (m) 1,30 m <sup>3</sup>	1,50 x 1,50 x 0,90 (m) 2,00 m <sup>3</sup>
Padrão Médio: 5 Residências 25 Habitantes	3,00 x 1,50 x 1,20 (m) 5,32 m <sup>3</sup>	3,60 x 1,50 x 1,20 (m) 6,50 m <sup>3</sup>	4,00 x 1,50 x 0,90 (m) 6,50 m <sup>3</sup>
Padrão Baixo: 1 Residência 5 Habitantes	2,20 x 0,70 x 1,20 (m) 1,83 m <sup>3</sup>	1,20 x 0,70 x 1,20 (m) 1,00 m <sup>3</sup>	1,75 x 1,20 x 0,90 (m) 2,00 m <sup>3</sup>
Padrão Baixo: 5 Residências 25 Habitantes	2,90 x 1,50 x 1,20 (m) 5,13 m <sup>3</sup>	2,70 x 1,60 x 1,20 (m) 5,00 m <sup>3</sup>	3,90 x 1,50 x 0,90 (m) 6,00 m <sup>3</sup>

Obs.: Conforme a NBR 7229/1993 para residências de padrão baixo a contribuição de despejos é de 100 litros/pessoa x dia, e para residências de padrão médio de 130 litros/pessoa x dia.

O quadro 3 mostra a estimativa do custo da construção das unidades de tratamento presentes no sistema proposto, considerando os valores estabelecidos no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI/IBGE).

**Quadro 3 - Estimativa dos Custos para a Construção das Unidades de Tratamento.**

Padrão da Residência e Habitantes	Custo por Unidade de Tratamento (R\$)			Custo Total do Sistema Proposto (R\$)	
	Tanque Anaeróbio (1 Unidade)	Filtro Biológico (3 Unidades)	Banhado Construído (1 Unidade)	R\$/Residência	R\$/Habitante
Padrão Médio: 1 Residência 5 Habitantes	200,82	431,04	168,45	<b>800,32</b>	<b>160,06</b>
Padrão Médio: 5 Residências 25 Habitantes	336,91	1.165,30	350,12	<b>1.852,32</b>	<b>74,09</b>
Padrão Baixo: 1 Residência 5 Habitantes	187,17	356,72	163,17	<b>707,06</b>	<b>141,41</b>
Padrão Baixo: 5 Residências 25 Habitantes	328,32	967,12	342,85	<b>1.638,29</b>	<b>65,53</b>

Obs.: Conforme a NBR 7229/1993 para residências de padrão baixo a contribuição de despejos é de 100 litros/pessoa x dia, e para residências de padrão médio de 130 litros/pessoa x dia.

## CONCLUSÃO

Considerando o desempenho do sistema de tratamento proposto pode-se afirmar que há uma remoção de poluentes satisfatória, em termos de matéria orgânica. Desse modo, o uso dessa tecnologia que apresenta baixo custo de implantação e operação, reduzida manutenção, baixos requisitos de área é evidenciada na medida em que se evita o despejo de esgotos sanitários e resíduos sólidos nos recursos hídricos não comprometendo suas nascentes ou o lençol freático. Além disso, o efluente tratado pode ser utilizado na rega de jardins, limpeza de banheiros e pátios, lavagem de carros, mostrando assim seu benefício ambiental/econômico. Considerando a eficiência obtida e o baixo custo de construção das unidades esta pode ser uma alternativa a ser empregada em comunidades isoladas para o tratamento dos esgotos e a redução de materiais (garrafas pet e espuma de polietileno dispostos em lixões ou cursos d'água), podendo contribuir para a redução do elevado déficit de tratamento de esgotos apresentado pelo setor de saneamento em âmbito nacional.

A implantação deste sistema em comunidades isoladas acarretará uma redução dos impactos ao meio ambiente, e benefícios diretos a saúde da população.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993
2. \_\_\_\_\_.NBR 13969: Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997
3. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). Panorama Nacional dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: < [http://www.jbrj.gov.br/a3p\\_site/pdf/ABRELPE/20Panorama/202001/RSU-1.pdf](http://www.jbrj.gov.br/a3p_site/pdf/ABRELPE/20Panorama/202001/RSU-1.pdf)>. Acesso em: setembro de 2012.
4. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Preços Insumos: Porto Alegre. [Brasília], agosto de 2012. Disponível em: < <http://www1.caixa.gov.br/>>. Acesso em: agosto de 2012.
5. Dyer, P. P. O. L.; Mancini, S. D. 2000. A Utilização de Resíduos de Pet Poli (Tereftalato de Etileno) como Agregado em Argamassa. Proceedings: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES, Recife - Pe/Brasil, 20 a 25 de set. de 2009. III-065, CD-ROM.
6. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: 2008. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil, 2010. Disponível em: < [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>. Acesso em: junho de 2012.
7. Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente.
8. Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente.