

## **CAPÍTULO 5**

### **RECURSO PARA TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO RURAL COM O USO DO BIODIGESTOR ANAERÓBIO MODELO EMBRAPA – REVISÃO**

**Daniel Viegas Gomes**

Trabalho de Conclusão de Curso 2025/2, curso de Engenharia Civil  
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso  
d.vvgomes@gmail.com

**Ana Fernanda Pereira Amorim**

Trabalho de Conclusão de Curso 2025/2, curso de Engenharia Civil  
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso  
amorim.afpa@gmail.com

**João Neri**

Trabalho de Conclusão de Curso 2025/2, curso de Engenharia Civil  
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso  
Joaoneri99@gmail.com

**Rachel Cristina Santos Pires**

Mestre em Desenvolvimento Local, Engenharia Civil  
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso  
rachelpireseng@gmail.com

**Everton Rangel Bispo**

Professor Doutor em Engenharia de Materiais e Processos Metalúrgicos  
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso  
evertonbispo@souunisuam.edu.br

**Igor Charles Siqueira Leite**

Doutor em Engenharia Civil  
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso  
igor.leite@unisuam.edu.br

## **RESUMO**

As regiões rurais brasileiras sofrem com um *déficit* no saneamento básico se comparado às grandes metrópoles e áreas urbanas, causando um cenário desafiador para as políticas públicas relacionadas a saúde e preservação ambiental. Tendo essa problemática em vista, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) desenvolveu uma série de alternativas para tratar as águas cinzas e águas negras. O foco desse artigo é apresentar através de pesquisas e revisões bibliográficas de documentos oficiais da EMBRAPA a técnica conhecida como Biodigestor Anaeróbico e como funciona

a dinâmica da sua utilização. Trata-se de um sistema que torna possível a acessibilidade ao tratamento parcial do esgoto doméstico em áreas rurais. A fossa séptica biodigestora faz-se uma importante tecnologia social, consolidada com impactos significativos ambientais, na saúde pública e no bem-estar na vida de quem reside no campo. Entende-se nesta revisão de literatura, que a fossa séptica biodigestora representa uma significativa contribuição para o saneamento rural brasileiro, sendo uma tecnologia econômica e acessível, capaz de solucionar o problema de saneamento básico, no que se refere ao tratamento do esgoto residual produzido nas atividades agropecuárias e também o esgoto sanitário dos domicílios do meio rural.

**Palavras-chave:** saneamento rural; biodigestão anaeróbia; tecnologia socioeconômica; sustentabilidade.

## INTRODUÇÃO

A manutenção do meio ambiente é um direito fundamental, e o acesso ao saneamento básico é crucial para a saúde pública. No entanto, essa realidade não é observada para habitantes afastados dos grandes centros. Conforme dados do IBGE (2010), enquanto 92% dos moradores de certas regiões urbanas recebiam água tratada, apenas 31,5% da população rural tinha acesso ao mesmo serviço. Apenas 24,1% da área rural possuía rede coletora ou fossa séptica, contra 80,5% dos domicílios urbanos (GALINDO et al., 2019).

Essa situação representa uma grande perda para o Brasil, onde a falta de rede de esgoto resulta nas "línguas negras", que contaminam solos e recursos hídricos, aumentando os gastos com tratamento de doenças e água potável. Destaca-se a dificuldade do poder público em implantar sistemas coletores convencionais devido à extensão territorial e peculiaridades topográficas do país.

Diante desse contexto, a EMBRAPA desenvolveu a fossa séptica biodigestora (FSB), solução inovadora para regiões com dificuldade de atuação estatal. A FSB capta e trata efluentes de vasos sanitários (águas negras) por biodigestão anaeróbia, transformando-os em efluente tratado que pode ser disponibilizado diretamente em mananciais sem dano ambiental. O sistema opera por decomposição anaeróbia, na qual microrganismos autóctones metabolizam compostos orgânicos complexos sem oxigênio.

## DESENVOLVIMENTO

Este artigo foi desenvolvido desde uma cuidadosa revisão bibliográfica, baseada em materiais técnicos publicados pela EMBRAPA, especificamente sobre a tecnologia conhecida como FSB. O intuito principal foi reunir e explorar a expertise técnica-científica produzida pela EMBRAPA Instrumentação, que há anos busca soluções práticas e sustentáveis para os desafios do saneamento rural no Brasil.

## **História, evolução e contextualização dos biodigestores no mundo.**

A biodigestão anaeróbia de resíduos biodegradáveis, embora não seja uma técnica nova, teve marcos importantes em sua evolução. Seus primeiros registros remontam a 1819, com a instalação da primeira unidade conhecida em Bombaim, Índia. A China é um excelente exemplo dessa ampla utilização histórica, contando atualmente com milhões de biodigestores que produzem gás combustível e fertilizantes orgânicos, confirmando a eficácia e relevância prática da tecnologia (NOVAES, et al., 2002).

Jean Baptiste Van Helmont observou inicialmente a ação da biodigestão anaeróbia e sua base científica. A identificação formal do gás metano ocorreu em 1776, através dos estudos do cientista italiano Alessandro Volta. Posteriormente, em 1808, o químico Humphry Davy identificou explicitamente o gás metano sendo produzido desde a digestão anaeróbia dos resíduos gerados pela criação de gado (LIMA, 2021).

## **Biodigestor no âmbito brasileiro.**

A introdução dos biodigestores no Brasil teve início na década de 1970, como reflexo da crise do petróleo. A começar de 2001, porém, a EMBRAPA Instrumentação retomou o tema com um olhar diferente. Liderada por pesquisadores como Antônio Pereira de Novaes (in memoriam), a equipe concentrou esforços na FSB, concebida não para produzir energia, mas para levar saneamento básico de custo acessível às áreas rurais e gerar insumos para a agricultura orgânica (SILVA, et al., 2017; NOVAES, et al., 2002).

O progresso da FSB envolveu pesquisas de campo e laboratoriais, testes de materiais e ajustes construtivos até chegar a um modelo simplificado. Graças a esse trabalho conjunto, mais de 11.600 unidades foram implantadas, beneficiando em torno de 57 mil pessoas (SILVA, et al., 2017). Em 2017, a FSB alcançou um importante reconhecimento: tornou-se recomendada como tecnologia sugerida para esgoto rural no Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR), vinculado ao Minha Casa, Minha Vida (SILVA, et al., 2017).

## **Materiais e métodos.**

A metodologia adotada focou-se na análise da tecnologia da Fossa Séptica Biodigestora (FSB), utilizando critérios específicos para seleção de materiais de instituições de credibilidade como a EMBRAPA. Foram incluídos documentos desde 2017 até a atualidade, abrangendo aspectos históricos, técnicos e operacionais da tecnologia, com destaque para o Memorial Descritivo de Montagem e Operação (Silva et al., 2017), o Comunicado Técnico original (Novaes et al., 2002), o documento comemorativo de 20 anos do Programa (Silva et al., 2021) e o guia prático Perguntas e Respostas (GALINDO et al., 2019).

O processo fundamental da FSB baseia-se na biodigestão anaeróbia, onde microrganismos decompõem a matéria orgânica na ausência de oxigênio através de quatro fases sequenciais: hidrólise (conversão de

polímeros em monômeros), acidogênese (formação de ácidos orgânicos), acetogênese (produção de ácido acético) e metanogênese (produção de metano e CO<sub>2</sub> por arqueias metanogênicas) (KUNZ et al., 2019). O sistema opera em três caixas interligadas sob vedação hermética, sendo a adição periódica de esterco bovino crucial para fornecer microrganismos anaeróbios que intensificam a biodigestão e estabilizam a temperatura do sistema (SILVA, 2014).

O tratamento adequado do esgoto na FSB mitiga a poluição ambiental e permite o reaproveitamento do efluente tratado como biofertilizante, substituindo fertilizantes químicos e fortalecendo a agricultura sustentável. O desempenho eficaz do sistema depende da interação equilibrada entre os grupos microbianos, sendo essencial a manutenção periódica com esterco bovino para garantir a estabilidade do processo de digestão anaeróbia (SILVA, 2014).

### **Análise dos parâmetros físicos-químicos relevantes.**

O funcionamento eficaz da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) depende do controle de fatores físico-químicos essenciais. A temperatura deve ser mantida na faixa mesofílica (20°C-45°C), idealmente a 35°C, mediante exposição solar e enterramento parcial das caixas para isolamento térmico (KUNZ et al., 2019). O pH deve permanecer entre 6,8 e 7,4, sendo estabilizado pela adição de esterco bovino, que atua como tampão (KUNZ et al., 2019).

O sistema requer um Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de aproximadamente 30 dias para garantir a decomposição adequada da matéria orgânica e redução de patógenos (NOVAES et al., 2002). A proporção Carbono/Nitrogênio (C/N) ideal situa-se entre 20:1 e 30:1, evitando-se tanto a deficiência de nitrogênio quanto o acúmulo de amônia tóxica (KUNZ et al., 2019). Finalmente, é crucial evitar a introdução de compostos tóxicos, como desinfetantes e antibióticos, que inibem a atividade microbiana (GALINDO et al., 2019).

### **Descrição detalhada do sistema**

O funcionamento da FSB baseia-se no princípio da digestão anaeróbia, processo biológico onde microrganismos decompõem a matéria orgânica do esgoto na ausência de oxigênio, transformando-o em efluente estabilizado e biogás, com eliminação de patógenos e redução de odores (NOVAES et al., 2002; SILVA et al., 2017). Conforme ilustrado na FIGURA 1, o sistema padrão para até cinco pessoas é composto por três caixas d'água de 1.000 litros interligadas, onde as duas primeiras atuam como módulos de fermentação para a biodigestão anaeróbia, e a terceira funciona como caixa coletora para armazenamento do efluente tratado, que pode ser reaproveitado como biofertilizante (SILVA et al., 2017).

**Figura 1** - Modelo da Fossa séptica biodigestora - FSB



Fonte: Embrapa, 2017.

O sistema modular da Fossa Séptica Biodigestora permite expandir sua capacidade mediante a adição de caixas de 1000 litros para cada 2,5 pessoas adicionais (SILVA et al., 2017). O projeto exige que o sistema seja conectado exclusivamente ao vaso sanitário, sem receber águas cinzas que possam comprometer o processo de biodigestão (GALINDO et al., 2019).

O processo bioquímico desenvolve-se sequencialmente através de hidrólise enzimática, fase ácida e metanogênica, exigindo condições adequadas de temperatura, TRH e nutrientes para seu sucesso (NOVAES et al., 2002). Para otimização, recomenda-se a adição mensal de esterco bovino fresco e água, que inocula bactérias especializadas, reduz odores e melhora a qualidade do efluente (SILVA et al., 2017).

A configuração inclui uma válvula de retenção antes da primeira caixa para adição da mistura, enquanto conexões entre caixas utilizam sifões que impedem a passagem de materiais flutuantes. Os suspiros nas duas primeiras caixas liberam o biogás produzido, e um registro na base da última caixa permite a retirada do efluente tratado para uso como biofertilizante (SILVA et al., 2017).

### **Processo Construtivo, Cronograma e Inicialização do Sistema**

A Fossa Séptica Biodigestora (FSB) utiliza materiais de fácil aquisição no comércio, simplificando sua implementação em diversas regiões do Brasil. Comparada aos métodos convencionais de alvenaria e aos biodigestores tradicionais (modelos indiano e chinês), apresenta menor custo e maior facilidade construtiva, embora produza menos biogás. Contudo, seu principal objetivo não é a produção energética, mas o tratamento sanitário adequado e a geração de biofertilizante, tornando-a mais adequada ao contexto do saneamento rural brasileiro (GALINDO et al., 2019; NOVAES et al., 2002).

**Tabela 1:** Lista de materiais para construção da FSB.

Relação de materiais para montagem da Fossa Séptica Biodigestora.							
Item	Descriutivo	Unidade	Quantidade	Valor unitário (R\$)		Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
				Material	M.O		
1	Caixa d'água de fibra de vidro 1000 L (1)	Peça	3	450,00	283,50	733,50	2.200,50
2	Tubulação de PVC DN 100 (100mm) para esgoto	m	6	25,00	15,75	40,75	244,50
3	Válvula de retenção de PVC DN 100 (100mm) para esgoto	Peça	1	80,00	50,40	130,40	130,40
4	Luva de PVC DN 100 (100mm)	Peça	4	12,00	7,56	19,56	78,24
5	Curva 90° raio longo de PVC DN 100 (100mm)	Peça	2	35,00	22,05	57,05	114,10
6	Tê de PVC DN 100 mm	Peça	2	25,00	15,75	40,75	81,50
7	CAP de PVC DN 100 mm	Peça	2	7,70	4,85	12,55	25,10
8	Anel de borracha para vedação 100 mm	Peça	10	3,50	2,21	5,71	57,10
9	Tubulação de PVC soldável DN 25mm	m	0,7	2,82	1,77	4,59	3,21
10	CAP de PVC soldável DN 25mm	Peça	2	1,50	0,95	2,45	4,90
11	Flange de PVC soldável DN 25mm	Peça	2	15,00	9,45	24,45	48,90
12	Tubulação de PVC soldável DN 50mm	m	1	15,00	9,45	24,45	24,45
13	Flange de PVC soldável DN 50mm	Peça	1	30,00	18,90	48,90	48,90
14	Registro de esfera compacto soldável de PVC DN 50 mm	Peça	1	21,00	13,23	34,23	34,23
15	Cola de silicone de 300 g com aplicador	Tubo	2	83,00	52,29	135,29	270,58
16	Pasta lubrificante para juntas elásticas em PVC rígido de 400 g	Tubo	1	13,00	8,19	21,19	21,19
17	Adesivo para PVC 100 g	Tubo	1	25,00	15,75	40,75	40,75
18	Cola de contato 100 mL	Lata	1	25,00	15,75	40,75	40,75
19	Emulsão asfáltica tipo Neutrol	Litro	1	22,78	14,35	37,13	37,13
20	Guarnição esponjosa de borracha - espessura 10x20 mm	m	12	20,00	12,60	32,60	391,20
21	Parafuso de lenda cabeça redonda M4 30mm	Peça	8	0,58	0,37	0,95	7,60
22	Porca sextavada M4	Peça	8	0,07	0,04	0,11	0,88
23	Arruela lisa M4	Peça	16	0,08	0,05	0,13	2,08
<b>TOTAL (R\$)</b>							<b>3.908,19</b>

Fonte: EMBRAPA, 2019.

## Custo do sistema.

Na tabela 1 observa-se a baixa despesa do sistema, que pode ser ainda menor se o morador fizer a instalação. O "Neutrol" ou tinta preta só são necessários em regiões de inverno frio; sem essa necessidade, o custo reduz em R\$37,13 (uma lata de 1L de Neutrol).

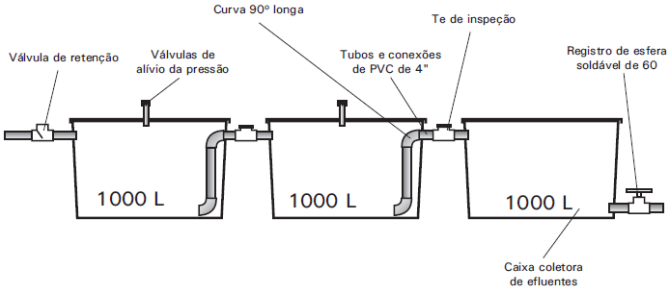
## Processo construtivo e cronograma de execução

A implementação da FSB inicia-se com a seleção de local seco, distante de corpos d'água, com lençol freático mínimo de 1 metro e posicionado inferior à residência, dentro de 30 metros do vaso sanitário. A instalação em terrenos inclinados é viável com caixas em patamares (SILVA et al., 2017).

Os materiais necessários incluem caixas de fibra de vidro ou fibrocimento, tubulações e conexões de PVC, válvula de retenção, flanges, registro de esfera e materiais de vedação. A montagem inicia com a perfuração das caixas para instalação dos flanges, seguida de escavação e posicionamento nivelado. As interligações são realizadas com tubos PVC DN 100 mm, instalando-se uma válvula de retenção na entrada da primeira caixa e garantindo vedação hermética nas tampas (SILVA et al., 2017).

A finalização inclui aterramento e cerca de proteção. A operação inicial ativa-se com adição de 5 litros de esterco bovino fresco misturado com 5 litros de água em cada módulo, procedimento mensal para manter as bactérias essenciais à biodigestão (SILVA et al., 2017).

Figura 2 - Esquema do sistema da Fossa séptica biodigestora.



Fonte: EMBRAPA, 2019 - Adaptação Valentim Monzane.

O prazo de construção da FSB varia conforme acesso a materiais, condições do terreno e equipe. Conforme a Tabela 2, duas pessoas concluem o sistema em aproximadamente 3 dias (jornadas de 8 horas), demonstrando rápida implementação em propriedades rurais.

Tabela 2: cronogramas de execução da instalação do sistema.

Fase		Cronograma de execução da Fossa Séptica Biodigestora																							
		Horas																							
		1º Dia								2º Dia								3º Dia							
	Atividades	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Planejamento e preparação do local	1	2	3	4	5	6	7	8																
2	Escavação da vala																								
3	Perfuração das caixas d'água																								
4	Instalação das conexões nas caixas																								
5	Posicionamento das caixas																								
6	Conexão entre as caixas																								
7	Conexão com a residência																								
8	Instalação das válvulas e registros																								
9	Reaterro e compactação																								
10	Carregamento inicial do sistema																								

Fonte: Própria.

Procedimentos para inicialização do sistema

Após a construção da FSB, deve-se verificar possíveis vazamentos enchendo parcialmente o sistema com água e observando por 24 horas. Confirmada a estanqueidade, adiciona-se à primeira caixa uma mistura inicial de 20 litros de esterco bovino fresco com 20 litros de água através da válvula de retenção, proporção dupla da manutenção mensal para estabelecimento rápido da colônia microbiana, completando com água limpa até o nível de saída para a segunda caixa (NOVAES et al., 2002).



O sistema deve permanecer desconectado do vaso sanitário por aproximadamente 10 dias, permitindo a multiplicação dos microrganismos e estabelecimento do processo de biodigestão. A eficiência máxima será alcançada após cerca de 30 dias de operação, quando o processo estiver plenamente estabilizado (GALINDO et al., 2019).

## RESULTADOS

A experimentação com protótipos comprova a efetividade da FSB como solução viável para saneamento rural, gerando biofertilizante e reduzindo a contaminação ambiental com materiais de baixo custo. Esta tecnologia alinha-se ao ODS 6 da Agenda 2030, oferecendo uma alternativa para comunidades sem redes coletoras. A Figura 3 apresenta uma maquete esquemática desenvolvida por estudantes de engenharia civil, demonstrando a disposição do efluente tratado em curso d'água sem prejuízos ambientais significativos.

**Figura 3** – Vista superior em escala reduzida representando o sistema.



Fonte: Própria.

A Figura 4 exibe o protótipo da FSB desenvolvido por estudantes de engenharia civil da UNISUAM, demonstrando a simplicidade construtiva do sistema e sua aplicabilidade para tratamento de esgoto residencial e rural.

**Figura 4** – Protótipo representando a simplicidade da instalação do sistema.



Fonte: Própria



## **Viabilidade Econômica e Social**

A Fossa Séptica Biodigestora da EMBRAPA configura-se como alternativa econômica para saneamento rural, com investimento inicial reduzido devido à utilização de materiais acessíveis como caixas d'água e tubos PVC (NOVAES et al., 2002). Sua operação não requer energia elétrica e a manutenção limita-se à adição mensal de esterco bovino e retirada periódica do biofertilizante (SILVA et al., 2017).

Este subproduto líquido de alta qualidade possibilita a substituição de fertilizantes químicos, promovendo a reciclagem de nutrientes e agricultura sustentável (NOVAES et al., 2002; SILVA et al., 2017). Socialmente, a tecnologia já beneficiou aproximadamente 57 mil pessoas através de mais de 11.600 unidades instaladas, melhorando as condições de saúde rural (SILVA et al., 2017).

Economicamente, o retorno social do investimento em saneamento rural é significativo, com estudos indicando que cada real aplicado gera R\$2,04 em benefícios, incluindo redução de custos com saúde e aumento da produtividade agrícola.

## **Aspectos Ambientais e Sustentabilidade**

A Fossa Séptica Biodigestora (FSB) apresenta papel crucial na sustentabilidade rural ao prevenir a contaminação de recursos hídricos pelo tratamento adequado de águas negras, evitando que esgoto bruto seja lançado no ambiente (SILVA et al., 2017). Esta ação reduz significativamente a incidência de doenças de veiculação hídrica, representando importante contribuição para a saúde pública (NOVAES et al., 2002).

O sistema promove ainda a reciclagem de nutrientes através do biofertilizante produzido, que contém nitrogênio e fósforo conservados durante a digestão anaeróbia (NOVAES et al., 2002). Este efluente tratado pode ser aplicado com segurança na adubação, fechando o ciclo de nutrientes na propriedade e reduzindo a demanda por fertilizantes sintéticos (SILVA et al., 2017). Alinhando benefícios ambientais, sociais e econômicos, a FSB consolida-se como solução descentralizada adaptada à realidade rural brasileira.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A pesquisa demonstrou que a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) da EMBRAPA constitui uma solução viável e econômica para o saneamento rural, aliando simplicidade construtiva à eficiência sanitária e ambiental (SILVA et al., 2017). O sistema não apenas trata efluentes e previne a contaminação de recursos hídricos, mas também produz biofertilizante aplicável na agricultura, promovendo sustentabilidade e saúde pública.

Contudo, requerem-se cuidados específicos: o efluente tratado deve ser utilizado apenas em culturas arbóreas, evitando contato direto com alimentos consumidos, e seu descarte em corpos hídricos exige análise prévia para garantir conformidade com normas ambientais. A experiência

com protótipos enriquece a formação em engenharia, ilustrando soluções sustentáveis para saneamento em áreas de recursos limitados.

Estudos futuros devem aprofundar o impacto do biofertilizante no solo e na produtividade agrícola, enquanto a implementação demanda monitoramento contínuo para assegurar sua sustentabilidade e segurança.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, W. T. L.; MARMO, C. R.; GALINDO, N. **20 anos do Saneamento Rural na EMBRAPA Instrumentação: do Básico ao Ambiental**. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação, 2021. 38 p. (Documentos, 72).

LIMA, D. **A história dos biodigestores**. YouTube, 2021. 9min06s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VpnhGZ6u9iM>. Acesso: 25/05/2025

SILVA, W. T. L.; **ABC da Agricultura Familiar: Saneamento básico rural**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2014. (Embrapa Instrumentação. ABC da Agricultura Familiar).

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do (Ed.). **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: EMBRAPA Suínos e Aves, 2019. p. 13-26

SILVA, W. T. L.; MARMO, C. R.; LEONEL, L. F. **Memorial Descritivo: Montagem e Operação da Fossa séptica biodigestora**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2017. (Embrapa Instrumentação. Documentos, ISSN 1518-7179; 65).

GALINDO, N.; SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; GODOY, L. A.; SOARES, M. T. S.; GALVANI, F.; MARMO, C. R.; ROMERO, P. A. L. **Perguntas e respostas: Fossa séptica biodigestora**. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação, 2019. 34 p.

NOVAES, A. P.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L.; CRUVINEL, P. E.; SANTANA, A.; NOVOTNY, E. H.; SANTIAGO, G.; NOGUEIRA, A. R. **A Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da agricultura orgânica**. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, 2002. 5 p. (Comunicado Técnico, 46).