

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

*Parecer*

*Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Eglé Novaes Teixeira e aprovada pela Comissão julgadora em 14/10/1985.*

*Campinas, 14 de Outubro de 1985*

*Ilma*  
*Presidente da Banca*

"ADAPTAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES  
(ESTERQUEIRAS) EM BIODIGESTORES"

EGLE NOVAES TEIXEIRA  
Eng<sup>a</sup>. Civil, FEL-UNICAMP, 1978

*17/85*

Orientadora  
PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. IRENILZA DE ALENCAR NÁAS

TESE DE MESTRADO  
CAMPINAS, SP, 1985

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL

94

DEDICO  
ao vovô Teizen  
com muito carinho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à EMBRAPA por ter financiado a parte experimental deste trabalho, à Dra. Irenilza, ao Instituto Biológico, à SANASA, à CATI à FEL-UNICAMP, aos funcionários destas entidades e a todos os que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Propriedades dos Resíduos Animais.....	7
3.2. Biodigestão.....	12
3.2.1. Definições e aspectos gerais.....	12
3.2.2. Processo de Biodigestão.....	14
3.2.3. Parâmetros da Biodigestão.....	23
3.2.3.1. Temperatura.....	24
3.2.3.2. Potencial Hidrogênico, pH.....	28
3.2.3.3. Alcalinidade.....	31
3.2.3.4. Ácidos Voláteis.....	32
3.2.3.5. Tempo de Retenção.....	33
3.2.3.6. Sólidos Totais e Sólidos Voláteis.....	36
3.2.3.7. Material de Alimentação.....	38
3.2.3.8. Taxa de Carga.....	38

3.2.3.9. Concentração de Nutrientes.....	38
3.2.3.10. Manutenção das Condições Anaeróbias.....	40
3.2.3.11. Substâncias Tóxicas.....	40
3.2.3.11.1. Sais de Metais Alcalinos e Alcalinos Terrosos.....	42
3.2.3.11.2. Amônia.....	43
3.2.3.11.3. Sulfetos.....	44
3.2.3.11.4. Metais Pesados.....	45
3.2.3.11.5. Matéria Orgânica.....	47
3.2.4. Parâmetros Adicionais para Controle da Biodigestão.....	47
3.2.4.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) / Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	47
3.2.4.2. Odor.....	48
3.3. Tipos de Biodigestores.....	49
3.3.1. Biodigestores contínuos.....	49
3.3.2. Biodigestores estáticos.....	50
3.3.3. Biodigestores semi-contínuos.....	53
3.3.3.1. Biodigestores tipo "plug flow".....	54
3.3.3.1.1. Biodigestor "plug flow" horizontal.	55
3.3.3.1.2. Biodigestor "plug flow" vertical...	58
3.3.3.2. Biodigestores completamente agitados ("completely mixed").....	59
3.3.3.3. Biodigestores parcialmente agitados.....	60
3.3.3.3.1. Modelo Chinês.....	60
3.3.3.3.2. Modelo Indiano.....	63
3.3.4. Outra corrente.....	70
3.3.5. Escolha do Tipo de Biodigestor.....	70
3.4. Sistema de Biodigestores.....	71

3.4.1.	Manejo do Material de Alimentação.....	72
3.4.2.	Tanque de Biodigestão.....	72
3.4.3.	Manejo do Biogás.....	73
3.4.4.	Manejo do Efluente.....	73
3.5.	Sistema de Alimentação.....	73
3.5.1.	Partida do Biodigestor.....	74
3.5.2.	Carga Regular.....	76
3.5.3.	Taxa de Carga.....	76
3.6.	Sistema de Agitação.....	79
3.7.	Sistema de Aquecimento.....	81
3.8.	Biogás.....	82
3.8.1.	Quantidade de Biogás.....	82
3.8.2.	Composição do Biogás.....	88
3.8.2.1.	Metano, CH <sub>4</sub> .....	88
3.8.2.2.	Dióxido de Carbono, CO <sub>2</sub> .....	95
3.8.2.3.	Sulfeto de Hidrogênio, H <sub>2</sub> S.....	98
3.8.2.4.	Outros gases.....	100
3.8.3.	Propriedades do Biogás.....	103
3.8.4.	Armazenamento do Biogás.....	109
3.8.5.	Utilização do Biogás.....	110
3.9.	Efluente.....	113
3.10.	Remoção do Lodo Sedimentado no Biodigestor.....	118
3.11.	Cuidados Especiais e Componentes Adicionais.....	119
3.12.	Dimensionamento do biodigestor.....	125
3.12.1.	Câmara(s) da massa em biodigestão.....	126
3.12.2.	Gasômetro.....	127
3.12.3.	Tubulações de Transporte.....	128
3.12.4.	Detalhes Construtivos.....	129

3.13. Esterqueiras.....	133
4. METODOLOGIA.....	137
4.1. Adaptação física da esterqueira.....	137
4.2. Cargas.....	146
4.3. Tomada de dados do biodigestor.....	146
4.4. Análises físico-químico-bacteriológicas.....	149
4.5. Análises do valor fertilizante.....	149
5. RESULTADOS.....	150
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	175
6.1. Resultados do biodigestor estudado.....	175
6.2. Resultados das análises físico-químico-bacteriológicas.....	177
6.3. Resultados das análises de valor fertilizante.....	182
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	184
7.1. Conclusões.....	184
7.2. Recomendações.....	186
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	187
Anexos.....	198
Anexo A - Dados coletados junto ao biodigestor.....	199
Anexo B - Dados compilados do biodigestor.....	256
Anexo C - Resultados das análises físico-químico-bacteriológicas do afluente e efluente ao biodigestor.....	268
Anexo D - Análise dos Ácidos Voláteis.....	275
D.1. Método.....	275
D.2. Curvas de calibração.....	277
Anexo E - Resultados das análises do valor fertilizante do afluente e efluente ao biodigestor.....	281

## RESUMO

A biodigestão de resíduos animais é interessante por atender à necessidade de uma disposição adequada dos mesmos, quando os animais estão em sistema de confinamento e à produção de uma forma de energia utilizável que é continuamente renovada.

Este trabalho constou de uma revisão bibliográfica ampla sobre o processo de biodigestão e sua aplicação aos resíduos animais e, da adaptação de uma estrutura existente, em grande número de fazendas — a esterqueira, ou célula de fermentação — em biodigestor.

A revisão bibliográfica abrangeu o processo de biodigestão e os parâmetros que nela influem, os tipos de biodigestores rurais, os sistemas de alimentação, aquecimento e agitação (opcionais) e considerações a respeito do material de alimentação, do biofertilizante e do biogás.

A adaptação consistiu em fechar as aberturas e respiros de uma célula da esterqueira, construção das paredes divisória e de apoio à campânula, impermeabilização das paredes internamente, construção da campânula e duas caixas de entrada — cada uma com capacidade para uma carga diária — interliga das ao tanque do biodigestor por uma mesma tubulação. Como caixa de saída, adaptou-se uma célula vizinha, que além de servir como saída é também tanque de armazenamento.

O acompanhamento da biodigestão deu-se através de observações volu



métricas do biogás (medidor MG-2 do Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo), da pressão do biogás e das temperaturas: ambiente, máxima e mínima ambientes, da massa em biodigestão, da carga e do biogás; e, de análises físico-químico-bacteriológicas realizadas na SANASA - Campinas, tanto no afluente como no efluente de: demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos totais e voláteis, nitrogênio amoniacal, pH, alcalinidade, ácidos voláteis e Coliformes fecais. As análises do valor fertilizante do afluente e efluente realizadas na CATI - Campinas constaram de: umidade, nitrogênio total, fósforo total, potássio total, cálcio, magnésio, fibra bruta, matéria mineral, matéria orgânica, pH, enxofre e relação carbono / nitrogênio.

A temperatura média da massa em biodigestão conseguida foi de  $24,8^{\circ}\text{C}$ , baixa em comparação com o valor ótimo para as bactérias mesofílicas, o que redundou em produção média de biogás de  $6,5 \text{ m}^3/\text{dia}$ , no verão, valor este, levemente, abaixo ao estimado por ELLSWORTH & ABELES (34),  $7,29 \text{ m}^3$  biogás / dia. A temperatura da massa em biodigestão teve comportamento semelhante ao das temperaturas ambiente, máxima e mínima ambientes, da carga e do biogás, indicando trocas de calor com o meio ambiente. A pressão média do biogás — medida com manômetro em U — foi de 12 cm .c.a. Em termos de redução do potencial poluidor, pouco se obteve, pois a redução em termos de sólidos totais, voláteis e demanda química de oxigênio esteve em torno de 30%. O valor fertilizante do afluente e efluente foi praticamente o mesmo. A redução no teor de ácidos voláteis foi de 80% e o valor médio no efluente foi de 430 mg HAc/l, o que, segundo FISCHER (37) indica equilíbrio entre as bactérias atuantes.

A adaptação foi, assim, bem sucedida e pode ser aconselhada sempre que se desejar uma economia na instalação de um biodigestor, devendo-se tomar certos cuidados, entretanto, para evitar trocas de calor com o meio, como revestir o tanque com isopor.

## ABSTRACT

### "ADAPTATION OF EXISTING STRUCTURES OF FERMENTATION CELLS INTO BIODIGESTERS"

The biodigestion of animal wastes is interesting because it matches the necessity of a proper disposition mainly for animals in confinement and the production of some usable energy, which is even renewable.

This work includes a large bibliographic review on the biodigestion process and its application to the animals wastes, and the adaptation of existent structures into biodigesters.

The bibliographic review deals with the biodigestion process and its influencing parameters, the rural biodigesters types, the feed, warming and mixing systems (optional) and get considerations about the feed material, the biofertilizer and biogas.

The biodigestion control was made through volumetric observations of the biogas, and also biogas pressure, temperatures: environmental, maximum and minimum environmental, biodigestion mass, feed, and biogas; and, of physical-chemical-bacteriological tests in the influent and effluent. The tests performed were biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total solids, volatile solids, ammoniacal nitrogen, pH, alkalinity, volatile acids, and fecal coliforms. The fertilizer value tests of the influent and effluent were: humidity, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, calcium,

magnesium, crude fiber, mineral material, organic material, pH, sulfur and carbon/nitrogenio relation.

The average temperature of the biodigestion mass was  $24,8^{\circ}\text{C}$ , little in comparison with the optimum value for the mesophilic bacteria, what gives a biogas production of  $6,5 \text{ m}^3/\text{day}$ , in summer. This value is around that one estimated by ELLSWORTH & ABELES (34),  $7,29 \text{ m}^3$  biogas/day. The biodigestion mass temperature performed like the ambient temperatures, ambient maximum and minimum, feed and biogas which indicate changes of temperature with the environment. The average biogas pression was 12 cm.c.a. In ternss of pollution potential little was obtained because the total solids, volatile solids and chemical oxigen demand reductions were about 30%. The influent and efluent fertilizer values were almost the same. The volatile acids reduction was 80% and the average value for the efluent was  $430 \text{ mg HAC}/\ell$ , what, for FISHER (37), indicates equilibrium among bacteria.

It is possible to say that the adaptation was successful and it can be recommended even if someone wishes to save in the biodigester installation. One needs to take precautions to avoid changes of temperature with the ambient, by recovering the tank with an isolant material, for example.

## 1. INTRODUÇÃO

O mundo enfrenta hoje dois problemas cruciais: a crise energética e a poluição ambiental.

A crise energética, de um modo geral, tem feito com que as atenções se voltem para a procura de fontes alternativas e renováveis em curto prazo. Quanto à poluição ambiental, tem-se procurado dispor racional e conscientemente os resíduos, quaisquer que sejam, com um tratamento adequado, se necessário.

Em termos de Brasil, pouco se tem realizado em relação à zona rural: é difícil ao homem do campo ter acesso às várias formas de energia, a menos que sua propriedade esteja localizada próxima a centros urbanos. Com a difusão da criação de animais em confinamento, o homem do campo deparou-se com um problema sério: o volume de resíduos a ser disposto. São necessários recursos técnicos para evitar a poluição ambiental proveniente da produção contínua e elevada de resíduos animais, do uso inadequado e prejudicial de fertilizantes químicos e da conseqüente proliferação de organismos patogênicos. E, isto, aliado à minimização de recursos financeiros a serem empregados.

Uma forma de se resolver ambos os problemas, energético e de poluição ambiental, é através de biodigestores. Estes apresentam vantagens sobre qualquer outro tipo de tratamento, pois, além de reduzirem a carga poluidora dos resíduos animais, ainda produzem energia (biogás) e um efluen

te com valor fertilizante, superior em alguns pontos ao esterco "in natura".

Atualmente, existem várias entidades e empresas que vêm se dedicando à pesquisa e confecção dos mais diversos modelos de biodigestores e de equipamentos, visando ao aproveitamento de resíduos animais, de culturas e do próprio biogás. Estas entidades e empresas estão, em geral, direcionadas a projetos de novas instalações na propriedade rural, sem se preocuparem com a existência de outras instalações já existentes.

Os criadores de gado de leite, em virtude da grande concentração de animais, por um período relativamente longo ao redor de um estábulo, sempre se viram com um problema de poluição ambiental, devido à elevada quantidade de resíduos fecais que ali ficavam depositados. Esses resíduos, além de causar má impressão, permitem a proliferação de moscas, organismos patogênicos e ainda provocam fermentação nas patas dos animais. Estes deitam-se sobre estes dejetos, sujando seus úberes e aumentando os casos de mastite.

Em decorrência da necessidade de se resolver estes problemas é que surgiram as esterqueiras. Aqueles criadores que não se sensibilizaram pelo problema higiênico, porém desejavam armazenar esterco para seus cafezais, também procuravam construir seus depósitos.

Um ponto que merece realce é o fato de ser comum a inexistência, em grande número de propriedades rurais, de esterqueiras (ou células de fermentação). Estas estruturas representam um investimento que, para o pequeno e médio produtor, não deve e não pode ser negligenciado. Assim, surge a necessidade de se verificar a possibilidade e a eficiência da adaptação destas estruturas já existentes (esterqueiras) em biodigestores.

Este trabalho constou de uma revisão ampla sobre a biodigestão anaeróbia de resíduos animais, da adaptação física da estrutura e acompanhamento do processo da biodigestão, através de análises físico-químico-bacteriológicas do afluente e do efluente ao biodigestor adaptado. Também foram realizadas análises para determinar e comparar o valor fertilizante do afluente e do efluente.

## 2. OBJETIVOS

- 2.1. Uma revisão ampla sobre o tema biodigestão e seus correlatos.
- 2.2. Adaptação de uma célula de esterqueira em biodigestor.
- 2.3. Verificação da viabilidade técnico-econômica da adaptação.
- 2.4. Verificação da eficiência da biodigestão neste tipo de reator.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As bactérias anaeróbias, agentes da digestão anaeróbia, existem, segundo DOUGLAS (32), desde os primórdios da vida sobre a Terra: "Existem evidências paleontológicas sugerindo que os primeiros organismos vivos sobre a Terra foram bactérias anaeróbias".

Só em 1630, Von Helmont, segundo GOMES (45), reconhece o metano oriundo do apodrecimento sob água. A liberação do metano através da decomposição de resíduos vegetais em "ambiente confinado" ocorre pela primeira vez na Itália, em 1776, por Alessandro Volta (CAEEB (25) e McCARTY (65)), quando mostra que em lagos e lagoas é liberado de seus sedimentos um "ar combustível".

O metano proveniente da decomposição de dejetos animais é detectado primeiro por Humphrey Davy, em 1806 (GOMES (45) e CAEEB (25)) ou, em 1808, (PENN. ST. UNIV., 78).

O primeiro biodigestor construído pelo homem data de 1859, em um leprosário próximo a Bombaim, Índia, utilizando resíduos animais (CAEEB (25), SILVA & AZEVEDO (99) e MEYNELL (68). Em 1889, Gayon, com base em Louis Pasteur (1861), atribui a formação de gás combustível oriundo da decomposição de estrume às bactérias anaeróbias (CAEEB, 25).

As cidades que iniciam a utilização do gás obtido pela biodigestão anaeróbia de seus efluentes para mover motores e para iluminação, segundo

a ref. (81) são : Bombaim, na Índia; Birmingham, no Reino Unido; e, Baltimore, nos EUA.

Em 1895, na cidade de Exeter, Inglaterra, é construído um reator (fermentador, "tanque séptico") de onde se aproveita o gás inflamável para iluminar as ruas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71) e PENN. ST. UNIV. (78)), por Donald Cameron (OSTROVSKI 75)). E é, essa cidade, a primeira a ter seu esgoto tratado por digestão anaeróbia, em 1911 (OSTROVSKI, 75).

Durante e logo após a Segunda Guerra Mundial, países com deficiência em petróleo, tais como Alemanha, França, Argélia e principalmente a Alemanha passam a desenvolver o processo da digestão anaeróbia e a utilizar o gás para fins automotivos (DOUGLAS (32), NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), SOARES & JARDIM (101), OSTROVSKI (75) e PENN. ST. UNIV. (78)). De 1945 a 1950 há um desinteresse decrescente para a digestão anaeróbia como fonte de combustível como reação ao baixo custo do petróleo e à sua abundância. Até 1973 há uma estagnação da pesquisa energética da biodigestão (SOARES & JARDIM (101), OSTROVSKI (75), ref. (11), SILVA (97), GOMES (45) e SGANZERLA (95)).

Depois de 1970, é que a digestão anaeróbia torna a ser foco de estudos e se multiplicam as pesquisas, especialmente, no setor agrário.

Em países onde há dificuldades energéticas, seja por falta de recursos naturais ou porque a energia está distribuída desfavoravelmente, desenvolvem-se organismos que estudam, aperfeiçoam e difundem a biodigestão anaeróbia.

A Índia, em 1939 — através de seu Instituto de Pesquisas Agrárias e após 1950 — pelo Instituto de Gás GOBAR, desenvolve um tipo de digestor doméstico para resíduos agropecuários de fácil operação e manutenção (digestor contínuo desenvolvido por Patel, SGANZERLA, 95), que permite o uso de esterco bovino para gerar gás GOBAR e ao mesmo tempo produzir fertilizante. Em Índia, GOBAR significa gás do esterco.

Sistemáticamente, são construídas milhares de unidades, a maioria



na zona rural e atendendo a até sete famílias, MEYNELL (68), NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71).

Na China, o biogás — "shaoqi" — apesar de ter sido iniciada sua produção em 1937, recebe apoio oficialmente apenas em 1970 e, já em 1981, 70% dos distritos da Província de Szechuan utilizam-no (NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71) e ALLEY (2)). O modelo chinês, tipo prensa hidráulica, surge da incapacidade da siderurgia chinesa de produzir aço bruto para fabricar elementos indispensáveis à realização de um programa de biodigestores que atinja uma população ponderável da comunidade rural. Assim, elimina-se parte móvel e constroem-se um biodigestor onde só alvenaria de tijolos é necessária (SILVA (97) e SGANZERLA (95)).

Iniciam-se no emprego de pequenos biodigestores: Taiwan, Coreia, Tanzânia, Uganda, Bangladesh, Fiji, Nova Guiné e México. Renovam o interesse: EUA e Europa Ocidental, NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71).

Em termos de Brasil, segundo SILVA (97), em 1958 o SIA do Ministério Da Agricultura publica um documento sobre as experiências em biogás no Instituto Agronômico do Nordeste, Recife. A primeira instalação particular que se tem notícia é de Alfenas, MG, em 1960. No estado de Santa Catarina, outro biodigestor é construído, em 1970, no Juvenato São Pascoal, em Jaborá.

No final de 1979, através de um convênio do Ministério da Agricultura e do Ministério das Minas e Energia (M.M.E.), é criado o Programa Nacional de Biogás, do qual a Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural — EMBRATER e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA ficam encarregadas, respectivamente, da difusão e pesquisa tecnológica. Os recursos utilizados ficam a cargo do Sistema de Assistência Técnica e Extensão Rural — SIBRATER e do M.M.E.. Nesse mesmo ano, existem cerca de 70 biodigestores construídos, no Brasil sendo a maioria de modelo indiano.

Já no final de 1980 há 870 unidades instaladas (CORREIA (27) e ref. (11)).

Entre 1980 e 1983 são construídos, a nível rural cerca de 3000 bio

digestores, dos quais 1072 com recursos próprios dos produtores rurais e a indústria brasileira participa do Projeto, oferecendo equipamentos básicos e motores a biogás. Em 1984, esta indústria já está exportando esses equipamentos e motores para a América Latina, através da FAO e OLADE (Organização Latino Americana de Energia) ou negociando diretamente com importadores, SILVA (98).

A aplicação da biodigestão anaeróbia ocorre rapidamente em períodos de crise energética e quase inexistente em fase de abundância de combustíveis.

O estudo da teoria da anaerobiose, que tem o primeiro trabalho publicado, Segundo McCARTY (65), em dezembro de 1881 e janeiro de 1882 por M. Louis Mouras, na França, já completa mais de um século de pesquisas, contando com diversos processos desenvolvidos tanto para tratamento de esgotos municipais, como industriais e agrícolas. Considerando ser este um processo de tratamento de efluentes, que ao mesmo tempo é energético e saneador, é bastante interessante sua aplicação e muito ainda se pode inovar para aprimorá-lo.

### 3.1. Propriedades dos Resíduos Animais

Pode-se dizer, genericamente, que para cada quilograma de produto animal consumido pelo homem, são gerados mais de 20 (vinte) kg de resíduos variados.

Segundo Taiganides (104), os esterco compreendem apenas a mistura fezes e urina. Os resíduos são afetados por muitos fatores, incluindo espécie do animal, tamanho e idade, a alimentação e a água ingerida pelo animal, o micro-ambiente onde vive e o clima.

A maneira pela qual os resíduos são coletados e o tempo que decorre desde a sua produção também afetam as propriedades físico-químico-bacteriológicas dos excrementos.

A qualidade dos alimentos influi na composição química dos excrementos, como por exemplo, o nitrogênio ingerido sob a forma de proteína digerível

é assimilado pelo animal e eliminado parcialmente pela urina e, sob a forma de proteína não digerível, é eliminado nas fezes.

Assim, a produção diária de resíduos oriundos de animais e a sua composição variam consideravelmente. Em média, NAAAS (70) nos apresenta os valores constantes da Tabela 3.1.

TABELA 3.1. Guia de valores para produção e composição média de es  
terco de gado de leite (adaptada de NAAAS, 70).

item	unidade	animais		
		galinhas (1,8 a 2,3kg)	porcos (45,4kg)	gado (454,0kg)
Resíduos úmidos	kg/dia	0,1	3,2	29,1
Sólidos Totais	% base úmida	29,0	16,0	16,0
Sólidos Voláteis	% base seca	76,0	85,0	80,0
Nitrogênio	% base seca	5,6	4,5	3,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% base seca	4,3	2,7	1,1
K <sub>2</sub> O	% base seca	2,0	4,3	3,0

Em que:

Sólidos totais é o peso de matéria seca remanescente, após a mistura ter sido aquecida a 103°C até ter peso constante.

Sólidos voláteis é o peso da parcela dos sólidos totais que é volatilizada a 600°C, sendo aproximadamente a quantidade de matéria orgânica presente no resíduo.

Fogg, 1971 (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 71) fornece uma composição dos resíduos animais, considerando esterco mais urina. Tabela 3.2.

TABELA 3.2. Produção e Composição dos resíduos animais. Adaptada de NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71).

Produção Diária Por 500 kg de animal vivo			Composição (% de peso úmido)		
animal	volume (m <sup>3</sup> )	peso úmido (kg)	Sólidos Voláteis	Nitrogênio	Fósforo
gado lei teiro	0,038	38,5	7,98	0,38	0,10
gado de corte	0,038	41,7	9,33	0,70	0,20
suínos	0,028	28,4	7,02	0,83	0,47
aves	0,028	31,3	16,80	1,20	1,20

Observando a Tabela 3.2 pode-se perceber claramente que a quantidade e composição dos resíduos animais dependem do tipo de animal, do tipo de ali mentação e manejo.

Segundo MEYNELL (68), o volume total de resíduos animais é função do número de animais que são criados, da forma e tempo de estabulação, a maneira pela qual os resíduos são coletados, se com adição de água ou não e em que quantidades.

BENICASA (8) e SANTIAGO & CRESTANA (91) fornecem a disponibilidade de esterco conforme a Tabela 3.3.

SGANZERLA (95) cita que cada quilograma de animal produz 19 g de es terco por dia.

Os autores consultados, em geral consideram que a densidade do esterco bovino é aproximadamente 1000 kg/m<sup>3</sup> e, portanto, igual à da água. TAIGANIDES (104) avalia o peso específico de resíduos animais semelhante ao da água,

para concentrações tão altas quanto 20 a 40%, mas para um teor de sólidos acima de 10 a 15% o termo mg/ℓ deve ser mudado para ppm.

TABELA 3.3. Disponibilidade de esterco (BENICASA, 8).

animal	Produção de esterco (kg/dia)
1 bovino adulto estabulado	30
1 bovino adulto semi-estabulado	15
1 bovino adulto não estabulado	10
1 porco adulto (70kg) - só esterco	2,6
1 porco adulto (70kg) - esterco + urina	5,8
1 galinha	0,12
1 eqüino, muar ou azinino	12

Segundo TAIGANIDES (104), aproximadamente 72 a 79% do nitrogênio, 61 a 87% do fósforo e 82 a 92% do potássio da alimentação são recuperados nos resíduos animais. Apesar da urina constituir menos que 40% do resíduo úmido, é mais concentrada com respeito a nitrogênio e potássio que o estrume. A Tabela 3.4 mostra a distribuição.

O conhecimento desta distribuição torna-se importante, em termos de digestão anaeróbia, em função dos teores de nutrientes que se deseja obter no biofertilizante.

Ainda segundo TAIGANIDES (104), os principais nutrientes são N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ , os secundários, S, Mg e Ca, enquanto os micronutrientes são Fe, Mn, B, Cl, Zn, Cu, Mo, etc. Para gado leiteiro o nitrogênio total pode variar de 1,5% a 5,1% dos sólidos totais, o fósforo fica em torno de 1,1% ST, e o potássio, ao redor de 1,7% ST.

Em termos de metais, as quantidades constantes nos resíduos animais

variam entre 2 e 100 mg Cu/kgST, 10 a 400 mg Zn/kgST; 60 - 33000 para o Fe, e 15 - 270 para o B.

TABELA 3.4. Porcentagem de elementos no esterco e na urina (adaptada de TAIGANIDES, 104).

Animal	Elemento	Urina	Esterco
Suínos	Ca	-	100,0
	K	55,4	44,6
	P	15,9	83,1
	N	27,7	72,3
	Mat.seca	8,3	91,7
Gado	Ca	1,1	98,9
	K	70,2	29,8
	P	2,6	97,4
	N	52,4	47,6
	Mat.seca	12,5	87,5

Os parâmetros bioquímicos padronizados são: demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO).

Para situações em que a densidade dos resíduos é igual a da água tem-se que 1% de sólidos totais em base úmida equivale a 10g/l; assim, por exemplo, a DBO<sub>5,20</sub> média para gado de corte, com ST de 9% será de  $9 \times 10 \times 94 = 8460$  mg/l (TAIGANIDES, 104).

Em termos bacteriológicos os principais parâmetros são: total de coliformes fecais, contagem total de bactérias e identificação de patogênicos. A identificação de patogênicos torna-se difícil face à quantidade de patogênicos distintos e à necessidade de pessoal e análises específicas. A contagem to

tal de bactérias, conforme TAIGANIDES (104), é 250 a 2000 milhões de bactérias por grama de resíduos úmidos de gado de corte. A maioria das bactérias presentes são facultativas anaeróbias. A contagem de coliformes sobre ágar EMB de resíduos de gado de corte varia de 340000 a 560000 bactérias / grama de resíduo úmido, TAIGANIDES (104).

TABELA 3.5. Valores médios típicos de DBO e DQO e a faixa de variação (adaptada de TAIGANIDES, 104).

Esterco Animal	DBO <sub>5,20</sub> (mg/gST)		DQO (mg/gST)	
	Média	Faixa	Média	Faixa
porco	181	114-296	1409	870-2280
galinha	123	82-165	887	775- 960
gado de corte	110	50-190	1438	1054-2500
ovelhas	103	80-128	1109	1000-1210
gado de leite	94	24-208	1387	910-2520

SGANZERLA (95) comenta que o esterco bovino tem uma capacidade de proliferar, rapidamente, as bactérias metanogênicas e assim, de apresentar uma produção de biogás em menor tempo que os demais resíduos animais. Em casos de biodigestão de outros resíduos é interessante que a primeira carga seja de esterco bovino, que desempenha o papel de semente de bactérias metanogênicas para o impulso inicial.

### 3.2. Biodigestão

#### 3.2.1. Definições e aspectos gerais

Para HUGHES (49), digestão é um termo usual para descrever a quebra essencial e a assimilação de alimentos por todas as criaturas, incluindo o homem. Os alimentos, geralmente são proteínas, polissacarídeos, lipídeos e ácidos nucleicos. São assimilados só quando reduzidos a unidades menores. Comumente, o processo da digestão independe da presença de oxigênio, consistindo em reações exogênicas clássicas como a hidrólise onde as enzimas catalizadoras devem ser sintetizadas. Na digestão anaeróbia, só são ativos os organismos capazes de sintetizar enzimas na ausência de oxigênio.

Fermentação, segundo HUGHES (49), é o termo usualmente aplicado aos processos metabólicos anaeróbios, embora, recentemente, processos como a produção de antibióticos — essencialmente aeróbia — façam parte da fermentação industrial e não ocorra digestão no sentido de degradação.

Conforme ZEIKUS (113), a fermentação metânica é um processo estável biologicamente que mineraliza toda matéria orgânica biodegradável na ausência de oxigênio.

Para HUNGATE (50), biodigestão, num sentido amplo, refere-se à solubilização de matéria orgânica por ação enzimática. Atualmente, o termo biodigestão é utilizado para descrever processos onde, além da solubilização, também incluem reações químicas nas quais o protoplasma de células microbianas é sintetizado, formando produtos tais como: ácidos acético, butírico e propiônico, dióxido de carbono, hidrogênio e metano.

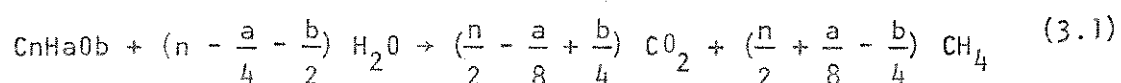
Biodigestão ocorre quando é permitido à matéria orgânica se decompor anaerobiamente produzindo metano, dióxido de carbono e hidrogênio predominantemente.

BUSWELL & MUELLER (15) afirmam que a diferença entre a fermentação metanogênica e as demais fermentações é, o fato de que a primeira não necessita de culturas puras de microrganismos e nem de culturas purificadas para inoculação ou reinoculação. As bactérias capazes de produzir metano são encontradas quase que universalmente na natureza. Em condições adequadas e com a entrada constante de substratos fresco proporcionam continuidade ao processo de fer



mentação indefinidamente — fato não comum em fermentações industriais — permitindo, assim, que o metano e o dióxido de carbono sejam eliminados a taxas constantes. Outra característica da fermentação metanogênica é ser praticamente independente do substrato. Para quase todos os tipos ou espécies de matérias orgânicas ocorre a fermentação com sucesso. A lignina não é atacada ou é com dificuldade.

Ainda, conforme BUSWELL & MUELLER (15), as quantidades de metano e dióxido de carbono produzidas são únicas e seguem a equação empírica:



e, com um pouco de cuidado, pode-se conseguir 95 a 100% dos valores calculados estequiometricamente. Mc CARTY (59), MEYNELL (68) e CAEEB (25) acatam a Equação 3.1 e a denominam Equação de Buswell. Mc INERNEY & BRYANT (67) a chamam de Equação de Buswell — Mueller.

A Biologia e a Química de um biodigestor envolvem processos extremamente complexos e ainda não completamente pesquisados ou explicados, CHANIN (21).

Para Mc CARTY (63), como a estabilização da matéria orgânica é proporcional à produção de metano, é interessante conhecer as suas fontes.

### 3.2.2. Processo de Biodigestão

BUSWELL & MUELLER (15) discutem as diferentes correntes a respeito de como ocorre a fermentação metanogênica e concluem aceitando que o metano produzido é originado tanto da redução do dióxido de carbono como também da degradação do ácido acético, diretamente, ou após a hidrólise de ácidos graxos complexos.

SPEECE & Mc CARTY (103) e Mc CARTY (63), citam que o processo da di

gestão anaeróbia ocorre em dois estágios: o primeiro, onde bactérias facultativas e anaeróbias quebram compostos orgânicos complexos em orgânicos simples; e o segundo, onde os compostos orgânicos simples são convertidos a metano e dióxido de carbono. O primeiro estágio é realizado através de hidrólise e oxido-redução de compostos orgânicos complexos e, se nenhum composto reduzido for removido, praticamente, sem nenhuma redução de DQO (demanda química de oxigênio) e nem de DBO (demanda bioquímica de oxigênio). Estas ocorrem no segundo estágio e são proporcionais à produção de metano, não existindo nenhum ajuste inorgânico oxidante.

Estes autores e Mc INERNEY e seus colaboradores (66), (67), citam que o processo não ocorre se existir no meio excesso de sulfatos, nitratos e nitritos, pois estes podem ser utilizados como receptores de hidrogênio no lugar do dióxido de carbono. Para Mc INERNEY & BRYANT (67), apesar das bactérias serem o principal agente biológico na biodigestão, ciliados fermentadores, protozoários flagelados e alguns fungos anaeróbios podem contribuir em alguns ecossistemas.

No primeiro estágio há, apenas, uma mudança de forma. Para CHANIN (100), a verdadeira "digestão", que é a quebra de matérias complexas em moléculas orgânicas, relativamente simples, só ocorre no primeiro estágio com a hidrólise pelas enzimas extracelulares. Figura 3.1.

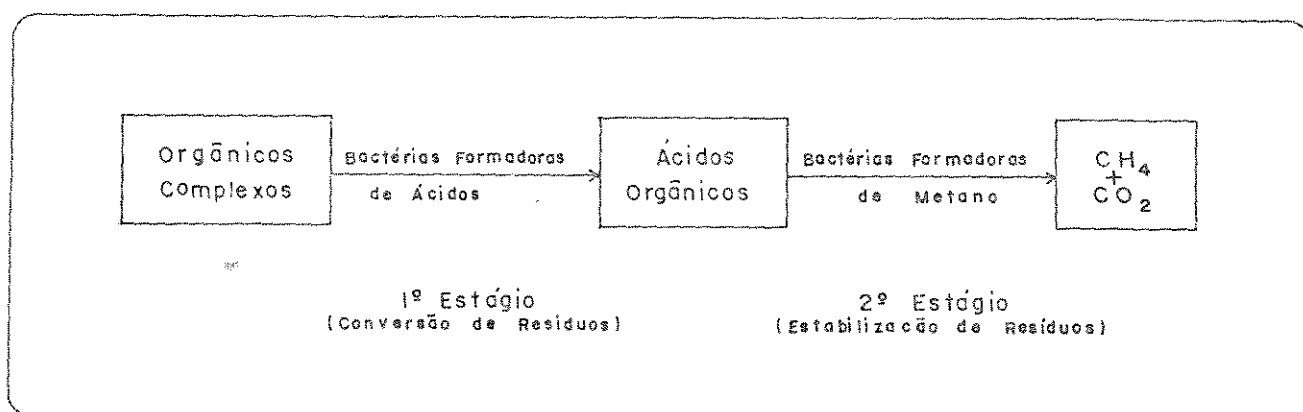


FIGURA 3.1. Os Dois Estágios da Digestão Anaeróbica (Mc CARTY, 59).

As bactérias formadoras de ácidos têm, segundo o BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), GOLUEKE (44) e SGANZERLA (95), reprodução rápida e não são sensíveis a mudanças no seu meio ambiente. GOLUEKE (44) afirma que, destas formas, o estágio ácido, raramente, é fator limitante ao processo como um todo.

Para Mc CARTY (58), no primeiro estágio, proteínas complexas são inicialmente hidrolizadas através de enzimas extracelulares a polipeptídeos e daí a aminoácidos simples; carboidratos complexos (amidos e celulose), a açúcares simples; e gorduras e óleos, a glicerol e ácidos graxos. Estes produtos da hidrólise são solúveis e, portanto, passam através da parede celular das ácido-bactérias e são fermentados. Esta fermentação consiste em oxido-redução da matéria orgânica, sendo a fonte de energia para crescimento e reprodução das bactérias. Apresentam como produtos ácidos graxos saturados e dióxido de carbono. Amônia também pode ser produzida a partir da fermentação de amino-ácidos.

Para CHANIN (21), no segundo estágio, atuam enzimas intracelulares, ou seja, as reações ocorrem dentro das células das bactérias, produzindo energia, metano, dióxido de carbono, água e outros produtos metabólicos.

No segundo estágio, para Mc CARTY (58) e Mc INERNEY & BRYANT (67), como a energia contida no metano é grande e não acessível aos microrganismos (para Mc INERNEY e colaboradores (66), ao redor de 90% da energia química disponível é retida no metano), as bactérias desta etapa estão limitadas na quantidade de energia para o seu metabolismo e, desta forma, têm taxa de crescimento restrita, sendo a taxa de utilização do substrato por unidade de organismo relativamente baixa.

Para Mc CARTY (58), nesta fase, o dióxido de carbono atua como receptor de ions hidrogênio e é reduzido a metano pela remoção, por enzimas de ions de hidrogênio de moléculas orgânicas. A outra fonte majoritária de metano é a fermentação do ácido acético, que é formado como composto intermediário principal da fermentação de compostos complexos. O metano resulta do carbono-metil e seus três hidrogênios, enquanto que o dióxido de carbono resulta do carbono-carboxila ( $C^*H_3COOH \rightarrow C^*H_4 + CO_2$ ).

Parte dos sólidos dos resíduos se apresentam em forma tal que não são digeríveis pelas bactérias. É a parcela não biodegradável do resíduo e pode chegar a ser até 50% do total de sólidos, CHANIN (21).

As metano-bactérias são sensíveis a variações em seu meio ambiente, estão presentes em relativamente pequeno número e não se reproduzem rapidamente (TAIGANIDES (104), NATIONAL RESEARCH COUNCIL (14), GOLUEKE (44) e ELLSWORTH & ABELES (34)). Para VIEIRA & SOUZA (109) e SOUZA (102), estes fatos fazem com que as bactérias metanogênicas sejam fator limitante no processo.

Mc INERNEY & BRYANT (67) justificam a importância das bactérias metanogênicas, por serem estas os únicos organismos capazes de metabolizar acetato e hidrogênio em gás na ausência de energia ou de outros receptores de elétrons (oxigênio, sulfato ou nitrato).

Mc CARTY (59 e 63) atenta que as bactérias formadoras de metano são estritamente anaeróbias e que existem diversos grupos diferentes destas bactérias, onde cada um é caracterizado por sua capacidade em fermentar um número limitado de compostos orgânicos. A fermentação metanogênica completa de materiais complexos envolve diversas metano-bactérias, as quais levam diferentes períodos de tempo para se estabilizarem.

Assim, o processo só está completamente em operação quando todos os diversos grupos de metano-bactérias estão estabilizados. Como as metano-bactérias, também as bactérias formadoras de ácidos são compostas por diversos grupos e para a estabilização do substrato há necessidade de um balanço entre todos os microrganismos (Mc CARTY, 59).

O sistema estando em balanço, as metano-bactérias utilizam todos os ácidos voláteis intermediários, tão logo as ácido-bactérias o produzam. Se as metano-bactérias não estão presentes ainda em número suficiente tem-se um acúmulo de ácidos voláteis no meio (Mc CARTY (59 e 64) e HILLS & FAIRBANK (48)).

Este acúmulo representa, para Mc CARTY (59), o desequilíbrio entre os diferentes grupos presentes. A análise da concentração de ácidos voláteis

é, assim, um dos mais importantes testes de controle. Uma análise individual dos ácidos voláteis indica qual o grupo de metano-bactérias que está com problemas. São ácidos voláteis, por exemplo, os ácidos: fórmico ( $\text{HCOOH}$ ), acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), propiônico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ), butírico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ), valérico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ), isovalérico ( $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH}$ ) e caprônico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ) entre os mais comuns.

As porcentagens do metano produzido a partir de ácidos voláteis, para substrato de esgoto doméstico ou de composição similar estão na Figura 3.2.

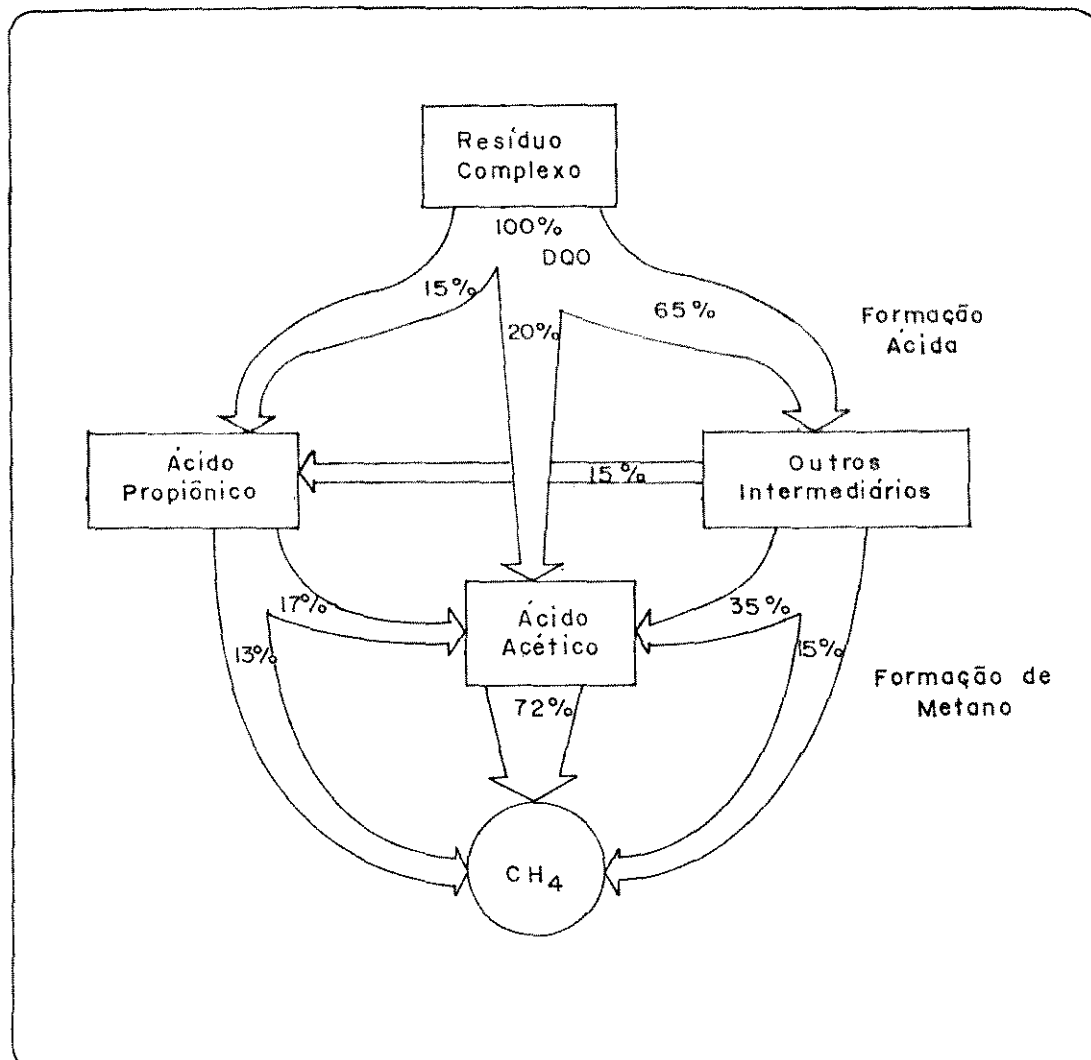
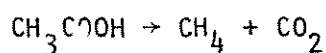


FIGURA 3.2. Porcentagens Representando a Conversão da DQO por Diferentes Caminhos (McCARTY,59).

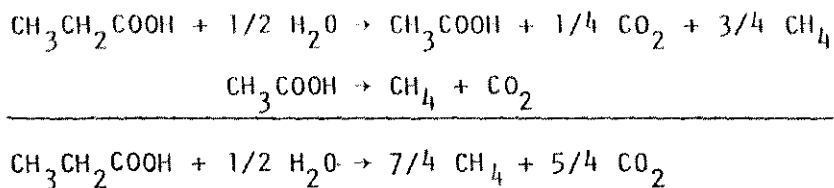
Os valores numéricos da Figura 3.2, representam a porcentagem da DQO do resíduo que é convertida pelos vários segmentos, não incluindo as porcentagens utilizadas na conversão em novas células microbianas Mc CARTY (64).

Embora existam diversos grupos de microrganismos atuantes, os mais importantes entre os de metano-bactérias são aqueles que consomem ácido acético e ácido propiônico, sendo, também, os mais sensíveis a variações no meio ambiente e de menor taxa de crescimento, Mc CARTY (59).

Segundo Mc CARTY (63), para a fermentação completa do ácido acético é necessário apenas um grupo de metano-bactérias,



e, para o ácido propiônico são necessários dois grupos, já que sua fermentação ocorre em duas etapas, através do ácido acético.



A NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71) considera a biodigestão de complexos orgânicos composta por três estágios. No primeiro, bactérias facultativas atuam sobre o substrato e por hidrólise enzimática convertem polímeros em compostos mais simples e solúveis (monômeros), os quais são substrato para o segundo estágio. Neste, os compostos solúveis são convertidos em ácidos orgânicos, os quais, principalmente o ácido acético, são substrato para as bactérias metanogênicas, no último estágio. Figura 3.3.

Também reconhecem na biodigestão a existência de três estágios: SILVA (96), HILLS & FAIRBANK (52), HUGHES (49), (72), BATISTA (7), SILVA & AZEVEDO (99 e 100), ELLSWORTH & ABLES (34), COLAÇO & S. FILHO (24) e SGANZERLA (95).

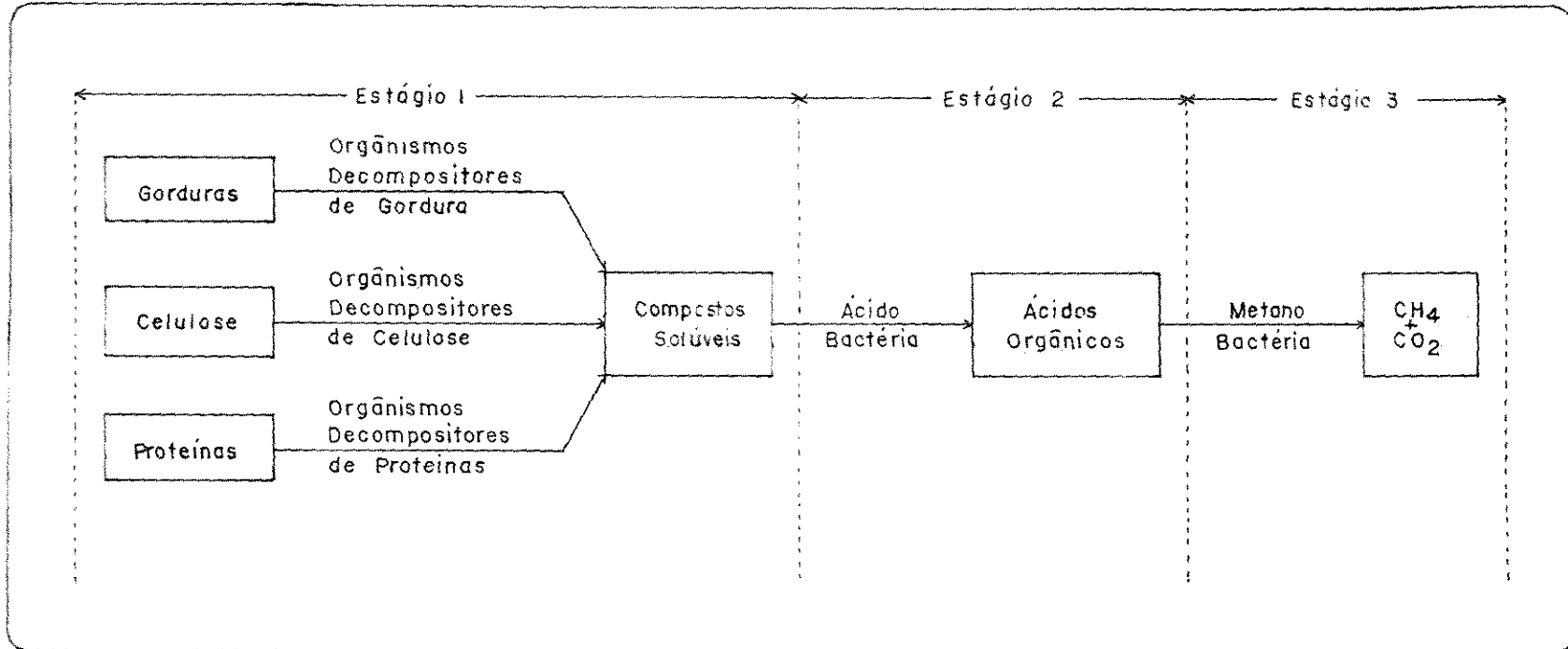


FIGURA 3.3. Fermentação Anaeróbica de Sólidos Orgânicos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 71).

COLAÇO & S. FILHO (24) consideram uma fase complementar no processo, onde bactérias metanogênicas convertem hidrogênio e dióxido de carbono diretamente em metano.

MEYNELL (68) também reconhece três estágios como os autores anteriores, mas os chama de: liquefação, formação ácida e metanogênese.

Mc INERNEY & BRYANT (67) consideram a biodigestão como ocorrendo com três grupos principais de bactérias. O primeiro, bactérias fermentadoras provocam a hidrólise de substrato primário — proteínas, lipídeos e polissacarídeos — e a fermentação dos produtos com a produção de acetato e outros ácidos gorduros saturados, dióxido de carbono e hidrogênio. No segundo, bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio produzem-no juntamente com acetato e, às vezes, dióxido de carbono, utilizando-se dos produtos do primeiro grupo. E, no terceiro, as bactérias metanogênicas catabolizam o acetato e o dióxido de carbono para produzirem metano.

BATISTA (7) e SILVA & AZEVEDO (99 e 100) consideram a metanogênese como sendo a fase limitante do processo, devido, principalmente, à formação de microbolhas de gás em torno da bactéria metanogênica, mantendo-a separada do substrato. Este fato justifica a agitação da massa no interior do biodigestor.

Mc CARTY (59 e 62), examinando a Equação 3.1 de Buswell e seus colaboradores, observou que a demanda de oxigênio última do resíduo em degradação é aquela ocasionada pelo metano, de acordo com a Equação 3.2.



onde se observa que cada mol de metano é equivalente a dois mols de dióxido de carbono. Pode-se prever, portanto, a produção de metano a partir da estimação da DQO ou da  $\text{DBO}_L$  (última) estabilizadas, chegando-se à conclusão que, para cada quilograma de  $\text{DBO}_L$  ou DQO estabilizado há a produção de  $0,35\text{m}^3$  de metano. Ainda, conforme Mc CARTY (59), valores medidos em laboratório para uma variedade de substratos, que vai desde substâncias puras até resíduos complexos,



comprovam esta relação com precisão tal que permite o seu emprego na previsão da produção de metano.

Mc CARTY (59) considera a vantagem mais interessante da biodigestão anaeróbia como sendo a alta porcentagem de estabilização obtida e a baixa porcentagem de conversão de matéria orgânica em células biológicas. Esta última varia com a composição do substrato.

As bactérias, como em qualquer outro processo biológico, necessitam de nutrientes para se desenvolverem. Os principais são nitrogênio e fósforo. A necessidade de nitrogênio pode ser determinada a partir do crescimento celular e aquele já contido na célula. Em termos de fósforo, é requerido aproximadamente um quinto da quantidade de nitrogênio. Assim, para uma formulação química média das células biológicas de  $C_5H_9C_3N$ , necessita-se em termos de nitrogênio de 11% do peso de sólidos voláteis da célula e em termos de fósforo, 2% (Mc CARTY, 59). Se estes elementos não existirem no substrato em quantidades suficientes, devem ser adicionados (Mc CARTY, 62).

Segundo MEYNELL (68), um fator interessante é a interdependência existente entre as bactérias acidificantes e as metanogênicas. As primeiras que são também facultativas, asseguram que não haja oxigênio livre no meio e fornecem o substrato para as segundas, além de suas enzimas agindo sobre proteínas e aminoácidos liberarem sais de amônia - única fonte de nitrogênio aceita pelas bactérias metanogênicas. Estas, ao consumirem os produtos das bactérias acidificantes, evitam que o meio torne-se demasiado ácido, quando nem as bactérias acidificantes sobrevivem. Assim, em um biodigestor com uma população balanceada, tem-se uma relação simbiótica entre os dois grupos bacterianos.

A eficiência da fermentação metânica é definida por Mc INERNEY & BRYANT (67) tanto pela quantidade de matéria orgânica degradada - medida pela porcentagem de sólidos voláteis destruída - como pela taxa de produção de metano.

A eficiência de um biodigestor, segundo a ref. (11), é afetada, en

tre outros fatores, pelas condições ambientais, operação do sistema, natureza da matéria prima e desenho do aparelho.

FARRAH & BITTON (36) consideram já bem estabelecido o fato de a digestão anaeróbia não remover completamente patogênicos bacterianos e virais. Citam um trabalho de Dudley e seus colaboradores, de 1980, onde estes demonstram a recuperação quantitativa ou semi-quantitativa de *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Mycobacterium*, *Clostridium*, *Klebsiella*, *Salmonela* e *Shigella* em lodos digeridos anaerobiamente.

Como a biodigestão envolve organismos vivos e complexos, torna-se necessário que o biodigestor reúna condições que favoreçam a manutenção da vida, crescimento e equilíbrio das espécies envolvidas, IPT (51).

### 3.2.3. Parâmetros da Biodigestão

TAIGANIDES (104) comenta que a digestão anaeróbia é um processo biológico susceptível a falhas, quando existem condições desfavoráveis, por depender de atividade microbiana.

Para assegurar o balanço entre os microrganismos no biodigestor, segundo HILLS & FAIRBANK (48), os seguintes fatores devem ser controlados: taxa de carga dos nutrientes, tempo de retenção, mistura e temperatura. SILVA (97) acrescenta pH e composição do substrato.

Segundo VIEIRA & SOUZA (109), os principais parâmetros para se acompanhar e avaliar um processo de biodigestão são: volume e composição dos gases, temperatura, pH, ácidos voláteis, alcalinidade, potencial de oxi-redução, DBO//DQO, sólidos totais e voláteis, carbono / nitrogênio / fósforo, amônia, sulfatos / sulfetos, metais pesados, metais alcalinos e alcalinos-terrosos. De acordo com as características do substrato a ser utilizado, pode-se eliminar muitas destas determinações.

Para LACAVA (55), deve-se considerar, na digestão contínua, os seguintes fatores: temperatura do substrato, volume de carga, concentração de sô

lidos, período de retenção, pH, concentração de nutrientes e substâncias tóxicas.

### 3.2.3.1. Temperatura

BUSWELL & MUELLER (15) citam, em 1952, que não existe uma faixa ótima de variação de temperatura. A taxa de fermentação cresce com a temperatura, passando por dois picos, não pronunciados, a  $26^{\circ} - 37^{\circ}\text{C}$  e  $50^{\circ} - 55^{\circ}\text{C}$ . Estes máximos, ainda não haviam sido notados por outros observadores, segundo estes autores.

Mc CARTY (60), LAPP e seus colaboradores (56), PENN. ST. UNIV. (78), e HAWES (46), comentam que para temperaturas mais elevadas, as taxas de reações aumentam e o processo torna-se mais eficiente. Para Mc CARTY (60), há dois níveis de temperaturas ótimas: um entre  $30$  e  $38^{\circ}\text{C}$  (faixa mesofílica) e outro entre  $49$  e  $56^{\circ}\text{C}$  (faixa termofílica). Entretanto, para elevar a temperatura de um processo acaba-se gastando energia, de forma que se perde a vantagem inicial.

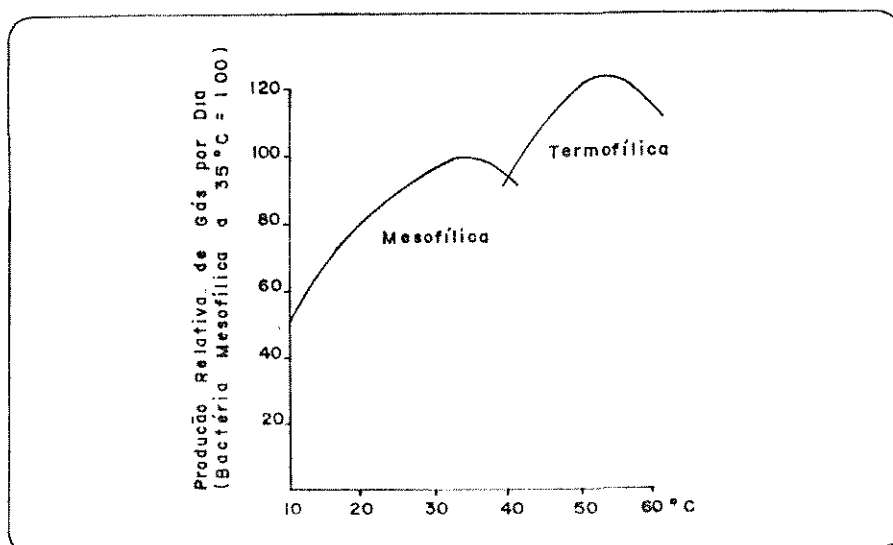


FIGURA 3.4. Efeito da Temperatura na Taxa de Produção de Biogás (PENN.ST.UNIV,78).

BATISTA (7) comenta que apesar das bactérias termofílicas apresentarem uma eficiência maior, o grau de decomposição dos sólidos orgânicos (voláteis) é praticamente igual para todos os grupos bacterianos e o elevado custo para manter-se um biodigestor operando termofilicamente faz com que haja uma tendência quase mundial pela faixa mesofílica.

Segundo KOTZÉ e seus colaboradores (54), a temperatura tem um efeito sobre o crescimento das bactérias, afetando a composição química, a atividade enzimática e a nutrição das células.

VIEIRA & SOUZA (109) citam que a importância da temperatura deve-se ao fato de as velocidades das reações bioquímicas serem diretamente afetadas por ela.

A ref. (3) observa que, embora as bactérias genericamente subdividam-se em psicofílica ( $-5$  a  $35^{\circ}\text{C}$ ), mesofílica ( $18$  a  $45^{\circ}\text{C}$ ) e termofílica ( $45$  a  $85^{\circ}\text{C}$ ), aquelas formadoras de metano só existem em faixas mesofílicas e termofílica.

As bactérias formadoras de metano são muito sensíveis a variações de temperatura, conforme LAPP e seus colaboradores (56), BATISTA (7) e SILVA (97), e as termofílicas são mais sensíveis que as mesofílicas (MEYNELL (68) e NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71)).

Alguns valores de temperatura como limites extremos e faixas onde atuam grupos bacterianos meso ou termofílicos, são apresentados na Tabela 3.6.

HESS (47), MAZZUCCHI (57), SEIXAS e seus colaboradores (93) e LACAVA (55) citam que para temperaturas abaixo de  $15^{\circ}\text{C}$  a biodigestão fica prejudicada. Para o BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), as metano-bactérias são severamente limitadas abaixo de  $5^{\circ}\text{C}$  e acima de  $55^{\circ}\text{C}$ . Já VAN VELSEN & LETTINGA (108) consideram que abaixo de  $20^{\circ}\text{C}$  a biodigestão torna-se lenta e incompleta.

Para o BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) e HAWES (46), a  $40$  e  $45^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, nenhum grupo bacteriano prevalece e a produção de biogás diminui.

TABELA 3.6. Temperaturas na biodigestão (°C)

Autor (es)	limites extremos	faixa mesofílica	faixa termofílica	faixa usual
KOTZÉ e colaboradores (54)		20 - 45		37§
LAPP e colaboradores (56)				33-38e 55-58
DOUGLAS (32)	0 - 55			
MEYNELL (68)		5 - 40	40 - 55	30-35
TAIGANIDES (104)	20 - 60			35
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71)				33-38
BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14)	0 - 60	20 - 40	>40	25-35
HESS (47)	15 - 60			
VAN VELSEN & LETTINGA (108)	20 - 65	20 - 40	40 - 65	31-35
HAWES (46)		5 - 45	45 - 60	30-35
CRAVEIRO (28)	15 - 65	30 - 40	50 - 60	
Mc INERNEY e colaboradores (66)		20 - 40	45 - 70	
ref. (72)				30-36
ELLSWORTH & ABELES (34)+		18 - 41	41 - 71	
SANTIAGO & CRESTANA (91)	5 - 65			
SEIXAS e colaboradores (93)				35
SILVA (97)		10 - 45	>45	36 §
BATISTA (7)		20 - 45	>45	35e54§
VIEIRA & SOUZA (109)		10 - 42	>42	35e60§
ref. (38)		20 - 40	40 - 60	
IPT (51)		25 - 40	50 - 65	37e60§
SGANZERLA (95)				28-35*
CARVALHO (19)	0 - 65			35§

continua...

TABELA 3.6. (continuação)

Autor (es)	limites extremos	faixa me sofílica	faixa ter mofílica	faixa usual
SOUZA (102)		15 - 45	50 - 63	30-40 (35-37§)

+ valores convertidos (unidades)

\* faixa ideal

§ temperatura ótima

Segundo Mc INERNEY e seus colaboradores (66), há uma espécie de metano-bactéria que é ativa tanto na faixa mesofílica como na termofílica (Methanosarcina sp).

VAN BUREN (07) e SILVA (97) citam que variações bruscas de temperatura acima de 3°C afetam a produção de biogás, sendo necessário tentar manter constante a temperatura. Mc INERNEY & BRYANT (67) dão esse limite como sendo 2°C e realçam que a variação como um resfriamento não ocasiona problemas, enquanto que um aquecimento é prejudicial. DOUGLAS (32) e MEYNELL (68) e VIEIRA & SOUZA (109) comentam que variações súbitas de até mesmo 1°C podem interromper a fermentação com a acumulação de ácidos graxos voláteis. Para MEYNELL (68), a produção de metano praticamente dobra para cada 10 a 15°C acrescidos na temperatura. O BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) cita que flutuações de temperatura de 5°C podem ser toleradas, sem danos sérios por até 48 horas. E, VIEIRA & SOUZA (109), que se a variação da temperatura for gradual, o sistema se adapta bem.

VAN VELSEN & LETTINGA (108), em experimento com taxa de carga (ver item 3.5.3) de 4 kg de sólidos totais por metro cúbico por dia e temperatura de 30°C, concluem, que apesar da temperatura constante ser ideal, o pro

cesso não é seriamente afetado quando esta sofre variações entre 20 a 40°C, podendo continuar com a mesma taxa de carga.

Os biodigestores rurais normalmente não apresentam controle de temperatura operando na faixa mesofílica e comumente fora da temperatura ótima, IPT (51).

Para GARCIA (40) a temperatura não é fator limitante à biodigestão e sim à boa eficiência da conversão metanogênica.

PARCHEN (77) aconselha o uso de urina, melão ou sulfato de amônia à carga do biodigestor como um artifício para evitar, durante o inverno, temperaturas baixas.

BENICASA (9) cita que a incorporação de até 10% em volume de urina na carga, provoca a elevação da temperatura de fermentação em 3°C sobre a testemunha, para substrato de esterco bovino.

Para proteger o biodigestor de variações súbitas de temperatura é comum, segundo o NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), em muitos países, enterrar o biodigestor, aproveitando as propriedades de isolamento térmico do solo.

XU (111) cita que a faixa de temperatura de 22 a 30°C é a mais adequada para a sobrevivência e evolução de ovos de parasitas e, com dois meses chega-se à esterilização dos germes patogênicos.

### 3.2.3.2. Potencial Hidrogeniônico - pH

Para Mc CARTY (60) um dos mais importantes requisitos ambientais para as bactérias metanogênicas é o pH. Este é, no tratamento anaeróbio, devido a diversos equilíbrios químicos de ácidos-bases. Mas, próximo à faixa neutra, 6 a 8, o principal sistema para equilibrar o pH é o sistema dióxido de carbono - bicarbonato.

Segundo BUSWELL & MUELLER (15) uma acumulação de ácidos voláteis e seus sais origina uma queda no pH por vários dias.

Mc CARTY (60), NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), (38) e NIXAS (70) citam que para valores de pH inferiores a 6,2 a eficiência do processo cai rapidamente e a condição ácida pode tornar-se tóxica para as metano-bactérias. Pa

ra NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), neste pH as bactérias acidogênicas continuam em atividade produzindo ácidos voláteis, até que o pH atinja valores abaixo de 4,5 - 5,0.

Um pH decrescente é, para Mc CARTY (60), indicador de que há um desbalanceamento entre os microrganismos, resultando em altas concentrações de ácidos voláteis. Uma queda significativa do valor do pH só ocorre quando o biodigestor está seriamente afetado e em vias de colapso. O pH pode ser mantido, quando instável, através de uma redução na carga diária ou adicionando materiais neutralizadores (cal, por exemplo) ou ambos.

Quando a biodigestão está balanceada, as reações bioquímicas tendem a manter o pH dentro da faixa de utilização automaticamente (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 71).

Apesar de ser um processo muito estável para resíduos animais, segundo BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), o pH pode cair, se pelo menos uma das seguintes alternativas ocorrer: introdução de muita matéria orgânica, a temperatura oscilar muito, existirem na alimentação do biodigestor elementos tóxicos às bactérias e a formação de espuma na superfície do nível da mistura em biodigestão, impedindo a liberação do biogás. Estes fatores também são citados por MAZZUCCHI (57).

LAPP e seus colaboradores (56), BATISTA (7) e SILVA (97) relacionam o pH na biodigestão com a formação de ácidos voláteis, a redução de dióxido de carbono e a alcalinidade do substrato.

Alguns valores para o pH na biodigestão estão na Tabela 3.7.

A correção do pH deve ser considerada quanto este estiver abaixo de 6,5 a 6,6 (Mc CARTY, 60) e deve ser feito imediatamente quando abaixo de 6,0 (KOTZÉ e colaboradores, 54) e 6,5 (VIEIRA e SOUZA, 109 e SOUZA, 102).

A correção, segundo os três últimos, pode ser conseguida empregando-se cal (reage com dióxido de carbono com produto insolúvel que vai sedimentar no biodigestor), soda (melhor que cal, mas ao reagir com dióxido de carbono provoca vácuo no reservatório de biogás) ou bicarbonato de sódio (o



ideal, já que eleva diretamente a alcalinidade, sem reagir com dióxido de carbono).

TABELA 3.7. Valores de pH.

Autor (es)	faixa de utilização	faixa ótima
BUSWELL & MUELLER (15) e LAPP e colaboradores (56)	6,5-8,0	
Mc CARTY (60), NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), NÅAS (70) e (38)	6,6 - 7,6	7,0 - 7,2
Mc CARTY (58)	6,7 - 7,4	
KOTZÉ e colaboradores (54)	6,0 - 8,0	7,0
Mc CARTY (64)	6,0 - 8,0	
HARTY in LAPP e colaboradores (56) *	7,3 - 8,0	
BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) **	7,0 - 8,5	
LACAVAL (55) e (5)	7,0 - 8,0	
IPT (51) e (72)	6,8 - 7,2	
CRAVEIRO (28)	6,5 - 7,5	
MAZZUCCHI (57) e BATISTA (7)	6,0 - 8,0	7,0 - 7,2
CAEEB (25)		6,5 - 7,5
SILVA (97)	7,5 - 8,5	
Mc INERNEY & BRYANT (67)	6,0 - 8,0	6,7 - 7,4
VIEIRA & SOUZA (109)	6,5 - 7,5	6,8 - 7,2
ELLSWORTH & ABELES (34)	6,8 - 8,5	
CARVALHO (19)	6,8 - 8,0	
GOLUEKE (44)	5,5 - 7,0	7,0

\* esterco de gado leiteiro

\*\* esterco animal

KOTZÉ e seus colaboradores (54) alertam que a cal, quando empregada de forma incontrolada, faz com que o pH suba a mais de 10, com sério choque à bio digestão.

Mc CARTY (64) nota que quanto mais baixo for o pH, mais rapidamente ocorrem as contra-reações (decrêscimo em atividade). Assim, deve-se manter o pH sempre acima de 6,0.

TAIGANIDES (104) considera que seja impossível manter, em bio digestão de resíduos animais — especialmente bovinos — o pH na faixa de 6,8 a 7,2, como para o esgoto doméstico, por serem mais alcalinos.

KOTZÉ e seus colaboradores (54) observam que apenas valores de pH são inúteis e que é necessário correlacioná-los com alcalinidade e ácidos volá teis.

Para a CAEEB (25), um pH baixo representa excessiva produção de ácidos volá teis e um pH alto, uma insuficiente produção. A alcalinidade é, geralmen te, computada em termos de mg/l em  $\text{CaCO}_3$ .

SILVA (97) alerta a que nunca se adicione ácidos ao bio digestor para abaixar o pH alto. A solução neste caso é dar tempo ao bio digestor para que ele se recupere após solucionar a fonte do problema.

### 3.2.3.3. Alcalinidade

Alcalinidade de um bio digestor é a medida da capacidade de tamponamen to dos componentes (Mc CARTY (60), POHLAND & BLOODWOOD (82), KOTZÉ e seus cola boradores (54) e VIEIRA & SOUZA (109)).

Para Mc CARTY (60), a relação entre o dióxido de carbono e os bicarbo natos presentes é o principal sistema químico que controla o pH através da e quação



onde  $K_1$ , é a constante de ionização do ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ). A concentração deste é relacionada com a porcentagem de dióxido de carbono presente no biogás e a concentração de íon bicarbonato faz parte da alcalinidade total do sistema.

A concentração do íon bicarbonato, ou a alcalinidade devida a bicarbonatos é aproximadamente equivalente à alcalinidade total, quando a concentração de ácidos voláteis é baixa. Ao crescer este valor, a alcalinidade devida aos bicarbonatos neutraliza-os formando sais e tem-se a alcalinidade devida aos ácidos voláteis. A alcalinidade total é a soma destas duas (Mc CARTY (60) e VIEIRA & SOUZA (109)).

Mc CARTY (60) cita que quando a alcalinidade devida a bicarbonatos é aproximadamente 1000 mg/l, a porcentagem de dióxido de carbono entre 30 e 40% e a temperatura a 35°, o pH está ao redor de 6,7. Este é um valor baixo para a alcalinidade e inseguro para a biodigestão, já que abaixo deste valor, também segundo KOTZÉ e seus colaboradores (54), tem-se uma queda do valor de pH a níveis indesejados. A faixa desejável para a alcalinidade é entre 2500 e 5000 mg/l, pois, também para KOTZÉ e colaboradores (54) e SOUZA (102), um valor elevado proporciona uma boa capacidade de tamponamento.

O controle da alcalinidade é o mesmo que ao pH, já que estão correlacionados.

#### 3.2.3.4. Ácidos Voláteis

O balanço entre os ácidos voláteis e a alcalinidade durante uma biodigestão normal refere-se ao potencial de tamponamento. Quando a concentração de ácidos voláteis totais excede a alcalinidade total (potencial natural de neutralização), o processo de biodigestão torna-se inibido e também há um decréscimo do pH (acumulam-se ácidos voláteis livres) (POHLAND & BLOODWOOD, 82).

Para Mc CARTY (60) e VIEIRA & SOUZA (109), como os ácidos voláteis são substrato para as metano-bactérias e estas são bastante sensíveis, quan

do há um acréscimo na sua concentração é porque algo está inibindo as metano-bactérias. Assim, um acréscimo na concentração dos ácidos voláteis é um dos primeiros indicadores de que existem condições adversas à biodigestão e ocorre antes que outros parâmetros sejam afetados.

VIEIRA & SOUZA (109) comentam que como existe no meio um potencial de tamponamento que impede a queda do pH, somente quando toda a alcalinidade presente for neutralizada pelos ácidos voláteis é que haverá um decréscimo no pH.

KOTZÉ e seus colaboradores (54), citando Buswell (1979), observam que é mais interessante detectar variações em torno de um valor constante obtido na biodigestão do que fixar um valor máximo permitido para se detectar problemas no processo. VIEIRA & SOUZA (109) também recomendam este fato, baseados na dependência desses valores com respeito ao tipo de substrato empregado.

Segundo a CAEEB (25), os ácidos voláteis são usualmente computados em termos de ácido acético. A relação alcalinidade / ácidos voláteis é considerada pelo autor como sendo das mais importantes e quando for de 1:2, qualquer ácido volátil produzido afeta negativamente o pH.

Os ácidos voláteis podem acumular-se no biodigestor, conforme SOUZA (102) devido a: aumentos bruscos da matéria orgânica afluente, aumentos bruscos de vazão afluente, substâncias tóxicas no afluente, variações de temperatura e pH.

As próprias bactérias acidificantes podem ser prejudicadas se a concentração dos ácidos voláteis atingir 40 mil mg/l (SOUZA, 102).

#### 3.2.3.5. Tempo de Retenção

De acordo com GOLUEKE (44), tempo de retenção, detenção ou residência é o período médio de tempo em que determinado organismo tem acesso a um determinado substrato, ou, o tempo que uma partícula média do substrato é exposta ao ataque microbiano.

Esta definição é denominada por LAPP e seus colaboradores (56), de tempo de retenção de sólidos, podendo ser calculada dividindo-se o peso de sólidos voláteis no biodigestor pela quantidade que deixa o sistema por dia. Para sistemas completamente agitados (ver item 3.3.3.2) e sem recirculação, o tempo de retenção dos sólidos é igual ao tempo de retenção hidráulico, que é obtido dividindo-se o volume do biodigestor pelo volume diário de alimentação (ver item 3.5). Ambos os tempos de retenção são função da temperatura para se obter uma degradação adequada e uma produção otimizada de biogás.

Em termos práticos, segundo a ref. (5), o tempo de retenção é o intervalo de tempo que é contado após o enchimento do biodigestor até a produção gasosa ser predominantemente metânica.

Em um sistema completamente agitado, segundo KOTZÉ e seus colaboradores (54), SANTIAGO & CRESTANA (91) e Mc INERNEY & BRYANT (67), um tempo de retenção pequeno implica em descarga de substrato não metabolizado e um tempo de retenção maior resulta em degradação do substrato mais completa. Assim, um tempo de retenção menor é mais econômico e um maior é mais eficiente.

Justifica-se que para um tempo de retenção pequeno, as bactérias não têm tempo hábil para digerirem toda a matéria orgânica presente e, assim, parte dela sai sem estar digerida (PENN. ST. UNIV., 78). Para um tempo de retenção muito grande, não há matéria orgânica fresca suficiente para promover o crescimento bacteriano.

O tempo de retenção para sistema anaeróbio é muito maior que para aqueles aeróbios. Isto porque, conforme MEYNELL (68), enquanto algumas bactérias aeróbias reproduzem-se em meia hora, as metanogênicas o fazem apenas em 2 ou 4 dias ou mais. Se o tempo de retenção for menor que o de reprodução das bactérias, estas são lavadas e o processo pode parar.

HILLS & FAIRBANK (48) acrescentam que o tempo de retenção deve ser tal que as taxas de morte cumulativa e de lavagem sejam menores ou iguais as de crescimento das bactérias. É também limitado pelo tamanho prático e pelo custo do biodigestor.

HAWES (46) cita uma experiência onde mantendo-se a temperatura modifica-se os tempos de retenção e determina-se a taxa ótima de produção de biogás. A experiência é repetida para diferentes temperaturas. Os valores obtidos com esterco bovino estão na Tabela 3.8.

TABELA 3.8. Tempo de retenção e produção de biogás a diferentes temperaturas para esterco bovino (HAWES, 46).

temperatura do digestor (°C)	tempo de retenção ótimo (dias)	produção de gás (l/l.dia)	Sólidos Voláteis destruídos (%)
15	60	0,24	40,0
20	45	0,42	41,4
25	35	0,48	60,0
30	30	0,58	59,0
35	30	0,66	65,0

BATISTA (7) comenta que quando se utiliza apenas a expressão tempo de retenção do biodigestor, refere-se ao tempo de retenção hidráulico. O tempo de retenção juntamente com a taxa de decomposição de sólidos voláteis (ver item 3.2.3.6) determinam o desempenho e a eficiência de um biodigestor. Desta forma, o melhor biodigestor é o de menor tempo de retenção e de maior taxa de redução de sólidos voláteis. Todos os fatores operacionais ou de comportamento têm influência direta no tempo de retenção.

Outro trabalho (72) dá o tempo de retenção como função do tipo de matéria orgânica a ser digerida, da temperatura, do pH, além da frequência de agitação (ver item 3.6). Já CRAVEIRO (28) cita que o tempo de retenção é função do substrato utilizado e do tipo de biodigestor (ver item 3.3) utilizado.

Os valores usuais para o tempo de retenção estão na Tabela 3.9.

Conforme MEYNELL (68), o tempo de retenção pode ser alterado sim

plemente através de ajustes realizados na quantidade de matéria orgânica adicionada diariamente.

TABELA 3.9. Valores para Tempo de Retenção Hidráulico.

Autor (es)	Tempo de retenção, dias
LAPP e colaboradores (56)	10 - 30 *
MEYNELL (68)	10 - 40 **
ref. (5)	24 - 50
CRAVEIRO (28)	10 - 60
ref. (72)	4 - 15
BATISTA (7)	4 - 60
SANTIAGO & CRESTANA (91)	50

\* função da temperatura

\*\* função do sistema de biodigestão

### 3.2.3.6. Sólidos Totais e Sólidos Voláteis

A determinação de sólidos suspensos voláteis contidos no biodigestor, segundo KOTZÉ e seus colaboradores (54), é interessante por estar relacionada com a massa microbiana. Um acréscimo no teor de sólidos suspensos voláteis implica em aumentar a quantidade de substrato aplicada e, assim, aumentar a capacidade de biodigestão do sistema.

Segundo LAPP e seus colaboradores (56), os sólidos voláteis são a porção orgânica dos sólidos totais. São utilizados como substrato pelos organismos, o que os torna um parâmetro importante na estimativa potencial da produção de biogás.

VIEIRA & SOUZA (109) citam que os sólidos voláteis dão uma estimati

va da matéria orgânica presente no resíduo.

Para LAPP e seus colaboradores (56) a diluição a ser efetuada nos resíduos animais é de suma importância, uma vez que a biodigestão tem um teor de sólidos totais ótimo variando de 7 a 9% e os resíduos animais apresentam de 10 a 25% de sólidos totais. Mas, independente do valor adotado para o biodigestor, este deve ser mantido, relativamente, uniforme com variações graduais no início da carga. LACANA (55) cita os mesmos teores ótimos de sólidos totais.

Conforme VAN BUREN (107) e SALVETTI (87), deve-se ter, normalmente, 90% de água no peso total ou seja, 10% de sólidos totais. Com muita água, isto é, menos de 10% de sólidos totais, tem-se a diminuição da produção gasosa por unidade de volume e com pouca água, mais de 10% em sólidos totais, os ácidos voláteis produzidos se acumulam, inibindo o processo. Favorece-se, assim, a formação de uma espuma espessa (ver item 3.6). O teor adequado de água de diluição varia em função do tipo de substrato a ser empregado. SILVA (97) cita também este mesmo teor e HILLS & FAIRBANK (48) o fornecem para resíduos de gado leiteiro.

HAWES (46) comenta que a maioria dos biodigestores não excedem a 9% em sólidos totais, sendo 4% um valor típico. Em termos de sólidos voláteis, estes, geralmente, não excedem a 90% dos sólidos totais e nem são menores que 40%, sendo 73% considerado um valor razoável.

Genericamente, tem-se que quanto maior for o teor de sólidos voláteis e nutrientes em um substrato, este deve ter maior e melhor produção de biogás. A concentração dos sólidos totais recomendada é de 6 a 8% (BATISTA, 7) e de 6 a 9% (SANTIAGO & CRESTANA, 91).

Segundo SGANZERLA (95), quando se utiliza resíduo animal como substrato, torna-se uma aproximação o teor de sólidos totais desejados, já que o mesmo animal produz esterco mais ou menos consistente em função da quantidade de água e do tipo de alimento ingeridos. Para esterco bovino, é sugerido o teor de 16,5% para sólidos totais.

CHANIN (21) observa que a redução de sólidos voláteis obtida no pro



cesso é sinal do grau de estabilização do mesmo e da quantidade de matéria orgânica não biodegradável presente.

#### 3.2.3.7. Material de Alimentação

Segundo SILVA (97), pode-se utilizar como substrato para o biodigestor rural restos de culturas, fezes ou esterco. O esterco tem as seguintes vantagens: facilidade de coleta, ter uma biodigestão normal, produzir boa quantidade de gás e um fertilizante rico.

O IPT (51) também considera, para o meio rural, como fontes de matéria orgânica principais os resíduos agropecuários e os estercos animais. Em relação a estes últimos, que são, em sua maioria, fontes dos microrganismos necessários ao processo.

A escolha do substrato é função, além dos aspectos técnicos, de fatores específicos da propriedade rural onde o biodigestor será instalado. A disponibilidade do material — em volume e frequência — é fundamental, ref. (5).

Propriedades dos resíduos animais estão no item 3.1.

#### 3.2.3.8. Taxa de Carga

Comentado em detalhes no item 3.5.3.

#### 3.2.3.9. Concentração de Nutrientes

As bactérias que participam do processo de biodigestão anaeróbia para desenvolverem-se e multiplicarem-se necessitam de nitrogênio, fósforo e outros materiais (Mc CARTY (60) e BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14)).

Para MEYNELL (68), todos os organismos vivos necessitam de nitrogênio para formarem proteínas. O fosfato também é necessário às bactérias e sua ausência pode paralisar o processo.

O BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) cita que os nutrientes necessários às bactérias estão presentes nos esterco animais em concentrações adequadas ao bom desempenho biológico desejado, com exceção dos que contêm grande teor de material de cama e daqueles que são expostos ao tempo por diversos dias.

Segundo BATISTA (7), os nutrientes que mais freqüentemente são encontrados em falta são: o nitrogênio e o fósforo.

CRAVEIRO (28) alerta que não é suficiente apenas a presença, em quantidades adequadas, de nitrogênio e fósforo para que um resíduo seja bem digerível, é necessário que carbono também esteja presente. A relação ótima carbono: fósforo é de, aproximadamente, 150:1. (SOUZA (102) considera menor ou igual a 150). Enxofre também é importante, embora o seu excesso propicie o crescimento de bactérias redutoras de sulfatos que produzem sulfeto de hidrogênio. São necessários, também, traços de cálcio, magnésio, potássio, zinco e ferro.

VIEIRA & SOUZA (109) fornecem que deve existir uma relação entre os teores de nitrogênio e fósforo necessários, sendo a ideal, nitrogênio: fósforo de 5:1.

CRAVEIRO (29) apresenta que as relações carbono: nitrogênio e carbono: fósforo devem situar-se, em relação à massa, nas seguintes faixas, 20-30:1 e 100-150:1 respectivamente. No caso de ser necessário corrigir estes valores pode-se utilizar fosfato de diamônio (DAP), uréia ou fosfato de sódio entre outros.

Conforme MEYNELL (68), NIXAS (70) e CRAVEIRO (28), deve haver uma relação entre o carbono e o nitrogênio presentes no substrato. Havendo pouco nitrogênio da ordem de C/N = 60, para NIXAS (70) e SILVA (97), a bactéria não consegue utilizar-se de todo carbono, uma vez que falta nitrogênio. Caso contrário, onde há excesso de nitrogênio, da ordem de C/N = 2, para NIXAS (70) e SILVA (97), este acumula-se geralmente, na forma de amônia (NH<sub>3</sub>). A amônia em concentrações elevadas é tóxica às bactérias metanogênicas, mas para relações tão baixas quanto 3:1, ainda a biodigestão ocorre satisfatoriamente, desde que o efeito tóxico da amônia seja combatido através de diluição com água.

CRAVEIRO (28) e IPT (51) apresentam como valor médio para a relação carbono: nitrogênio de esterco bovino, 21:1; SILVA (97) e SGANZERLA (95) , 25,0:1.

Para SILVA (97) e SGANZERLA (95), o carbono é necessário por ser fonte de obtenção de energia e o nitrogênio contribui para a formação de células. As bactérias anaeróbias consomem ao redor de 30 vezes mais rapidamente o carbono que o nitrogênio.

Conforme SGANZERLA (95) a maioria dos estercos animais possuem relação carbono: nitrogênio baixa e devem ser corrigidas com a adição de restos culturais, palha ou serragem, que são ricos em nitrogênio. Já a ref. (38) recomenda urina animal que também é rica em nitrogênio.

#### 3.2.3.10. Manutenção das Condições Anaeróbias

As condições anaeróbias devem ser mantidas. Mesmo quantidades pequenas de oxigênio são prejudiciais (Mc CARTY, 60), já que as bactérias metanogênicas são estritamente anaeróbias (NAXAS, 70) e, assim, no biodigestor não deve entrar ar atmosférico (SILVA (97) e (110)).

Mc INERNEY & BRYAN (67) ressaltam que as bactérias metanogênicas requerem condições estritamente anaeróbias para crescimento e somente crescem quando o oxigênio está excluído.

Conforme SOUZA (102), apesar das bactérias metanogênicas serem estritamente anaeróbias, num biodigestor, raras vezes, o oxigênio converte-se em problemas, devido ao grande número de bactérias facultativas presentes. Estas consomem-no, rapidamente, dentro de certos limites. Adições, de uma só vez, de até 360 mgO<sub>2</sub>/ℓ de biodigestor não afetam a biodigestão, e de 1300 mgO<sub>2</sub>/ℓ são inibidoras.

#### 3.2.3.11. Substâncias Tóxicas.

Para que um resíduo possa servir como substrato deve ser livre de

substâncias tóxicas (Mc CARTY, 60).

Para Mc CARTY (61), o termo "tóxico" é relativo e a concentração para a qual determinado composto (ou elemento) é tóxico varia de fração de mg/l a milhares de mg/l. Os microrganismos têm a capacidade de se adaptarem aos elementos tóxicos e em alguns casos, após a aclimação, produzem como antes do contato; outros produzem menos.

Genericamente, para Mc CARTY (61), os microrganismos reagem à presença de sais ou outros materiais, segundo a Fig. 3.5., onde há de início um estímulo, um ponto ótimo, um decréscimo no estímulo até vir a ser tóxico, à medida em que se aumenta a sua concentração.

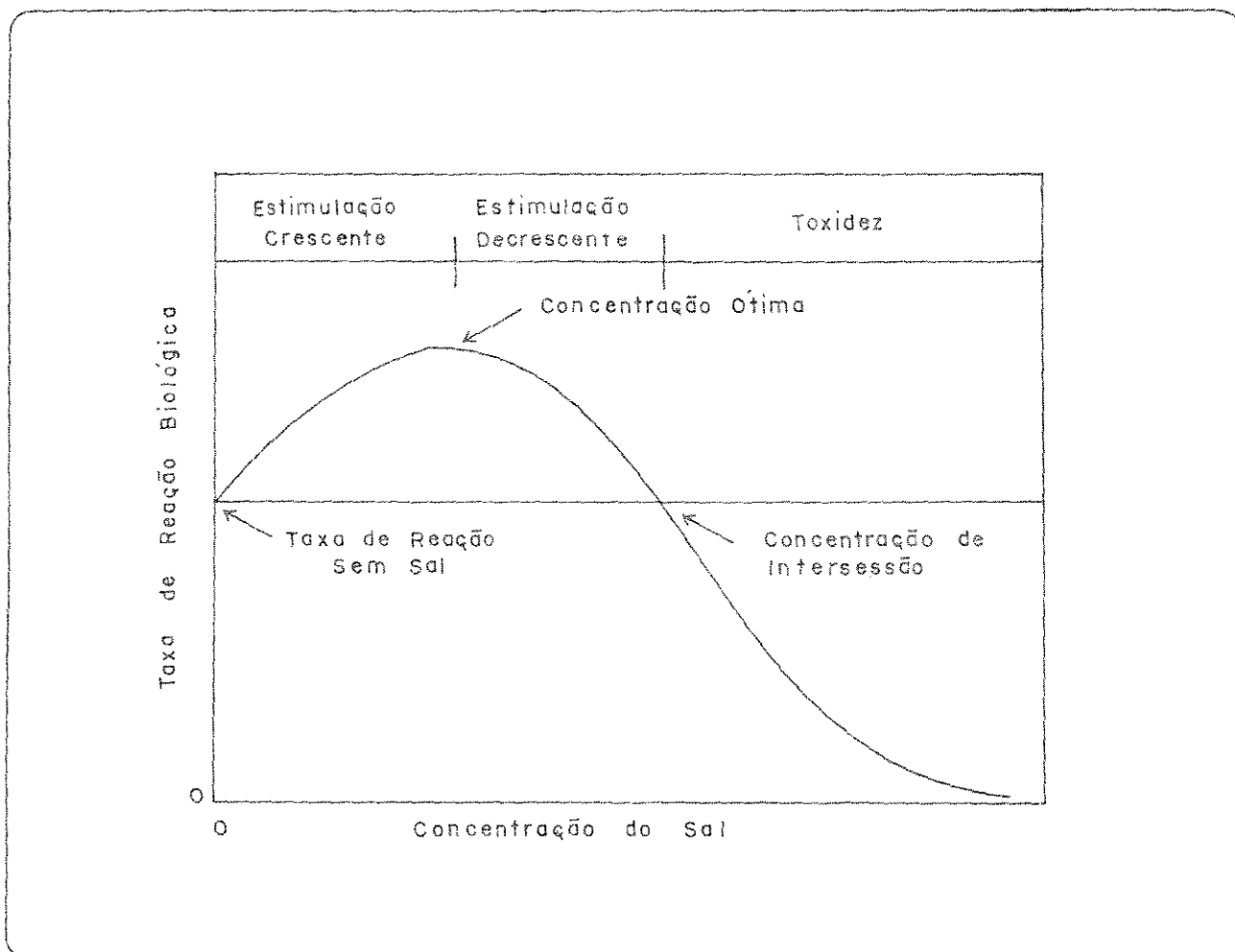


FIGURA 3.5. Efeitos Genéricos de Sais ou Outros Materiais Sobre Reações Biológicas (McCARTY,61).

CRAVEIRO (28) considera que para qualquer substância exercer atividade tóxica às bactérias, deve estar em solução.

SOUZA (102) mostra a importância de cargas de choque de compostos tóxicos que ocasionam danos maiores que a mesma concentração, do mesmo composto, acumulada gradualmente. Isto ocorre, porque na carga de choque não há tempo para uma aclimação dos microrganismos.

### 3.2.3.11.1. Sais de Metais Alcalinos e Alcalinos Terrosos

Mc CARTY (61) cita que a toxidez dos sais de metais alcalinos e alcalinos terrosos deve-se aos cátions, mais que aos ânions. Apresenta também concentrações nas quais são: estimulantes permitindo uma eficiência maior ao processo; moderadamente inibidoras, pois as bactérias conseguem ainda se aclimataram; e, fortemente inibidoras, que retardam o processo por longo tempo. MEYNELL (68), NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), VIEIRA & SOUZA (109) e SOUZA (102) apresentam estes mesmos valores e VAN BUREN (107), apenas os valores moderadamente inibidores. Tabela 3.10.

TABELA 3.10. Concentrações estimulantes e inibidoras de cátions alcalinos e alcalinos-terrosos (Mc CARTY, 61).

cátion	concentrações em mg/l		
	estimulante	moderadamente inibidora	fortemente inibidora
Sódio	100 - 200	3500 - 5500	8000
Potássio	200 - 400	2500 - 4500	12000
Cálcio	100 - 200	2500 - 4500	8000
Magnésio	75 - 150	1000 - 1500	3000

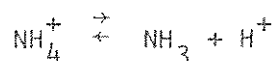
A ref. (3) cita que tais concentrações inibidoras não são comuns em substratos para a biodigestão, entretanto, altos níveis de cloreto de sódio são comuns em rações de gado de corte.

LAPP e seus colaboradores (56) citam que esterco animal são extremamente ricos em sais de metais alcalinos terrosos.

Alguns cátions atuam como antagonistas reduzindo o efeito tóxico de outros, enquanto alguns agem sinergeticamente, aumentando a toxidez de outros cátions (Mc CARTY (61), NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), VIEIRA & SOUZA (109) e SOUZA (102)). As duas últimas referências fornecem que sódio e potássio são os cátions mais antagônicos e cálcio e magnésio, normalmente, são apenas ligeiramente antagônicos.

#### 3.2.3.11.2. Amônia

Segundo Mc CARTY (61) NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), VIEIRA & SOUZA (109) e SOUZA (102), a amônia é produzida a partir da degradação anaeróbia da uréia e proteínas. Pode estar presente tanto na forma do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) como na forma de gás amônia ( $\text{NH}_3$ ) dissolvido. Estas duas formas, em equilíbrio, têm sua concentração relativa em função do pH, segundo a equação:



Para pH de 7,2 ou menos, o equilíbrio tende à esquerda e assim, o efeito inibidor é devido à concentração do íon amônio. Para valores de pH maiores, o equilíbrio tende à direita e o efeito inibidor é devido à concentração do gás amônia. Este tem efeito inibidor para concentrações mais baixas que o íon amônio (Mc CARTY, 61).

A análise de nitrogênio amoniacal dá a soma total das concentrações do íon amônio e do gás amônia. Ver Tabela 3.11.

Ainda para Mc CARTY (61), a solução para evitar-se efeitos negativos do nitrogênio amoniacal estão na diluição com água ou na remoção da fonte de

nitrogênio amoniacal no resíduo propriamente.

TABELA 3.11. Efeitos do Nitrogênio Amoniacal na biodigestão (Mc CARTY, 61).

concentração de nitrogênio amoniacal (mg/ℓ)	Efeitos sobre a biodigestão
50 - 200	benéfico
200 - 1000	não adverso
1500 - 3000	inibidor, para altos pH (>7,4)
acima de 3000	tóxico

LAPP e seus colaboradores (56) encontraram que, para o pH de 8,4, concentrações tão altas quanto 3000 mg/ℓ de amônia não apresentavam efeitos inibidores na produção de biogás. MEYNELL (68) cita que esta mesma concentração de amônia é tóxica para pH acima de 7,0.

VAN BUREN (107), (72) e NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71) citam para a amônia as concentrações inibidoras entre 1500 e 3000 mg/ℓ, como Mc CARTY (61). Já VAN VELSEN & LETTINGA (108) citam diversos autores que obtiveram bom comportamento da biodigestão, mesmo para concentrações maiores que 1500 mg/ℓ e com pH variando de 7,5 a 8.

Para SILVA (102), quando o pH é menor ou mesmo igual a 7,2 a probabilidade do nitrogênio amoniacal ser tóxico é menos provável por ter-se a predominância do íon amônio.

### 3.2.3.11.3. Sulfetos

Os sulfetos estão presentes na biodigestão quando são introduzidos juntamente com a alimentação ou quando se originam da redução de sulfatos e da decomposição anaeróbia de proteínas (Mc CARTY (61) e NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71)). Esta última referência e SOUZA (102) citam que concentrações de sulfetos solúveis entre 50 e 100 mg/l são bem toleradas, independentemente de aclimatação. Até 200 mg/l é necessário aclimatação e acima deste valor, a concentração de sulfetos solúveis torna-se tóxica.

Os sulfetos, quando associados a cátions de metais pesados, são insolúveis e, assim, precipitam-se removendo a toxidez devido tanto aos sulfetos quanto aos metais pesados (Mc CARTY (61), VIEIRA & SOUZA (109), CRAVEIRO (29) e SOUZA (102)).

#### 3.2.3.11.4. Metais Pesados

Concentrações de sais solúveis de cobre, zinco e níquel são tóxicas mesmo para valores baixos. O cromo hexavalente também é tóxico, embora, geralmente, seja reduzido a trivalente, que é relativamente insolúvel. Os sais de metais mais tóxicos (cobre, zinco e níquel) podem estar presentes em concentrações maiores na presença de sulfetos, pois reagem e formam um produto insolúvel, que por sua vez precipita e não inibe a biodigestão. Não existindo sulfetos em quantidade suficiente para neutralizar a toxidez dos metais pesados presentes, pode-se adicionar sulfeto de sódio ou um sal sulfatado (Mc CARTY, 61). VAN VELSEN & LETTINGA (108) citam o mesmo que Mc CARTY (61) e acrescentam que os sais de metais pesados na forma de cloretos são extremamente tóxicos.

VIEIRA & SOUZA (109) apresentam a Tabela 3.12 referente aos limites de concentração de metais pesados solúveis.

Para MEYNELL (68), se sais de metais pesados (cobre e zinco, por exemplo) são suspeitos de estarem sendo tóxicos, a solução é elevar o pH com cal e adicionar sulfeto de sódio. Desta forma estes metais precipitam e deixam de ser tóxicos.



TABELA 3.12. Limites de concentrações em Metais Solúveis (VIEIRA & SOUZA, 109).

metais	concentrações (mg/l)
Cromo	3
Níquel	2
Zinco	0,2-1
Cobre	0,5-0,9
Ferro	2,8

O BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) afirma que a toxidez proveniente de metais pesados, zinco, cobre e arsênico, não são problema em biodigestores com resíduos bovinos.

VAN BUREN (107) cita as concentrações a partir das quais os metais pesados passam a ser inibidores na Tabela 3.13.

TABELA 3.13. Concentrações inibidoras para alguns metais pesados (a partir de VAN BUREN, 101).

metais pesados	concentrações (mg/l)
Cobre	100
Cromo	200
Níquel	200-500

Os metais pesados podem ter sua toxidez combatida, precipitando-os como sais de sulfetos ou de carbonatos, exceto o cromo que não origina sais insolúveis (VIEIRA & SOUZA, 82).

### 3.2.3.11.5. Matéria Orgânica

MEYNELL (68) e SANTIAGO & CRESTANA (91) mencionam que materiais sintéticos, em especial detergentes e hidrocarbonetos clorados, como clorofórmio, são tóxicos às bactérias metanogênicas. Antibióticos, desinfetantes e pesticidas, largamente utilizados em fazendas, não devem ter acesso ao biodigestor, pois são também tóxicos às bactérias. No caso de doenças, segundo o BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) e PARCHEN (77), em que doses grandes de antibiótico são ministradas aos animais não se deve utilizar seu esterco como substrato.

Para BATISTA (7), hidrocarbonetos clorados tais como clorofórmio, tetracloroeto de carbono e outros utilizados como inseticidas ou solventes se constituem em fortes agentes tóxicos à biodigestão anaeróbia.

Conforme Mc INERNEY & BRYANT (67) as concentrações em que esses matereiais são tóxicos é de difícil determinação, uma vez que podem ser modificadas, por interações complexas ou adaptação dos microrganismos.

SOUZA (102) comenta que, os detergentes biodegradáveis (LAS — alquilbenzeno sulfonatos lineares), são degradados apenas aerobiamente, não o sendo, em grau apreciável, em condições anaeróbias e provocando também inibição à biodigestão.

### 3.2.4. Parâmetros adicionais para controle da Biodigestão

#### 3.2.4.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Mc CARTY (62) afirma que a DBO pode ser removida através da conversão em metano ou da separação de células bacterianas e sólidos suspensos no efluente. Apenas está estabilizada a parcela que é transformada em metano (quando se tem o período de retenção hidráulico igual ao de retenção de sólidos).

CHANIN (21) observa que ao se analisar a DBO no substrato, antes e

após o biodigestor, se obtém uma medida da quantidade de respiração endógena ou de estabilização que aí ocorre, uma vez que, a DBO é muito afetada pela matéria degradável presente.

VIEIRA & SOUZA (109) citam que a DBO e a DQO são parâmetros que apresentam indiretamente o conteúdo de matéria orgânica de um resíduo através da medida da quantidade de oxigênio necessária para oxidar biologicamente (DBO) ou quimicamente (DQO) a matéria orgânica. No caso de resíduos com teores elevados de sólidos, a importância destes testes é verificar a eficiência da remoção de matéria orgânica do processo.

Segundo Mc CARTY (59) e SOUZA (102), a DBO removida no sistema entre o afluente e o efluente é transferida aos gases, enquanto o dióxido de carbono não exerce demanda de oxigênio por já estar totalmente oxidado. O que resulta é a DBO correspondente ao metano. Com base na Equação 3.2., tem-se que 1g de DQO removida é equivalente à produção de 0,35 l de metano nas condições normais de pressão e temperatura. Assim, pode-se estimar a remoção possível de DQO ou, conhecida esta, estimar-se a produção possível de metano.

KOTZÉ e seus colaboradores (54) calculam a eficiência de um biodigestor através da diferença entre a DQO ou do teor de carbono do afluente e do efluente, e, através da porcentagem de conversão da DQO do afluente em gás. A diferença entre ambas eficiências pode ser tomada como a quantidade de carbono transformada em células microbianas.

#### 3.2.4.2. Odor

Conforme MEYNELL (68) um efluente bem digerido deve apresentar um odor suave e inofensivo.

Este é um parâmetro de controle prático, uma vez que, se o efluente do biodigestor apresentar odor acentuado, é sinal que a biodigestão não está transcorrendo como devia. Pode ser problema com substâncias tóxicas introduzidas com a carga, excesso de carga ou tempo de retenção muito pequeno. Enfim ,

não está ocorrendo biodigestão completa e deve-se procurar a razão a fim de saná-la.

### 3.3. Tipos de Biodigestores

Na natureza, a biodigestão anaeróbia ocorre naturalmente e é possível imitá-la criando artificialmente as condições necessárias para que a população bacteriana se desenvolva. Assim, o biodigestor, digestor ou reator, nada mais é do que um recipiente destinado a conter o substrato e o biogás, sendo isolado do ar livre e, quando necessário, permitindo a criação de condições que favoreçam mais a atividade bacteriana.

Há muitos projetos de biodigestores que variam desde os mais simples até os mais sofisticados. Em se tratando de biodigestores rurais, para os quais este trabalho dá ênfase, devem ser simples, a fim de que sua manutenção seja acessível a todos e, também, possível ao nível técnico-cultural dos operadores. Cada unidade a ser construída deve, portanto, ser adaptada às necessidades e condições locais.

Em relação aos materiais de construção há uma variedade muito grande, conforme as disponibilidades locais. Existem, biodigestores construídos em alvenaria de tijolos de barro, blocos de concreto, metálicos, materiais flexíveis e combinações entre esses materiais.

Os biodigestores, segundo a forma de sua alimentação, podem ser divididos em três tipos básicos: contínuo, semi-contínuo e estáticos ("batch").

#### 3.3.1. Biodigestores Contínuos

Os biodigestores de tipo contínuo são aqueles nos quais a alimentação é fornecida continuamente, vinte e quatro horas por dia. Não são empregados no meio rural, tendo seu uso limitado às indústrias (CARVALHO, 18).

### 3.3.2. Biodigestores Estáticos

Os biodigestores do tipo estático ou "batch" ou ainda, de batelada, são os mais simples. A alimentação é inserida toda de uma única vez, correspondendo à sua capacidade total. São selados e reabertos, somente quando a biodigestão anaeróbia terminar, ou seja, cessar a produção de gás.

Segundo ELLSWORTH e ABELES (34), esse tipo de biodigestor requer um tempo de retenção maior que o semi-contínuo, já que as bactérias permanecem no tanque ao invés de, a cada carga, serem removidas. É um biodigestor geralmente sem aquecimento, com baixo custo de mão-de-obra para operação.

Nesse tipo de unidade, a produção de gás é variável, segundo uma curva do tipo da Curva de Gauss, de acordo com o consumo de sólidos voláteis e o desenvolvimento bacteriano. Esse fato prejudica o uso a que se destina o biogás, mas pode ser contornado pela ligação de diversos biodigestores em série e alimentados em diferentes tempos de forma a termos, diariamente, um volume constante de gás disponível (PENN. ST. UNIV., 78). Figura 3.6.

Como a carga e descarga são realizadas sem a utilização de tubulações, este tipo de biodigestor presta-se para qualquer tipo de material orgânico, sendo indicado para a digestão de restos de cultura (ref. (5), BEZERRA (10) e ALENCAR (1)), chegando a ter 40 a 60% de sólidos totais no biodigestor (OLADE (HESS (47), CRAVEIRO (28) e SGANZERLA (95))).

Para os materiais fibrosos ou de difícil digestão é o mais adequado, devido à facilidade com que o tempo de retenção pode ser acrescido, aliado ao fato de ser ideal para resíduos que têm sua produção com intervalos irregulares (MEYNELL, 68).

Podem ter gasômetros incorporados no biodigestor ou construídos separadamente.

Gasômetro é a parte do biodigestor que acumula o biogás. Quando construído separadamente consiste em um tanque com água (selo hídrico) e uma câmara para armazenar e dar pressão ao gás. Figura 3.7.

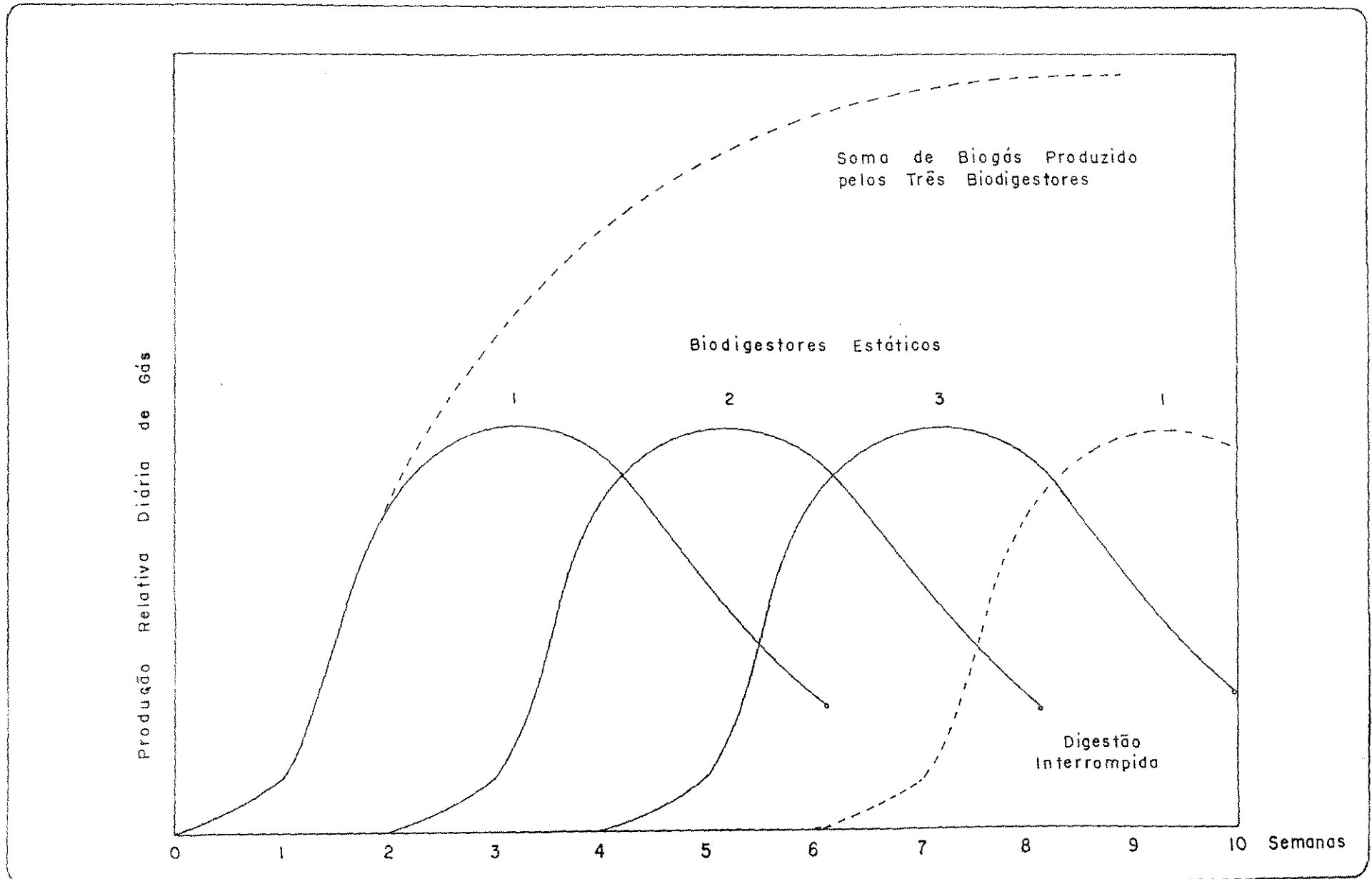


FIGURA 36. Fluxo Contínuo de Biogás com Três Biodigestores Estáticos em Série (MEYNELL,68).

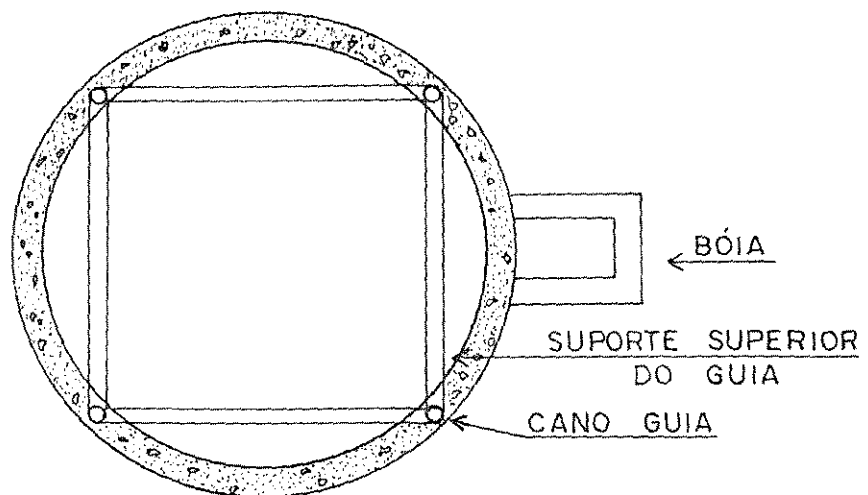
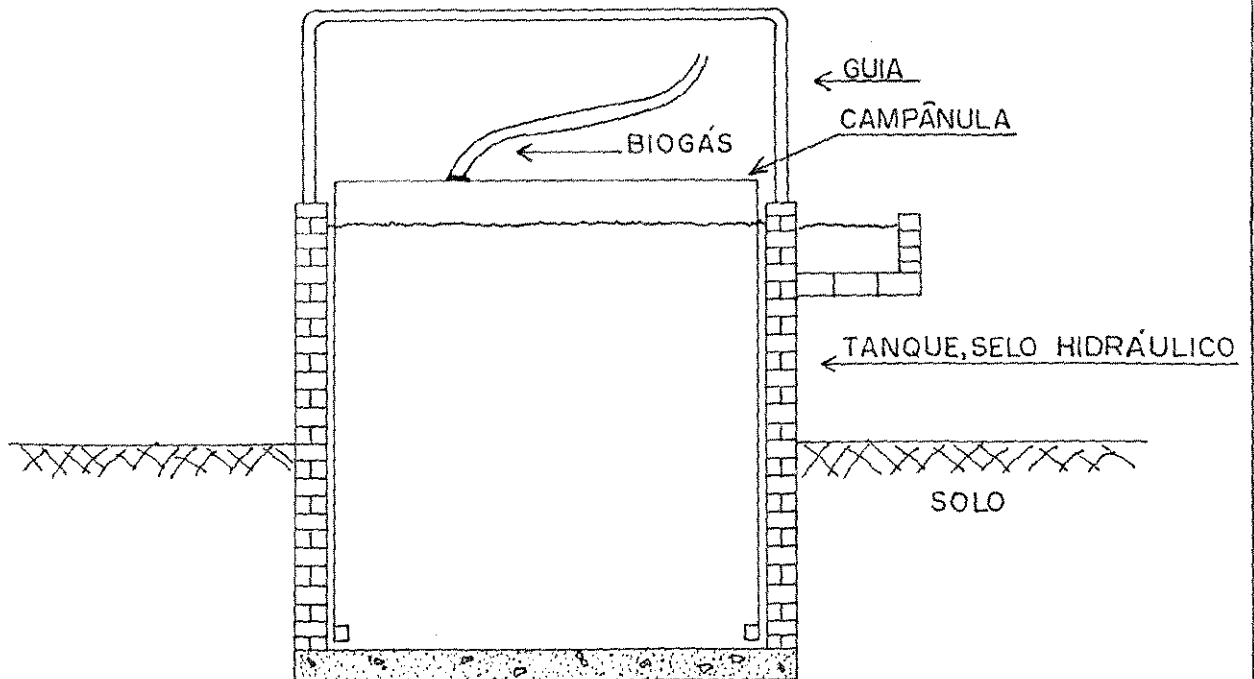


FIGURA 3.7. Gasômetro Construído Separadamente do Corpo do Bio-digestor (Ref. 11).

Nestes biodigestores pode-se notar uma estratificação segundo as densidades, como se pode ver na Figura 3.8.

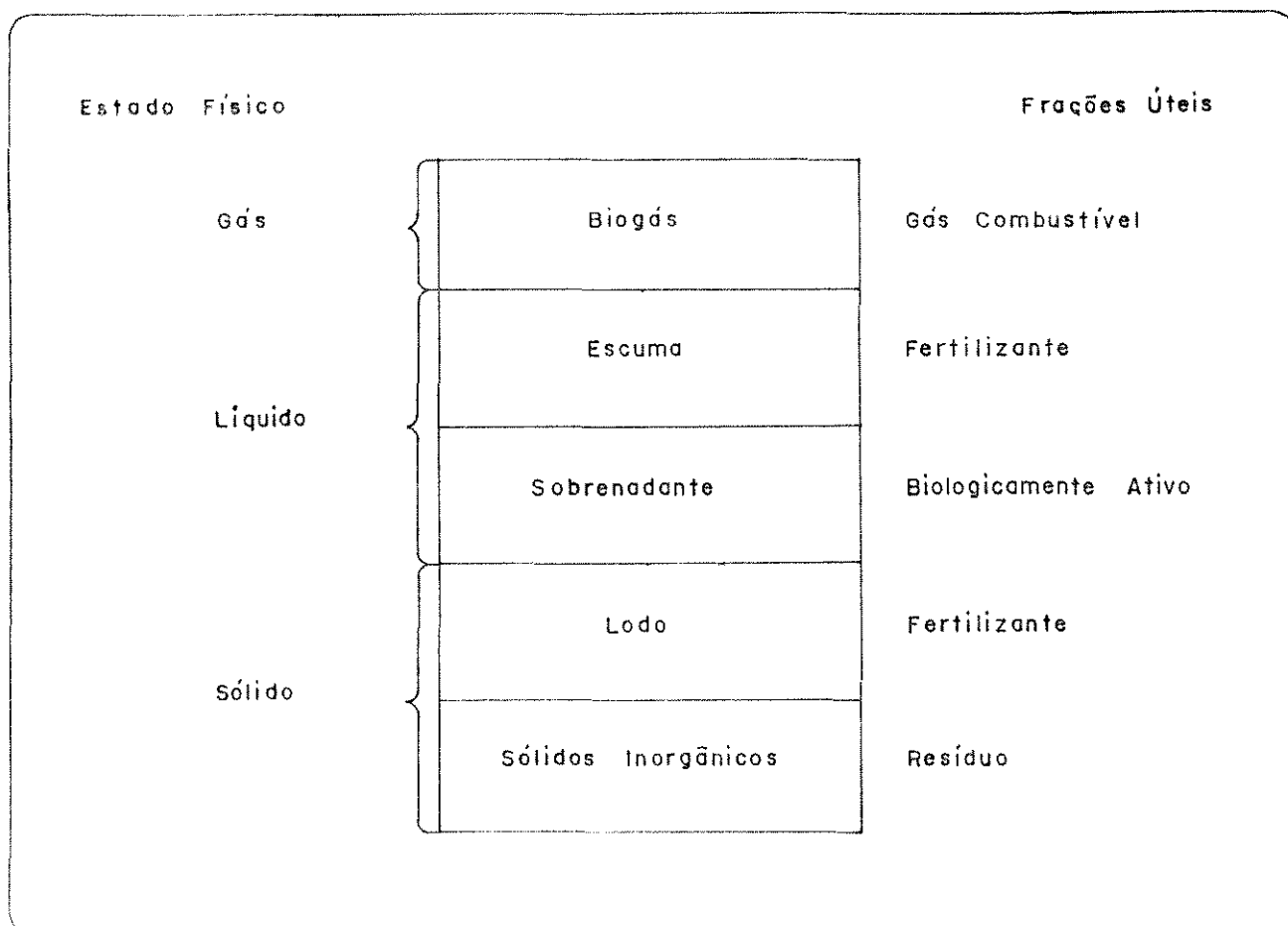


FIGURA 3.8. Estratificação no Biodigestor (NÁAS,70)

Os biodigestores estáticos são muito empregados em escala de laboratório — 1 a 10 litros — para testar a biodigestibilidade de um resíduo e os parâmetros que nela influem.

### 3.3.3. Biodigestores Semi-Contínuos

Os biodigestores de tipo semi-contínuos são aqueles nos quais a alimentação é introduzida a intervalos regulares de tempo, em geral, diariamente e em quantidades constantes. Para cada carga, descarrega pelo princípio de va



so comunicantes a massa já digerida em seu interior, em igual volume (exceção feita ao biodigestor chinês, item 3.3.3.3.1).

A movimentação interna da massa em biodigestão, durante a alimentação do biodigestor, permite um maior contato das bactérias com a matéria orgânica presente, bem como a remoção de bolhas de gás já produzido, que envolvam as bactérias. Com isso, as condições para a biodigestão são bastante melhoradas.

Quando o biodigestor está em regime, a produção de gás é consistente e relativamente constante, já que as bactérias têm o substrato renovado periodicamente e portanto, uma fonte renovável de sólidos voláteis para digerirem.

A carga do material de alimentação e a descarga de material digerido são realizadas, via de regra, através de tubulações. Isto limita a utilização deste tipo de biodigestor a substratos fluidos.

Os biodigestores semi-contínuos podem ser classificados, segundo o tipo de fluxo em: "plug flow", completamente agitados ("completely mixed") e parcialmente agitados.

#### 3.3.3.1. Biodigestores tipo "plug-flow"

MEYNELL (68) descreve que ao serem colocados vários biodigestores estáticos em série, alimentados a intervalos tais que a produção de gás seja constante e levando esta idéia adiante, de modo que os intervalos entre alimentações sejam regulares e estabelecendo todos os digestores estáticos em um único tanque maior, tem-se o que é conhecido como sistema semi-contínuo "plug-flow" (ou deslocamento).

No sistema tipo "plug flow" o material de alimentação, fresco, empurra a massa do interior, fazendo com que aquela que já percorreu todo o tanque e está estabilizada seja descarregada. É como se estivesse percorrendo uma tubulação (ELLSWORTH & ABELES, 34).

Como há necessidade de fluxo dentro do biodigestor, o material de alimentação deve ser fluido.

Segundo MEYNELL (68), há dois tipos principais de "plug flow": o horizontal e o vertical. Em ambos, pode-se agitar regularmente para quebrar a espuma e ainda promover uma leve mistura entre as bactérias no material que está entrando, transversalmente ao fluxo. MEYNELL (68) cita Fry, 1973, ao relatar que essa agitação não deve ser regular, com risco de ser prejudicial ao sistema.

ELLSWORTH & ABELES (34) consideram o sistema "plug flow" como sendo ideal para resíduos bovinos, devido ao elevado teor de sólidos.

#### 3.3.3.1.1. Biodigestor "plug flow" horizontal

São aqueles em que a maior dimensão está assente, paralelamente ao solo.

Sua utilização é interessante quando se trata de estruturas enterradas e, no local da construção, o nível do lençol freático for alto. Desta forma, a menor profundidade é compensada por um comprimento maior.

Geralmente são construídos em alvenaria, metal ou material flexível. Figuras 3.9 a 3.11.

Os modelos construídos acima do nível do solo, apesar da vantagem aparente de economizar escavação, têm efeitos sensíveis da variação da temperatura ambiente.

No biodigestor horizontal construído em alvenaria, o gasômetro que serve para vedar e armazenar biogás é separado. São geralmente retangulares, com grande comprimento, o que dificulta a instalação da campânula. É possível, entretanto, instalar diversas campânulas menores, restando a colocação de guias que impeçam às campânulas intermediárias de se deslocarem em direção às campânulas vizinhas. Figura 3.12.

O controle para movimentos verticais, apenas das campânulas, pode ser obtido fazendo com que o centro de gravidade das mesmas situe-se sempre numa linha vertical, passando pelo centro geométrico delas e abaixo do nível

da mistura em digestão. Isto é conseguido empregando-se pesos para balanceá-la.

Para os materiais flexíveis empregados tanto para o biodigestor como para as campânulas, o Ministério da Marinha do Brasil desenvolveu uma lona impermeável (ver item 3.3.3.3.2).

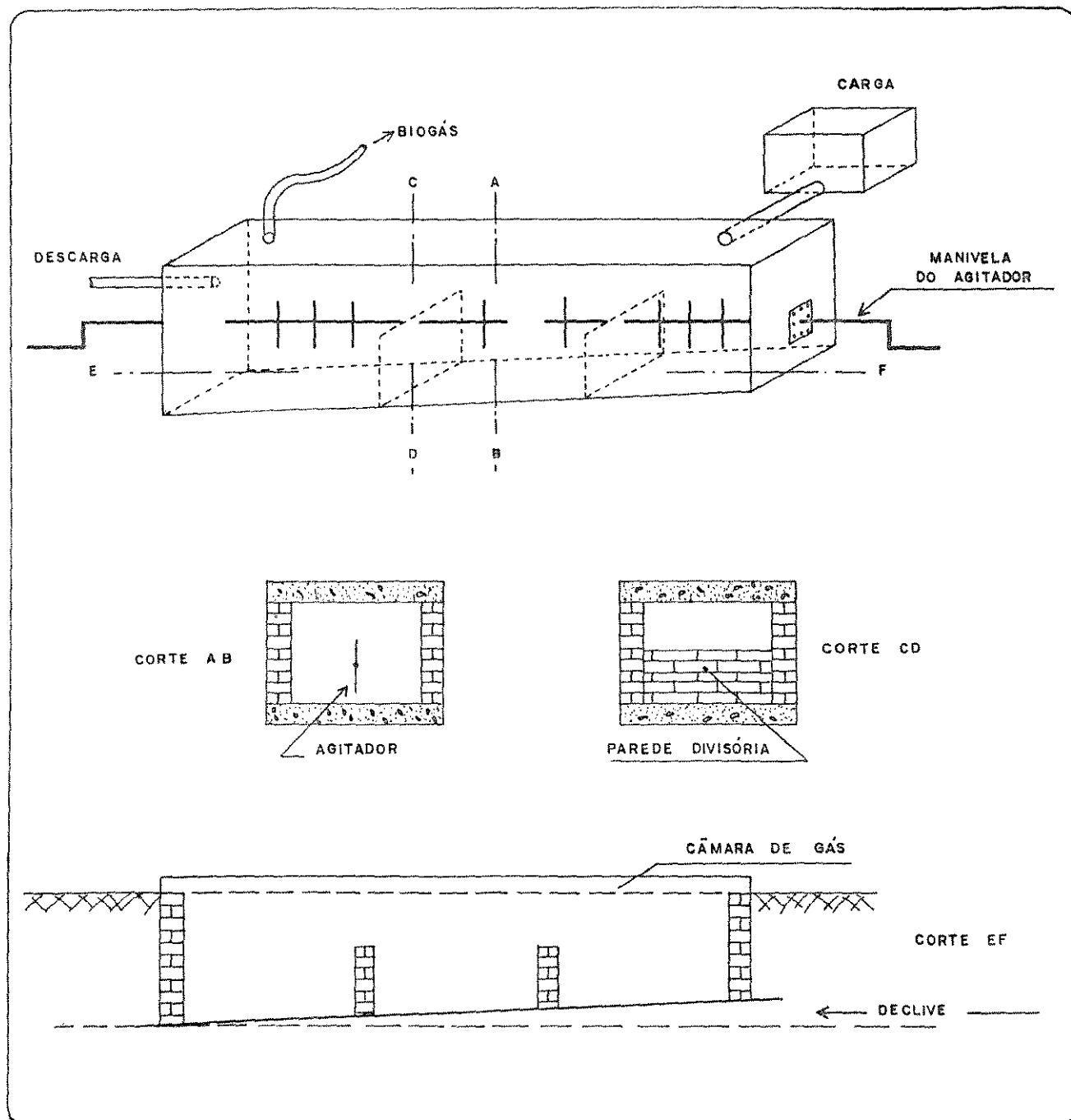


FIGURA 3.9. Biodigestor "Plug Flow" Horizontal em Alvenaria (BATISTA,7).

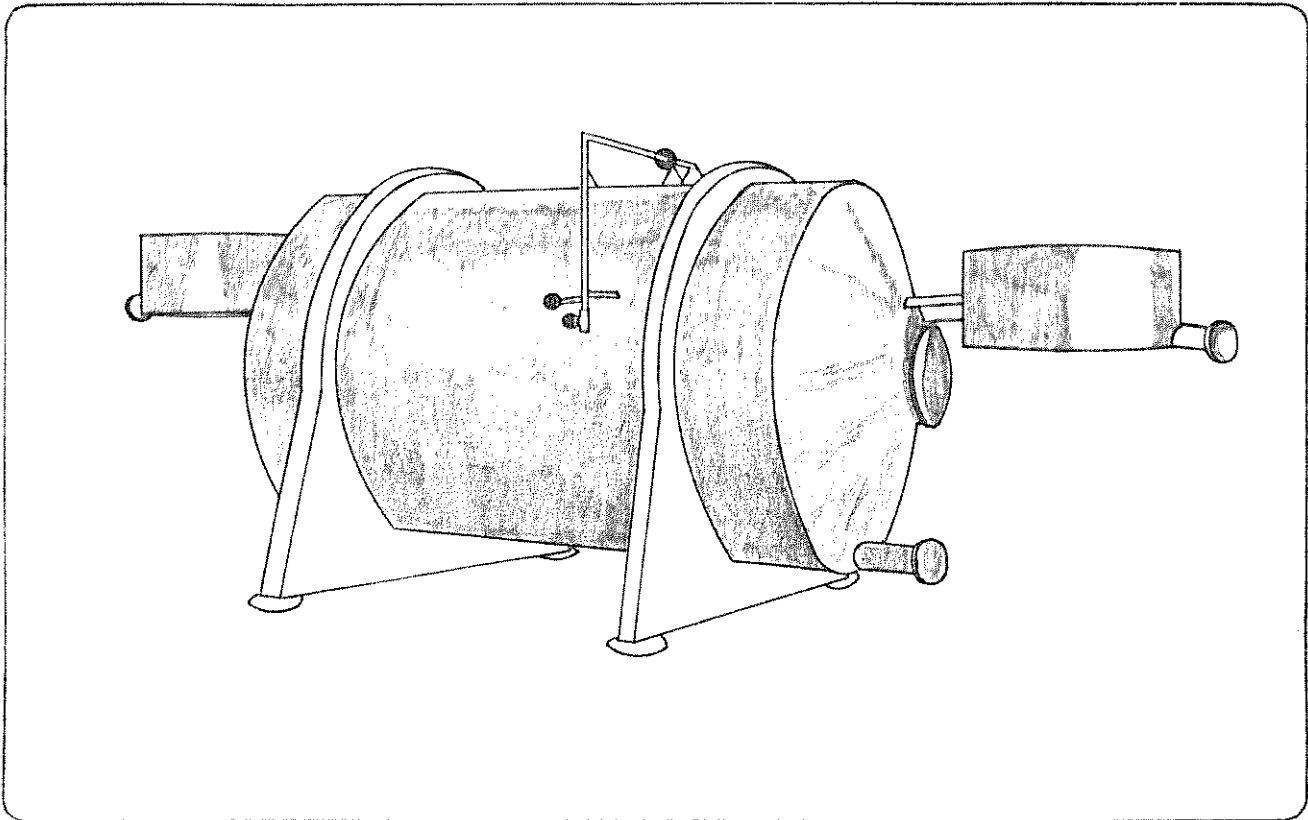


FIGURA 3.10. Biodigestor "Plug Flow" Horizontal, Construído em Aço-Carbono \_ Biodigestor Horizontal Penha (Adaptado de SGANZERIA, 95 ).

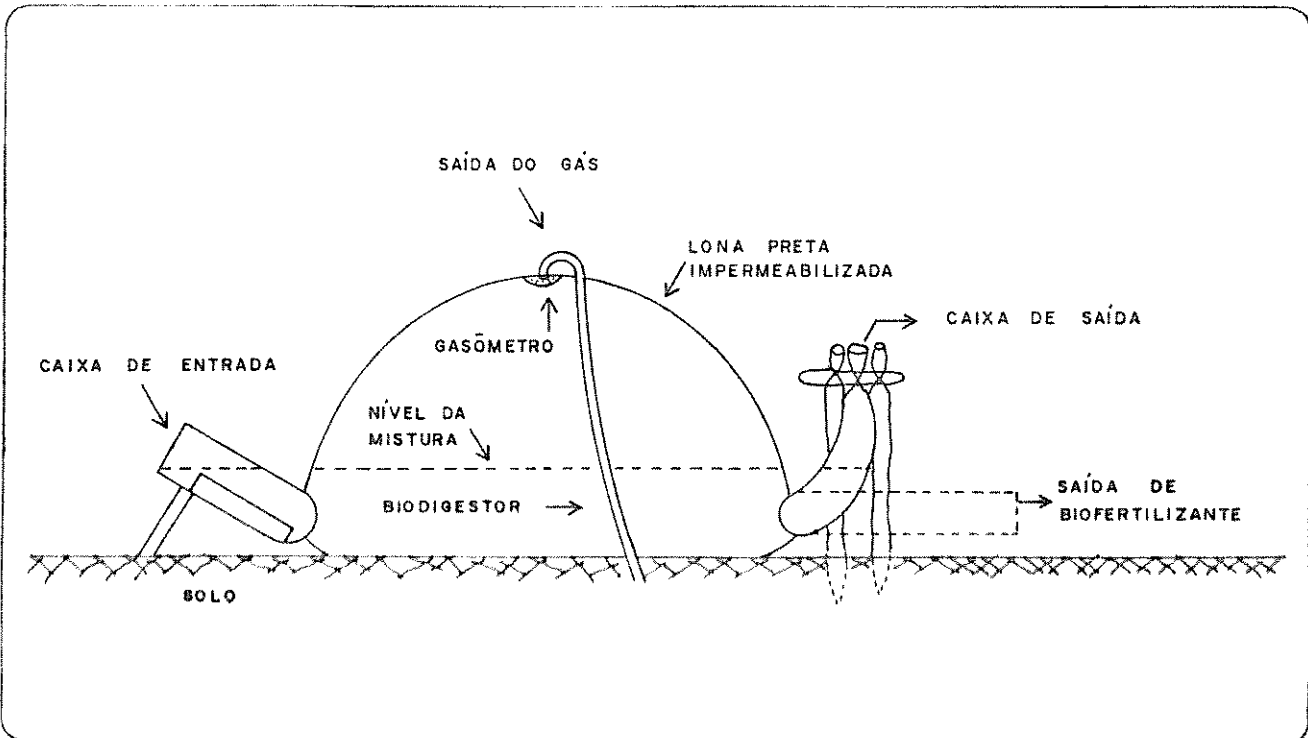


FIGURA 3.11. Biodigestor da Marinha. Modelo I (Ref.11).

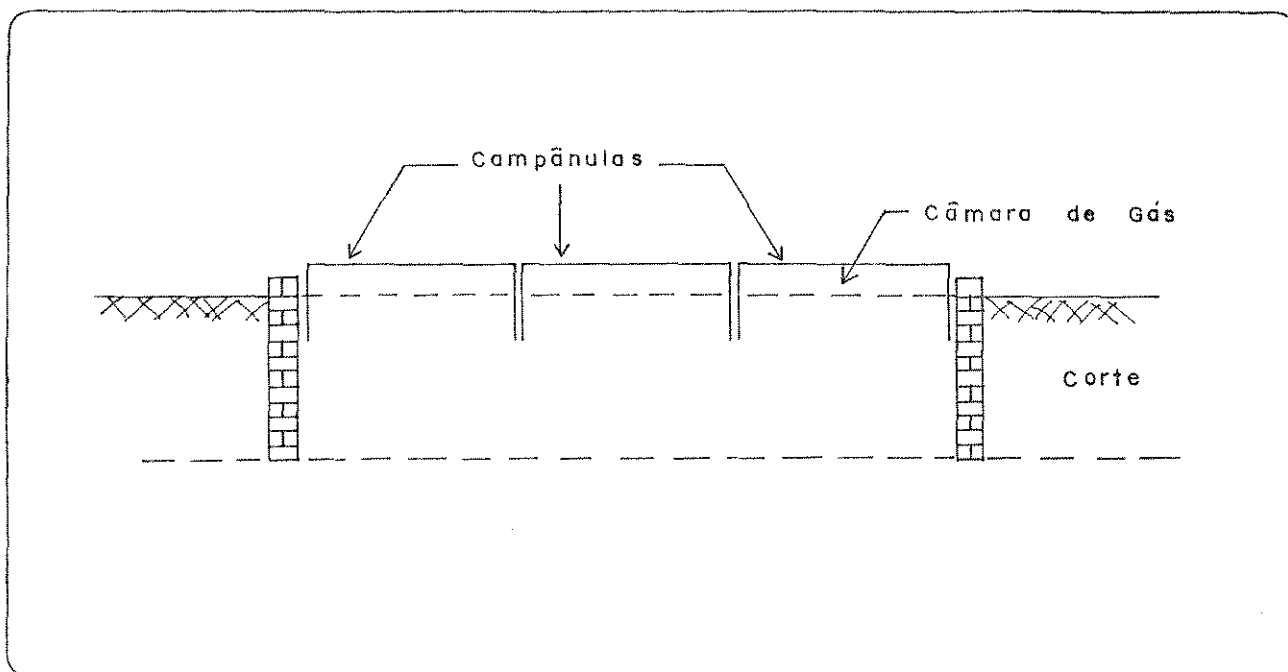


FIGURA 3.12. Biodigestor Horizontal com Diversas Câmpânulas.

Em Taiwan, segundo CHUNG (23), em 1974, foi desenvolvido um plástico resistente aos raios ultravioletas do sol, apenas impregnando-o com barro vermelho. Com este tratamento, o "plástico", chamado RMP ("red mud plastic"), tem durabilidade de dez anos sob sol tropical.

No Brasil, atualmente, muitas empresas fornecem câmpânulas em material flexível.

#### 3.3.3.1.2. Biodigestor "plug flow" vertical

MEYNELL (68) define o biodigestor "plug flow" vertical àquele montado verticalmente, como o modelo Indiano de câmara única. Considera ainda que, neste modelo vertical, provavelmente, a agitação regular da crosta tem maior efeito, mas que o longo período de retenção usual (30 dias) minimiza-o. Figura 3.13.

A descrição deste modelo, está no item 3.3.3.3.2.

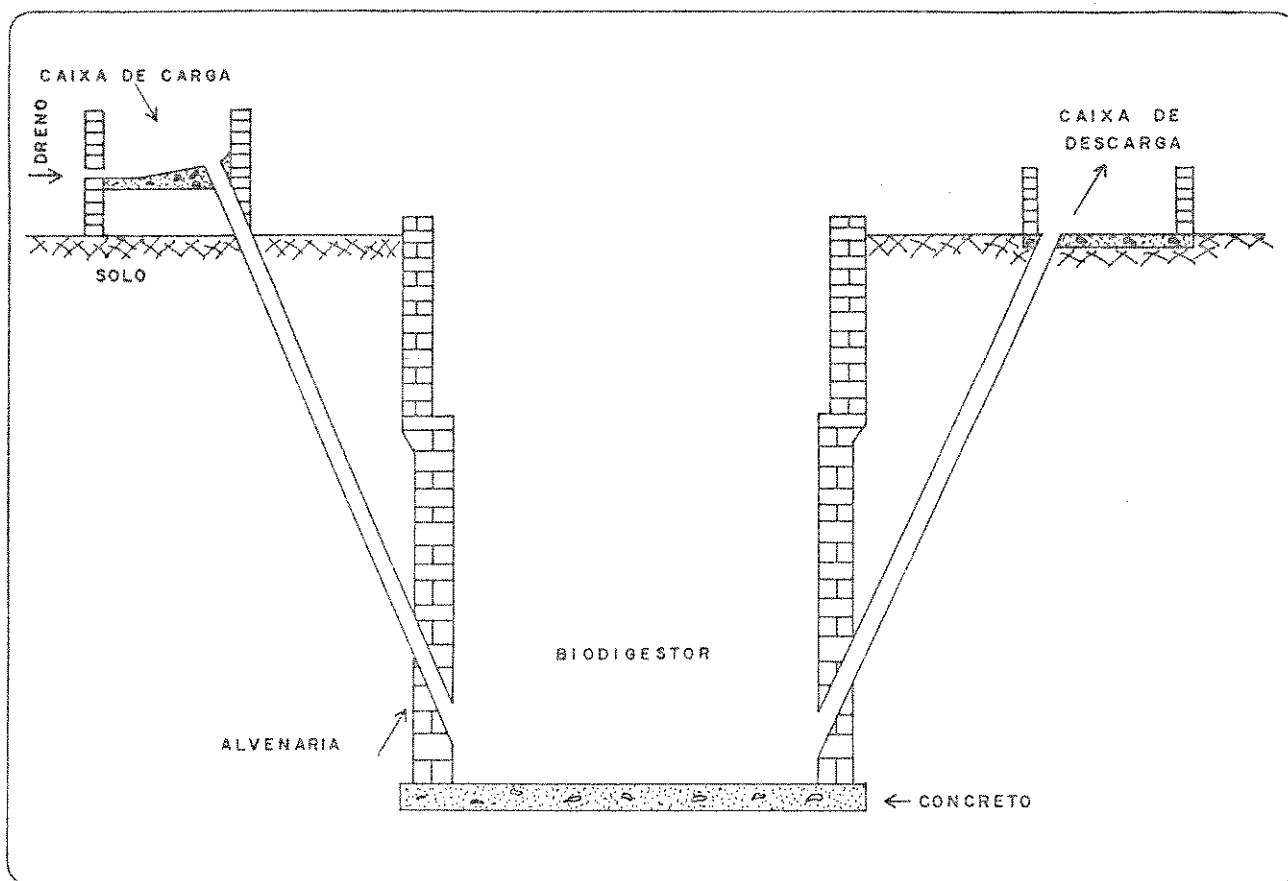


FIGURA 3.13. Biodigestor Modelo Indiano com Câmara Única  
(Adaptado de PENN. ST. UNIV, 78).

### 3.3.3.2. Biodigestores tipo Completamente Agitado ("Completely mixed")

O biodigestor completamente agitado pode ser tanto do tipo horizontal como vertical, desde que seja equipado com misturadores mecanizados, que garantam a homogeneidade da mistura em toda a massa fluida (ELLSWORTH & ABELLES, 34).

Em termos de biodigestores rurais, praticamente não são empregados. São típicos de tratamentos industriais e de esgotos municipais. Podem ser interessantes no caso de esterco suíno e de galinhas onde a agitação completa pode ser usada para não permitir a sedimentação dos sólidos presentes

(ELLSWORTH & ABELES,34).

### 3.3.3.3. Biodigestores Parcialmente Agitados

São aqueles nos quais o fluxo não pode ser classificado nem como "plug flow" e nem como completamente agitados.

É a agitação promovida ao fluxo, que o descaracteriza como "plug flow", mas que ainda não o caracteriza para fluxo completamente agitado. Pode ser também devido à geometria do tanque ou a agitadores.

#### 3.3.3.3.1. Modelo Chinês

O biodigestor modelo chinês é construído totalmente enterrado, tendo apenas uma abertura estreita, da ordem de 0,60m, para manutenção e limpeza. É totalmente executado em alvenaria de tijolos de barro, tendo o fundo levemente arredondado e a parte superior circular.

Abóbada, domo ou cúpula são termos empregados por diversos autores para denominar a parte superior, de forma circular, neste tipo de biodigestor. Ver Figura 3.14.

Como não possui partes móveis, sua instalação é simples e de relativamente baixo custo. Mas, SGANZERLA (95) salienta que, embora não tenha um projeto difícil, a abóbada exige um pedreiro especializado e o terreno deve ser muito bem adensado, de maneira a que a estrutura como um todo seja estanque ao biogás. VAN BUREN (107) realça a potencialidade de acidentes durante a construção da abóbada em alvenaria.

Comumente é alimentado uma vez por dia e a sua descarga pode ser diária ou mesmo semanal (CRAVEIRO 28). Quando não é automática a descarga deve ser realizada manualmente ou por bombeamento externo (IPT, 51).

Segundo SILVA (97), ao se realizar a descarga periódica no biodigestor chinês, que deve ser anterior à carga, é necessário observar o manômetro.

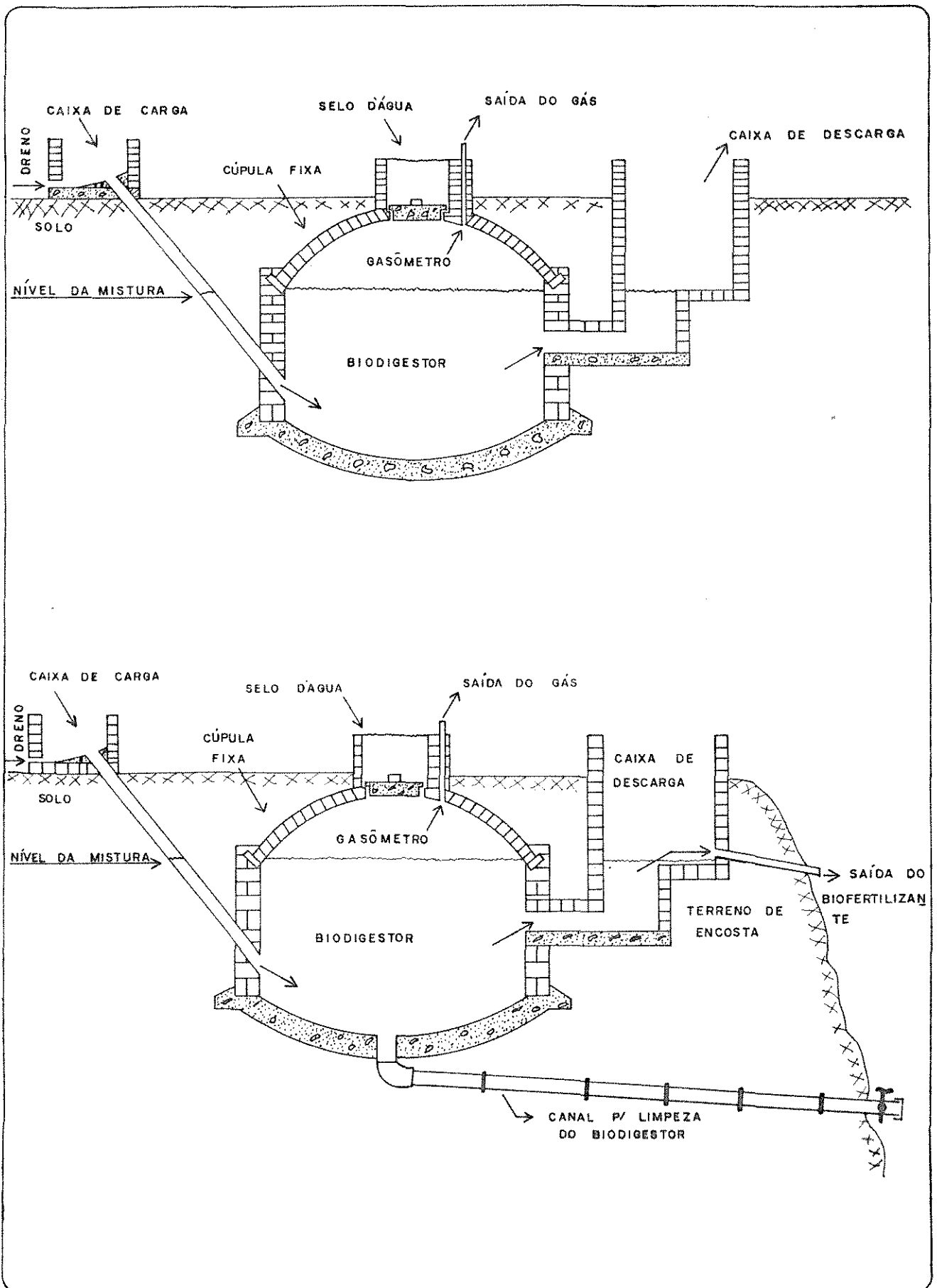


FIGURA 3.14. Biodigestor Modelo Chinês (Ref. II).



Se a pressão no interior do biodigestor for inferior a 10 cm.c.a., deve-se ter muito cuidado e não retirar muito material, de forma a evitar-se a pressão negativa (vácuo) no interior do digestor. Esta pode provocar um refluxo da chama e até a explosão de todo o biodigestor, em caso extremo (IPT, 51).

O gás, biogás, produzido é armazenado sob a abóboda (cúpula) e conforme a taxa de produção e a de utilização tem-se uma pressão variável (CRAVEIRO, 28).

NYNS e colaboradores (73) e CRAVEIRO (28) afirmam que os sólidos presentes na biomassa, quando no biodigestor chinês, sedimentam-se fazendo com que, pelo menos 1 a até 3 vezes ao ano, tenha-se que esvaziar o biodigestor para limpeza, variando conforme o tipo de material de alimentação. Os sólidos sedimentam-se porque como a descarga é realizada antes da carga, o material removido é apenas o sobrenadante, ficando os sólidos sedimentados no fundo do biodigestor. Estes ao se acumularem vão provocando a diminuição do tempo de retenção do material dentro do biodigestor, afetando, pois, negativamente a biodigestão. Em caso de limpeza, é sugerido que se reserve um quinto (1/5) da massa em biodigestão para servir como inóculo para o reinício da operação.

A caixa de saída do biodigestor chinês pode transformar-se em uma câmara reguladora de pressão, simplesmente controlando-se o nível da mistura em seu interior, alterando-se a periodicidade da descarga (SGANZERLA, 95).

A pressão do biogás no aparelho é variável como já foi visto e pode chegar a até 1,00 m.c.a., segundo CRAVEIRO (28), CARVALHO (18), (12). Esta é, talvez, a maior desvantagem deste biodigestor.

O modelo chinês apresenta suas dimensões correlacionadas e, portanto, tem uma versatilidade de construção pequena, quando há problemas com o nível do lençol freático (SGANZERLA, 95).

CHEN (22) considera que, devido à abóboda, este tipo de biodigestor é adequado em tamanhos médio e pequeno, já que para grandes diâmetros, a abóboda torna-se um ponto crítico de construção.

A tampa de acesso também é ponto crítico no biodigestor chinês e de

ve ser completamente vedada para evitar vazamentos de biogás (IPT, 51).

#### 3.3.3.3.2. Modelo Indiano

No modelo indiano, o biodigestor é construído em alvenaria e tem o gasômetro incorporado, porém independente.

O biodigestor indiano nada mais é que um tanque construído em alvenaria, enterrado, com forma cilíndrica e de um gasômetro que veda a passagem do ar atmosférico até a massa em biodigestão.

Entre a parede do biodigestor e a face externa do gasômetro forma-se um "selo" da própria mistura que veda a saída do biogás (IPT, 51).

CRAVEIRO (28) cita que o gás é armazenado na cúpula flutuante, permitindo, assim, que a pressão seja constante.

O gasômetro é constituído por uma campânula metálica, que flutua sobre o biodigestor, à medida em que o biogás produzido e não consumido vai se acumulando. O peso da campânula é que fornece a pressão ao biogás, sendo esta constante. À proporção que o biogás começa a se acumular, vai aumentando a sua pressão até conseguir levantar a campânula, vencendo o peso próprio desta. A partir desse ponto, a pressão no biogás é constante e a campânula passa a subir à medida em que mais gás é acumulado, aumentando o volume armazenado. Evidentemente, deve-se tomar cuidado para que a campânula não se eleve demais, a ponto de perder sua estabilidade e permitir a entrada de ar atmosférico em seu interior. Deve-se acoplá-la a um elemento que sirva como guia.

Se necessário, pode-se variar a pressão do biogás adicionando-se peso à campânula ou diminuindo-o com contrapesos. Normalmente, a pressão do biogás está entre 5 e 15 cm.c.a. ( 0,005 a 0,015 kgf/cm<sup>2</sup>). A campânula, quando metálica, deve ser pintada anualmente e trocada após 10 anos (CRAVEIRO, 28).

O modelo indiano, apesar, de existir com câmara simples, Figura 3.13, o modelo com câmara dupla é a forma mais difundida. Figura 3.15.

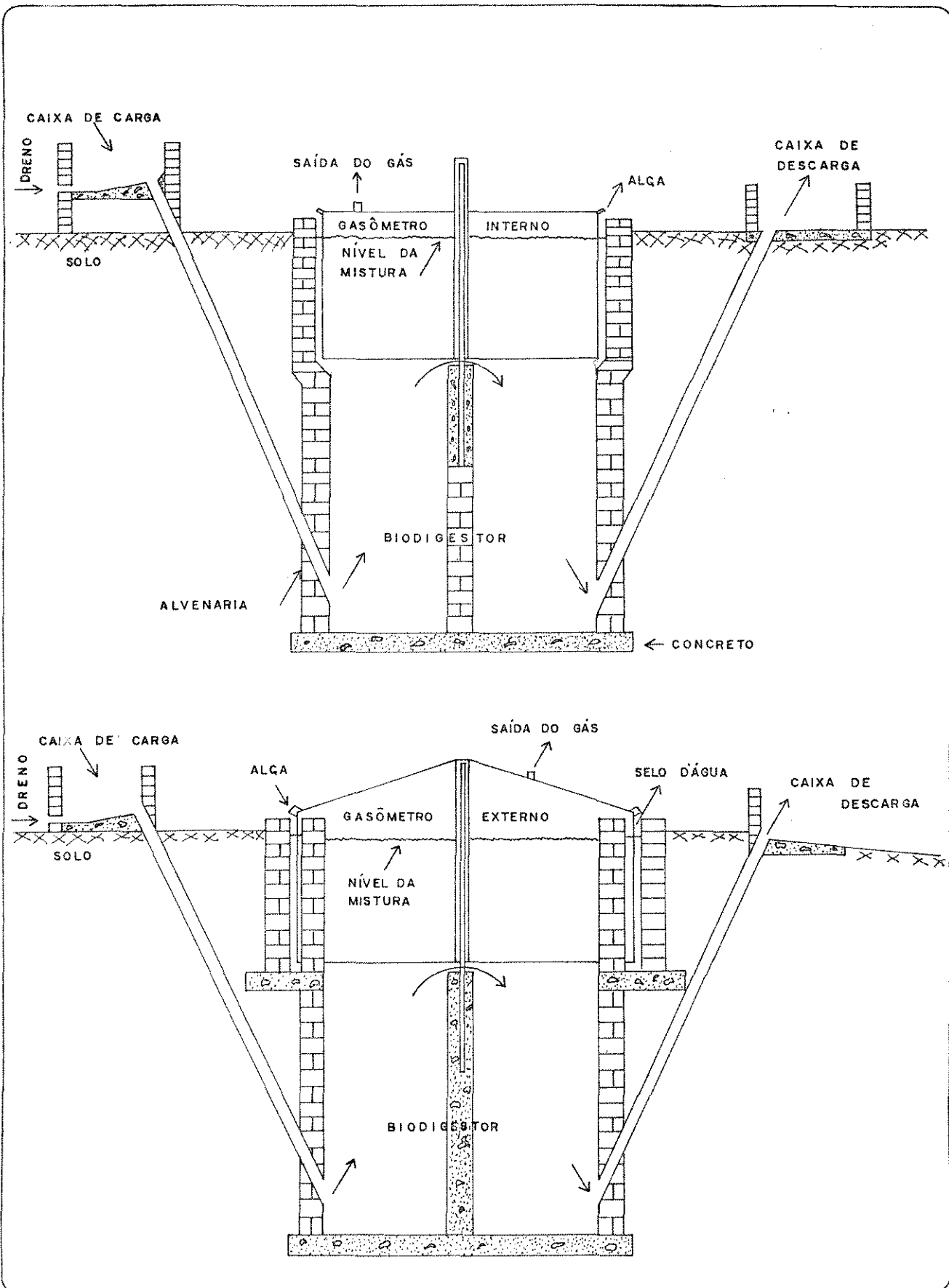


FIGURA 3.15. Biodigestor Modelo Indiano com Câmara Dupla (Ref. II).

A descarga, sendo feita, simultâneamente, logo apôs o início da carga, pelo princípio dos vasos comunicantes, ao entrar provoca uma movimentação geral da massa em digestão, retirando o líquido mexido, e não apenas o sobrenadante, como no biodigestor chinês. Assim, os sólidos sedimentáveis são movimentados e não se acumulam no fundo do biodigestor. Este não precisa ser esvaziado para limpeza, funcionando continuamente, NYMS e colaboradores (73).

SERTÃ & LACERDA (94) dão para a parede divisória do biodigestor de câmara dupla, que o divide ao meio, a função de separar as etapas da biodigestão, onde na primeira câmara haveria predominantemente a decomposição preliminar. Enquanto que a ref. (90) a justifica como elemento que impede ao material da alimentação de sair, aumentando o seu tempo de permanência.

A parede divisória não separa totalmente as etapas de biodigestão, nem aumenta o tempo de permanência do substrato, mas ao direcionar o fluxo dentro do biodigestor, fazendo com que a ultrapasse, simula um biodigestor horizontal tipo "plug flow", onde a massa vai percorrendo um espaço físico durante cada etapa de sua biodigestão. Assim, não é o tempo de retenção que aumenta, mas sim o trajeto que este substrato tem que fazer é direcionado. Ao direcionar o trajeto, com dada velocidade (função da periodicidade da alimentação), pode-se distinguir regiões onde ocorrem, predominantemente, as diferentes fases da biodigestão.

O modelo mais difundido é aquele onde o corpo do biodigestor é em alvenaria de tijolos ou blocos de concreto e o gasômetro (campânula) é em chapa de ferro ou aço carbono. Existem biodigestores onde o corpo é feito em chapa metálica ou materiais flexíveis. A campânula pode ser construída em fibra de vidro, PVC ou materiais flexíveis.

Este tipo de biodigestor, indiano, foi estudado na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (UNESP), onde se estabeleceram relações entre as suas dimensões, tais que propiciam uma maior eficiência ao mesmo. E, com as dimensões estabelecidas entre si, recebem o nome de Biodidestor modelo Jaboticabal (SANTIAGO & CRESTANA, 91). Figura 3.16.

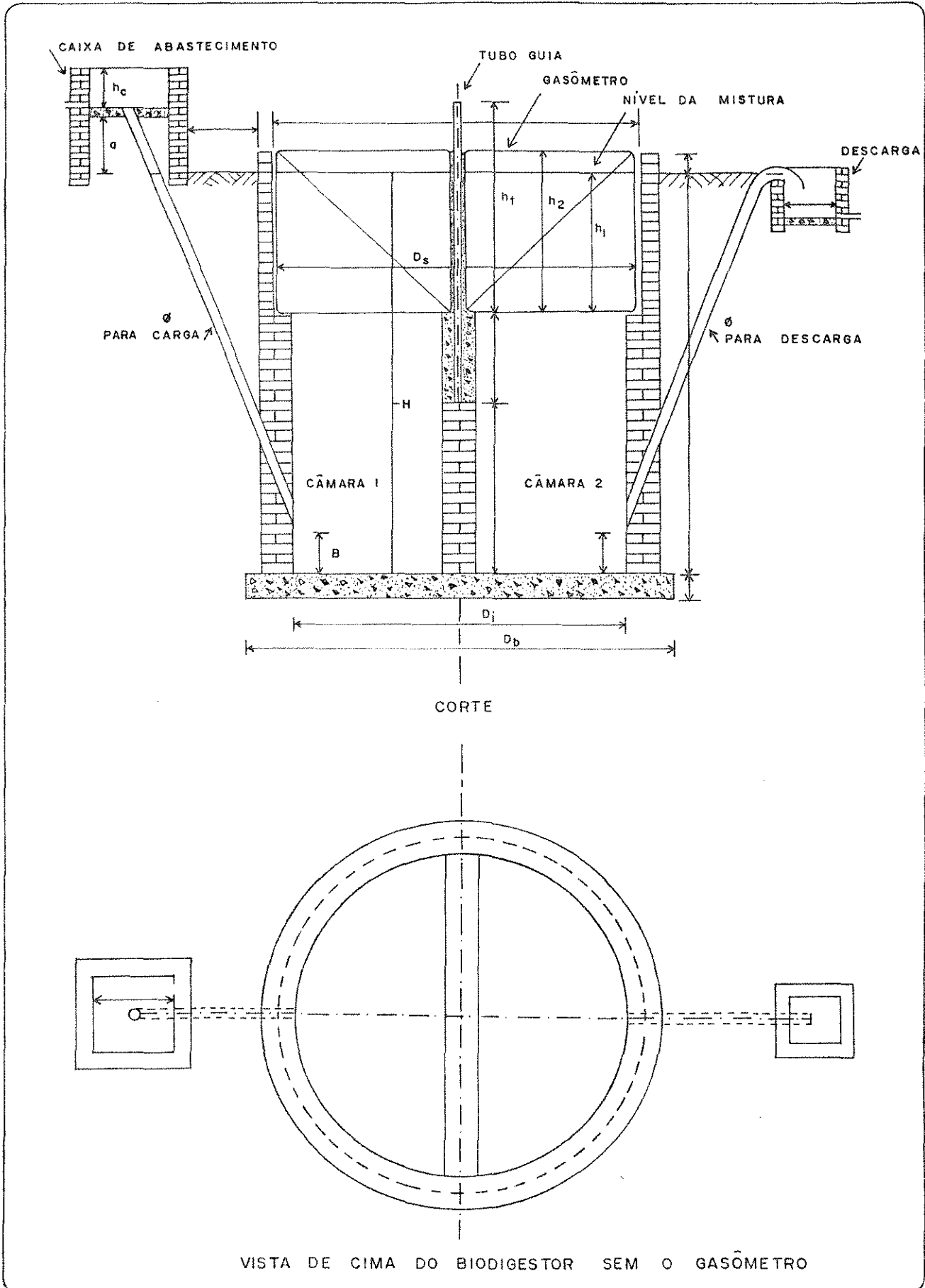


FIGURA 3.16. Biodigestor Modelo Jaboticabal (SANTIAGO & CRESTANA, 91).

SGANZERLA (95) e SALVETTI (88) citam o biodigestor Plastisul, um modelo indiano, totalmente construído em material flexível, o polietileno. Figura 3.17.

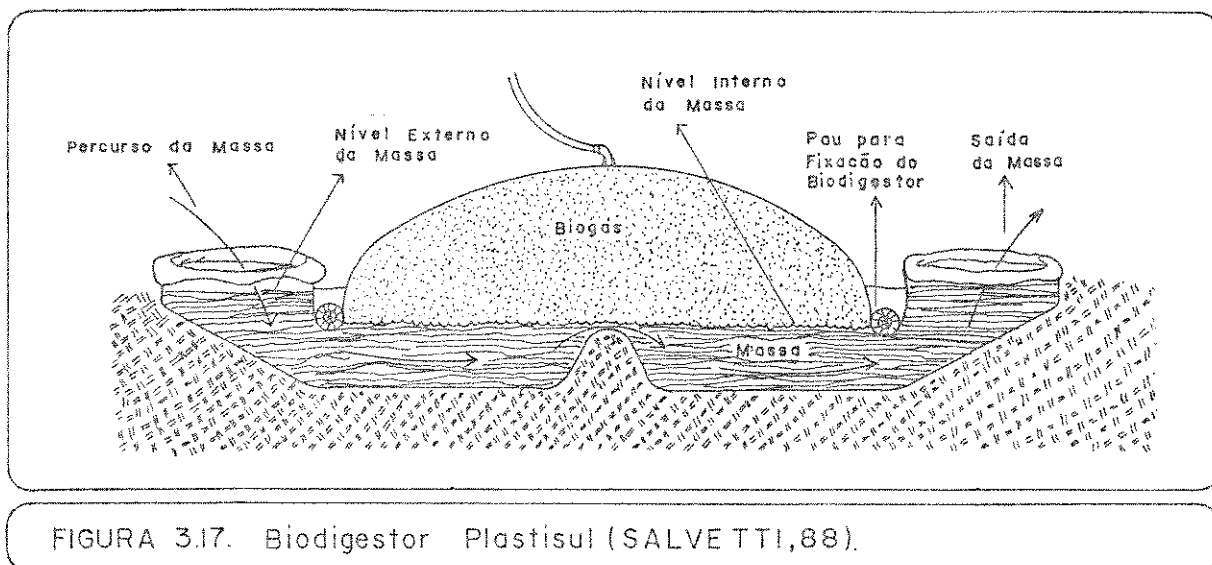


FIGURA 3.17. Biodigestor Plastisul (SALVETTI, 88).

SGANZERLA (95) comenta o Biodigestor Vertical Penha, modelo indiano, totalmente construído em chapa metálica e que deve ser enterrado até o nível da mistura em biodigestão. Figura 3.18.

O modelo Canadense, é o próprio modelo Indiano, acrescido de sistemas de aquecimento e agitação no interior da massa em biodigestão (ELETROCAMPO, 33).

O Instituto de Pesquisas da Marinha (Brasil) desenvolveu os biodigestores modelo Marinha I, II e III. Utilizam um material plástico — tela de vinil, com espessura de 500 Denier, impermeabilizada com filme plástico — resistente ao tempo e a pressões de até 2 atm. O modelo I é tamanho familiar, idealizado para produzir  $3 \text{ m}^3$  de biogás por dia, Figura 3.19.a. Os modelos II e III são em alvenaria, com a campânula em material plástico. O modelo II é para  $11 \text{ m}^3$  de biogás por dia e o III é para  $35 \text{ m}^3$  de biogás por dia, Figura 3.19.b. Estes últimos modelos podem ser colocados lado a lado, de forma a ter-se baterias com produção de biogás em número múltiplo da capacidade individual de ca

da um, PIRES (80).

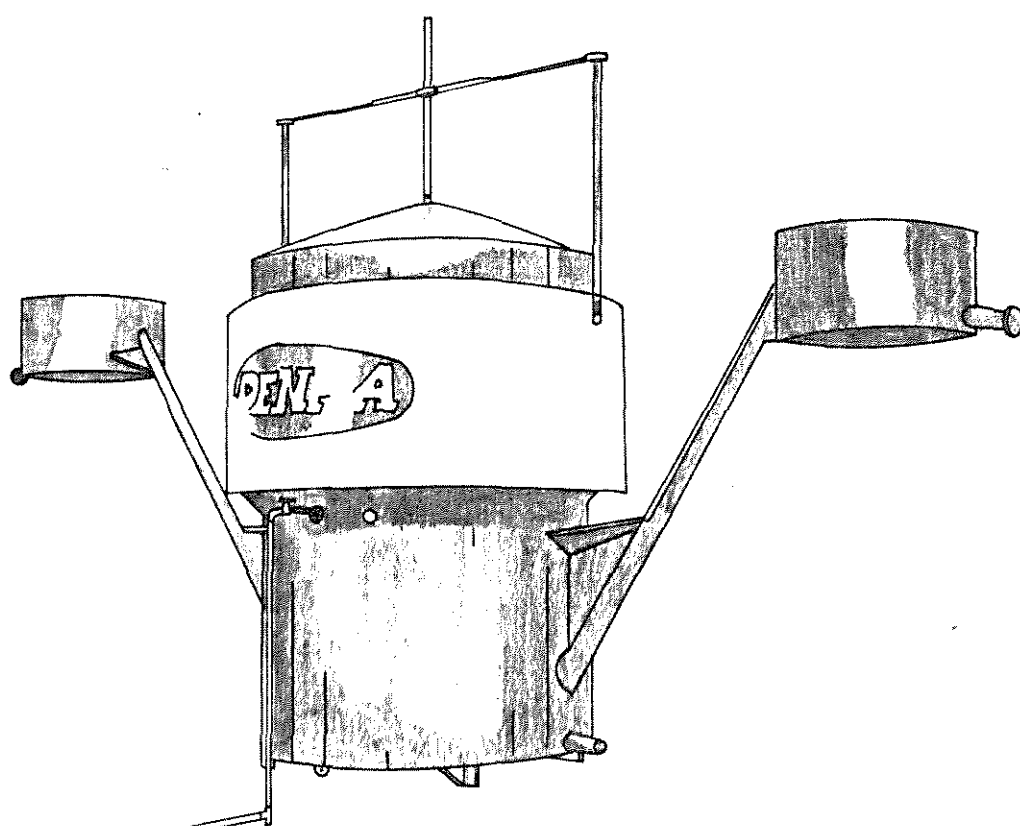
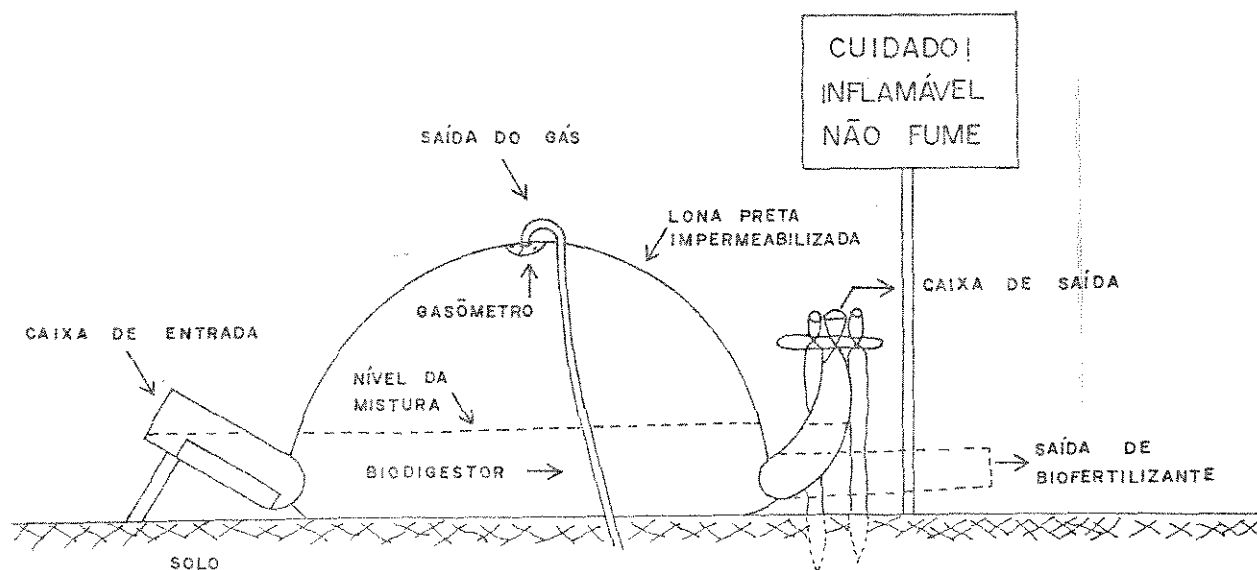
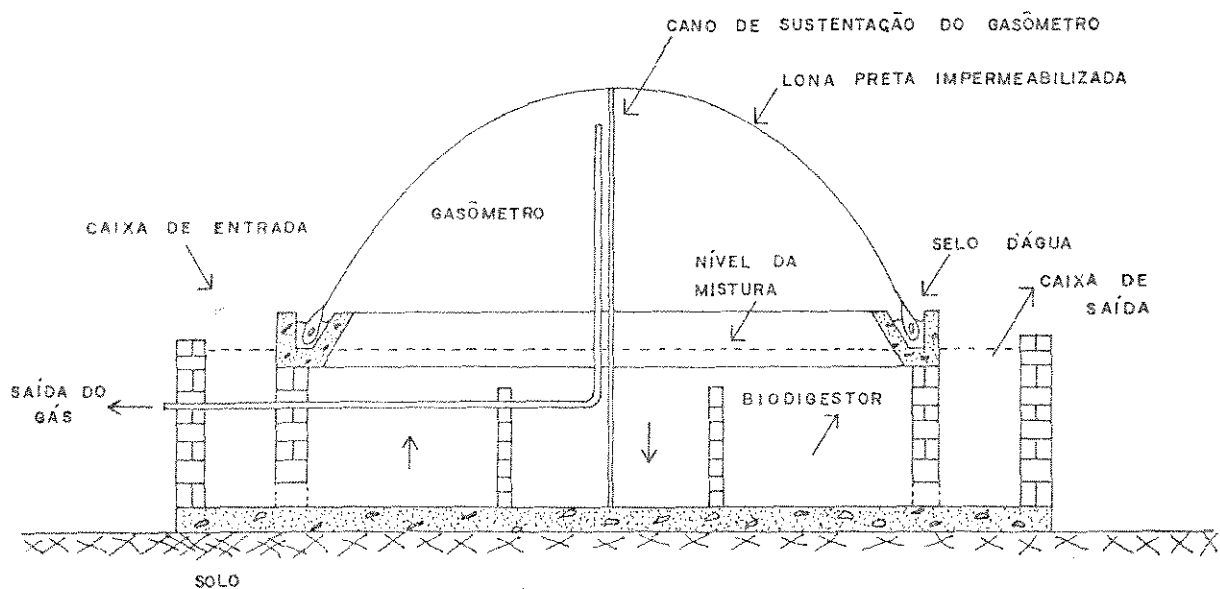


FIGURA 3.18. Biodigestor Vertical Penha (Adaptado de SGANZERLA,95).



(a)



(b)

FIGURA 3.19. Biodigestores da Marinha. (a) Modelo I, (b) Modelo II ou III (Ref II).



O modelo indiano é o mais prático para manutenção, versátil para construção, sem riscos de explosão ou rompimentos e ainda, fornece o biogás com pressão constante, o que favorece sua utilização (SGANZERLA, 95). Permite também que, conforme o substrato, sejam instalados equipamentos para romper a crosta ou mesmo agitar a massa em biodigestão (ver item 3.6).

Existem muitas empresas comercializando biodigestores já montados e prontos para uso e outras que comercializam apenas a campânula, em diferentes variações do modelo indiano, com os mais variados materiais.

#### 3.3.4. Outra corrente

MAZZUCHI (57) define o biodigestor contínuo como sendo aquele com produção contínua de biogás e o biodigestor descontínuo como aquele em que a produção de biogás é interrompida a intervalos regulares. A divergência com a classificação usual em termos de alimentação do biodigestor e esta adotada em função da produção de biogás é que, aqui, os biodigestores semi-contínuos daquela são classificados como contínuos. Descontínuos seriam os biodigestores tipo Estáticos, os quais quando em série, com alimentações alternadas, ao terem uma produção média constante de biogás seriam classificados como contínuos.

Na linguagem corrente, quando se diz que os biodigestores indianos são contínuos, não se pensa na produção de biogás e sim na sua alimentação "contínua" de todo dia, quando comparada com a alimentação única do biodigestor estático.

#### 3.3.5. Escolha do Tipo de Biodigestor

A escolha do tipo de biodigestor a ser utilizado, segundo muitos autores, é em função: do tipo de substrato a ser digerido e sua digestibilidade pelas bactérias; disponibilidade, freqüência e forma de manipulação do material a ser digerido; geo-topografia do local a ser construído; recursos

financeiros disponíveis; clima da região; disponibilidade dos materiais de construção e da mão-de-obra; quantidade, periodicidade e pressão para utilização necessárias do biogás; e, nível técnico-cultural da equipe que irá manipulá-lo.

Somente um estudo da viabilidade de todos esses fatores é que indica o tipo e modelo de biodigestor que melhor se adapta às exigências que dele são solicitadas.

### 3.4. Sistema de Biodigestores

Um sistema anaeróbio de biodigestores é, segundo BAADER (6), composto pela combinação de diferentes procedimentos técnicos que transformam passo a passo um material que contenha matéria orgânica em dois componentes finais: um gás rico em metano, e um resíduo líquido mais ou menos rico em sólidos.

Para ELLSWORTH & ABELES (34), o sistema de biodigestores é composto por quatro etapas: manejo do material de alimentação, tanque de biodigestão, manejo do biogás e manejo do efluente. Figura 3.20.

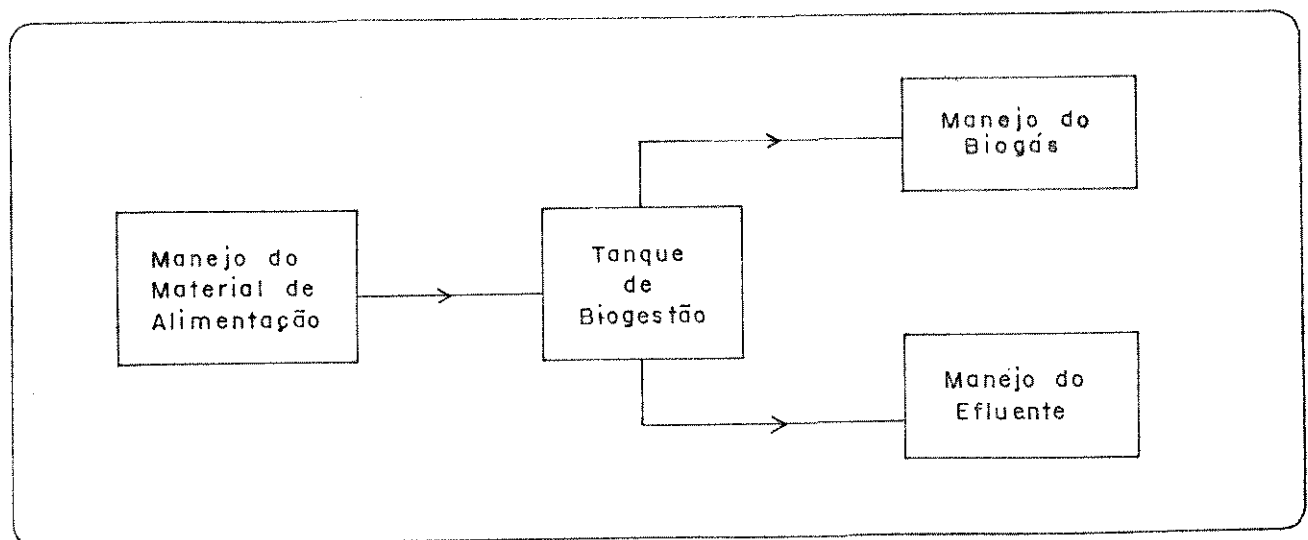


FIGURA 3.20. Sistema de Biodigestores. Etapas. (ELLSWORTH & ABELES, 34).

### 3.4.1. Manejo do Material de Alimentação

O manejo ou a maneira de coletar, transportar e introduzir o material que servirá de alimentação ao biodigestor pode variar desde o mais simples até chegar a conjuntos bem sofisticados.

Para resíduos animais, objeto deste trabalho, a maneira mais simples consiste na coleta manual, com pás ou enxadas do esterco, diretamente nos estábulos ou pocilgas, o seu transporte até o biodigestor, realizado por carríolas ou baldes e a introdução do material na caixa de entrada, ainda utilizando-se de pás. Aí é adicionada a quantidade de água necessária, homogeneizado todo o material com a água através da agitação promovida pela própria pá manualmente.

Um manejo sofisticado é aquele onde os estercos são coletados por um sistema hidráulico, bombeado até a caixa de entrada e, se necessário, adicionado mais água. Pode existir um agitador mecanizado do tipo turbina que homogeniza a mistura e, eventualmente, um sistema aquecedor. Deve ter sistemas alternativos para quando o automático for interrompido.

No caso em que o material de alimentação for composto por restos de culturas pode ser necessário um pré-tratamento do tipo picagem ou pré-fermentação.

### 3.4.2. Tanque de Biodigestão

O tanque de biodigestão é o biodigestor propriamente dito.

Seu projeto envolve as características do material a ser digerido (ver item 3.2.3.7), o tipo de reator (ver item 3.3), os parâmetros físico-químico-biológicos que afetam à biodigestão (ver item 3.2), as características do solo e as necessidades de armazenamento do biogás (ver item 3.8.4) e/ou efluente (ver item 3.9).

O dimensionamento do biodigestor está no item 3.12.

### 3.4.3. Manejo do Biogás

O manejo de biogás deve ser sempre extremamente cuidadoso e levantando-se em consideração as medidas de segurança. Um manejo inadequado, segundo ELLSWORTH & ABELES (34), pode provocar situações perigosas e colocar em risco a criação. As várias utilizações do biogás estão no item 3.8.5 e as características do biogás, no item 3.8.2.

### 3.4.4. Manejo do Efluente

O modo de se lidar com o efluente será função das condições locais climáticas, dos equipamentos viáveis, das características da terra e do valor que o efluente terá para o fazendeiro (ELLSWORTH & ABELES, 34).

Para BAADER (6), este manejo inclui armazenamento, utilização e/ou destino final. (ver item 3.9).

### 3.5. Sistema de Alimentação do Biodigestor

O sistema de alimentação de um biodigestor é o conjunto de unidades e equipamentos envolvidos na coleta, transporte e introdução do material a ser digerido no biodigestor (ELLSWORTH & ABELES (34) e PENN. ST. UNIV. (78)).

No caso do material de alimentação estar na forma líquida (esterco e água), o transporte pode ser por gravidade ou através de bombeamento (ELLSWORTH & ABELES (34), CRAVEIRO (29) e PENN. ST. UNIV.(78)). Para resíduos sólidos (sô esterco) o transporte pode ser por esteiras ou veículos próprios (CRAVEIRO, 29).

Entende-se por veículo próprio desde carrinho de mão, carreta, até caminhão basculante. Este é usado para carregar, principalmente, biodigestor estático.

Como unidades no sistema de alimentação podemos ter: tanque de coleta

ta hidráulica do esterco com água de lavagem; bomba e casa de bomba para o transporte; tanque de adensamento, no caso de água de lavagem excessiva, ou tanque para mistura (caixa de entrada onde é adicionada água de diluição); unidades para agitação e aquecimento do material (ver itens 3.6 e 3.7 respectivamente); e, tanque de efluente (PENN. ST. UNIV., 78).

Para coleta de esterco sem água de lavagem, o sistema se reduz às caixas de entrada e saída (tanque de efluente).

A caixa de entrada serve também para controlar o volume de fluxo que entra no biodigestor, além de servir como tanque de diluição e, quando necessário, para se adicionar cal, a fim de corrigir a acidez. Se for preciso utilizar um pré-aquecimento na alimentação, este poderá ser feito na caixa de entrada diretamente (com água de diluição aquecida ou como pré-fermentação).

SILVA (97) recomenda que se deve proceder à descarga do efluente, no biodigestor chinês, imediatamente antes e após a carga, para evitar um acréscimo na pressão interna. O nível, na caixa de saída, deve ser restabelecido após a carga.

Segundo SALVETTI (87) e SGANZERLA (95) a água usada na mistura da massa não deve conter cloro, sabão, detergente, ou qualquer elemento químico sob pena de prejudicar a ação dos microrganismos. Não se deve, também, colocar adubos químicos junto com a massa, pois estes contêm fosfato que em contato com o biogás produz um gás muito tóxico chamado fosfina (SALVETTI, 87).

### 3.5.1. Partida do Biodigestor

A partida ou "start up" do biodigestor é o seu início de operação e qualquer que seja o modelo de reator escolhido, deve ser executada cuidadosamente (MEYNELL, 68).

A ref. (43) e SILVA & AZEVEDO (100) recomendam que a carga inicial de um biodigestor semi-contínuo seja colocada sem a campânula estar posicionada e enchendo, igualmente, as duas câmaras para evitar sobrecarga na parede divi

sória (para o modelo indiano). Deve-se usar a mesma relação esterco: água das cargas diárias previstas. Quando o biodigestor estiver cheio, isto é, o nível da mistura atingir o nível da tubulação de saída, coloca-se a campânula. Permanece sem alimentação até que a produção de gás esteja predominantemente metânica ( $CH_4$ ), ou seja, que tenha passado um tempo de retenção completo. Após este período, inicia-se a alimentação diária ou periódica, de acordo com o projetado.

Para PARCHEN (77), quando se atingir a metade do volume do biodigestor, é que se deve colocar a campânula e após completar a carga total, deixar um período igual ao tempo de retenção sem alimentá-lo. A partir desse ponto, inicia-se a carga regular.

Já o BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), ELLSWORTH & ABELES (34) e o IPT (51) recomendam encher inicialmente o biodigestor com água, enquanto MEYNELL (68) recomenda apenas 80%, aproveitando para testá-lo quanto a vazamentos e, já no primeiro dia, iniciar a carga regularmente. Com este procedimento se fornece, segundo os autores, tempo e condições às bactérias metanogênicas para aclimatarem-se. As bactérias acidificantes, tendo maior velocidade de aclimação, iniciam rapidamente, a produção de ácidos voláteis e, desta forma, o volume de água presente os dilui, permitindo as bactérias metanogênicas que se adaptem. É uma maneira eficiente de se evitar uma sobrecarga às bactérias. Tem, ainda, a vantagem de, preenchendo todo o biodigestor com água, reduzir o espaço de ar e assim, diminuir a possibilidade de explosão quando a relação metano: ar estiver próxima à crítica (MEYNELL, 68). Também é interessante este sistema porque ajuda a evitar, ou minimizar a formação de crosta muito espessa.

MEYNELL (68) e o BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) realçam que quando o substrato tiver a sua biodigestão lenta, na partida é recomendável o uso de inóculos, isto é, introduzir no meio um material que já contenha bactérias metanogênicas. Estas aceleram o início da biodigestão e favorecem uma aclimação mais rápida para os microrganismos que nela atuam. MEYNELL (68) recomenda uma proporção de 50% entre o substrato e o material inóculo e o BIOMASS

ENERGY INSTITUTE (14), que 15% do volume do biodigestor seja inóculo e os outros 85% completados com água. Cada carga deve vir acrescida em relação à anterior de 10% do substrato previsto para a carga regular. Como inóculo entende-se um material que já sofreu a biodigestão e, portanto, já contém bactérias metanogênicas, como o lodo de digestores municipais ou esterco bovino.

SALVETTI (88) acha que a primeira carga de um biodigestor rural deve ser sempre de esterco bovino, porque este substrato pode ser considerado inóculo de bactérias metanogênicas, o que favorece à biodigestão de outros substratos orgânicos. Recomenda, ainda, uma pré-fermentação, com a mesma relação substrato-água, antes da introdução ao biodigestor dos materiais que tenham uma biodigestão lenta.

### 3.5.2. Carga Regular

É a quantidade de mistura (esterco e água) que regularmente é introduzida no biodigestor. Usualmente, essa regularidade é diária em unidades rurais (BIOMASS ENERGY INSTITUTE, 14).

Segundo DOW & SHAY (38) não é interessante alimentar o biodigestor esporadicamente e com quantidades variadas. O melhor seria alimentá-lo continuamente e em pequenas quantidades. A prática é alimentação diária de quantidades uniformes. Isto, para HILLS & FAIRBANCK (48) promove uma produção de gás, também uniforme e condições mais adequadas para a permanência do balanço entre as bactérias acidificantes e metanogênicas.

### 3.5.3. Taxa de Carga

A taxa de carga é o peso de sólidos voláteis que são introduzidos no biodigestor a cada carga (PENN. ST. UNIV., 78). Expressa-se usualmente em termos de peso de sólidos voláteis por unidade de volume de biodigestor e por unidade de tempo (HILLS & FAIRBANK (48) e ELLSWORTH & ABELES (34)).

Como a quantidade de sólidos voláteis determina a taxa de produção de biogás, conclui-se que uma alta taxa de carga implica em maior produção de biogás por unidade de volume de biodigestor e, portanto, em biodigestores menores e de custo mais baixo, para um mesmo tempo de retenção. Ao diminuir o volume do biodigestor, mantendo o mesmo tempo de retenção, tem-se uma menor redução dos sólidos voláteis e, desta forma, uma menor produção de biogás por unidade de sólidos voláteis (PENN. ST. UNIV., 78).

A taxa de carga é função do teor de sólidos do substrato, do tempo de retenção e da temperatura do biodigestor. Temperaturas mais altas permitem uma taxa maior. Assim, a taxa de carga ótima varia com o tipo de biodigestor e com o local onde está situado (SILVA, 96).

A diluição de determinado resíduo com água, ou outro resíduo líquido, pode ser determinada pelo teor de sólidos, dado que os biodigestores em sua maioria foram desenvolvidos para operar com menos que 10% de sólidos, ou pela necessidade de diluir determinadas substâncias presentes no resíduo ou que venham a ser formadas durante a biodigestão. Este é o caso dos resíduos avícolas que necessitam de diluição devido à amônia gerada a partir de nitrogênio orgânico, que pode atingir valores inibidores de concentração (CRAVEIRO, 29).

Segundo o NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), o esterco bovino, quando diluído na proporção 1:1 com água, resulta em uma concentração de sólidos totais de 10 a 12% na mistura e, para CRAVEIRO (28) e IPT (51), as matérias primas devem ser diluídas de forma a se ter de 8 a 10% de sólidos na mistura a ser introduzida no biodigestor.

ELLSWORTH & ABELES (34) fornecem que a porcentagem de sólidos contidos no esterco bovino varia de 11% para gado de corte a 12% para leiteiro. CRAVEIRO (29) cita que a concentração máxima de sólidos na alimentação de biodigestores é da ordem de 10%, mas utiliza em um exemplo numérico a diluição de esterco bovino e água de 1:1.

A proporção de água a ser utilizada para diluir a mistura de ali



mentação do biodigestor varia de acordo com a matéria prima. Tabela 3.14.

TABELA 3.14. Quantidade de água para diluição (litros de água por quilo de material).

dejetos \ autores	SILVA (97)*	IPT (51)	SALVETTI (88)*
bovinos	1,25	1	1
eqüinos	-	2	1,94
ovinos	-	3	3,17
suínos	3	1,5	2,41
de galinhas	3 +	5	-
caprinos	-	-	3,17
humanos	-	1	2,26

\* adaptadas

+ dependendo da umidade na hora da mistura

O BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) apresenta para resíduo de gado leiteiro a taxa de carga de 3 kg SV/dia/m<sup>3</sup> de biodigestor, com um tempo de retenção de 25 dias e 9% de sólidos totais. HILLS & FAIRBANK (48) recomendam uma taxa de carga de 3,5 kg SV/m<sup>3</sup> dig./dia, também para gado leiteiro, com tempo de retenção de 20 dias, 10% de sólidos e biodigestão a 35°C.

SILVA (97) recomenda a observação física do efluente do biodigestor durante a carga para verificar se a digestão está completa (inodoro, não atraindo moscas) ou não. Em caso negativo, deve-se alterar a taxa de carga para se obter uma biodigestão completa.

### 3.6. Sistema de Agitação

Para HILLS & FAIRBANK (48), GOLUEKE (44) e PENN. ST. UNIV. (78), é essencial uma mistura completa e suave durante a biodigestão de resíduos animais de forma a promover e garantir um contato entre os microrganismos e o substrato. HILLS & FAIRBANK (48) acrescentam que essa agitação ajuda a manter a temperatura uniforme, reduz a formação de espuma e assegura a utilização de todo o volume do tanque.

GOLUCKE (44), por sua vez, salienta que a agitação remove, do contato direto com as bactérias, todo e qualquer produto da decomposição ou de seu metabolismo, que possam ser inibidores às próprias bactérias. Outra função da agitação, a seu ver, é evitar a estratificação da massa em biodigestão.

CRAVEIRO (29) é do mesmo parecer dos trabalhos citados anteriormente e acrescenta que a agitação é, portanto, um fator importante quando se deseja aumentar a eficiência do processo.

JORDÃO (53) esclarece que, com a homogeneização do material no interior do biodigestor, possibilita-se um acréscimo à velocidade de biodigestão devido ao equilíbrio biológico estabelecido. Haverá, apenas, maior uniformidade na produção de biogás, não um acréscimo real da sua produção.

BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) e HILLS & FAIRBANK (48) citam que, embora os critérios para um projeto de sistema de agitação para biodigestão de resíduos animais ainda não estejam totalmente definidos, 6 a 15 minutos por hora e 10 a 15 minutos a cada duas horas, respectivamente, são geralmente suficientes.

ELLSWORTH & ABELES (34) afirmam dois anos depois, 1981, que sistemas de agitação intermitentes são necessários para a biodigestão de resíduos de aves e suínos, não o sendo no caso de esterco bovino de corte ou leite. Estes estercos, por serem fluidos com alto teor de sólidos e de composição uniforme, só necessitarão de alguma agitação se a espuma tornar-se um pro

blema.

Para o IPT (51), em biodigestores rurais a movimentação causada pela carga de alimentação diária é suficiente para promover o contato entre microrganismos e a matéria orgânica presente.

DOW & SHAY (38) afirmam que a agitação deliberada ao romper a camada de espuma, crosta, é benéfica à produção de gás.

Segundo BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), HILLS & FAIRBANK (48), PENN. ST. UNIV. (78), ELLSWORTH & ABELES (34) e CRAVEIRO (29), a agitação pode ser promovida através de componentes mecânicos, recirculação de biogás comprimido e recirculação da massa em biodigestão por bombeamento. Agitadores mecânicos são geralmente pás internas ou braços longos movidos por motores elétricos (SGANZERLA, 95, mostra um sistema que é manual). A recirculação de biogás é realizada forçando-se sob pressão, o biogás de volta à massa em biodigestão, através de tubulações colocadas, geralmente, no fundo do biodigestor e que possuem bocais difusores espaçados. A recirculação da massa em biodigestão é realizada retirando-se a massa de um ponto do biodigestor e introduzindo-a de volta, por bombeamento, em outro local.

A recirculação do biogás é mais vantajosa que a agitação mecanizada sob o ponto de vista de não ter partes móveis no interior do biodigestor, FISHER (37).

Conforme CRAVEIRO (29), a agitação, nas três opções, pode ser contínua ou intermitente.

Para o BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), espuma é um conjunto de material inerte, leve, que se acumula na superfície da massa em biodigestão. Se não for quebrada ou removida pode reduzir o volume efetivo do digestor e impedir a liberação do biogás do meio líquido. A espuma é problema em biodigestores cujos substratos contêm materiais flotantes que a favorecem.

ELLSWORTH & ABELES (34), contrariando MEYNELL (68), ver item 3.3, afirmam que qualquer sistema de agitação destrói o regime tipo "plug flow" que as bactérias desenvolvem.

### 3.7. Sistema de Aquecimento

Nos biodigestores rurais há a predominância das bactérias mesofílicas, pois operam à temperatura ambiente. Como as temperaturas ótimas para essas bactérias estão entre 30 e 40°C, se estas forem desejadas para que ocorram dentro do biodigestor, há necessidade de se controlar as variações diárias e sazonais da temperatura ambiente, OLIVEIRA (74).

Segundo OLIVEIRA (74), esse controle pode ser realizado através do pré-aquecimento da água de diluição, da localização do biodigestor em local de maior incidência de raios solares, do isolamento externo do tanque do biodigestor com materiais fibrosos e da utilização do biogás para aquecimento. Também pode se ter: a água de diluição aquecida com o aquecimento solar; a parte superior do biodigestor pintada de preto de modo a melhorar a insolação; e, os materiais fibrosos usados para isolamento térmico, que sofrem uma decomposição aeróbia gerando calor, utiliza-los depois como material de alimentação ao biodigestor.

SGANZERLA (95) sugere para aquecimento da água de diluição uma bacia plástica de água. Trata-se de um reservatório, no máximo com 0,10m de profundidade, que é revestido com manta de polietileno preto. É colocada neste reservatório a água de diluição de um dia, mais uma pequena reserva, e o reservatório é tampado, também, com polietileno preto. Desta forma a energia solar incidente aquece a água.

SGANZERLA (95) cita que as bactérias metanogênicas têm excelente desempenho com a temperatura da biomassa entre 28 e 35°C.

Nas regiões frias, a temperatura da biomassa abaixa e, para se manter a mesma eficiência do biodigestor, deve-se proporcionar aquecimento, SGANZERLA (95) e PENN. ST. UNIV. (78).

ELLSWORTH & ABELES (34) comentam que a forma mais econômica para se aquecer a biomassa de um biodigestor é através da utilização do aquecimento da água de diluição aliado à recirculação de água aquecida no interior do biodi

gestor. A fonte de calor para a água de recirculação pode ser perdido por motores geradores ou através da queima direta de biogás. O uso de energia solar, através de painéis coletores, embora tecnicamente viável, ainda apresenta um custo superior ao do biogás.

Segundo HILLS & FAIRBANK (48), o aquecimento da biomassa serve também para compensar as perdas de calor ao meio ambiente. Além da recirculação de água quente, sugere a recirculação da massa em biodigestão por um trocador de calor externo.

Tanto HILLS & FAIRBANK (48) quanto ELLSWORTH & ABELES (34) observam que a água quente de recirculação não deve ter sua temperatura acima de 55°C e (60°F), respectivamente, de forma a evitar a solidificação da biomassa sobre a superfície externa das serpentinas que transportam a água aquecida, reduzindo a sua eficiência.

O controle da temperatura no interior do biodigestor deve ser tal que não sofra variações maiores que 2°C, que é a sensibilidade das bactérias metanogênicas (HILLS & FAIRBANK, 48).

SGANZERLA (95) apresenta um sistema em que o aquecimento é provocado por resistências elétricas distribuídas dentro do biodigestor. A inovação é que a fonte de energia elétrica é eólica através de moinho de vento.

### 3.8. Biogás

Biogás é o nome dado à mistura de gases produzidos pela biodigestão de materiais orgânicos.

Segundo DA SILVA (96), o biogás é também chamado de gás de esgoto, Klar gás, Marsh gás, RDF (Combustível Derivado de Refugo), gás de lodo, fogo dos tolos, Gobar gás (gás de esterco bovino), bioenergia e "combustível do futuro".

#### 3.8.1. Quantidade de Biogás

O BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) afirma que a produção de biogás a partir de resíduos animais é variável para cada espécie de animal e de acordo com o método de armazenamento do esterco, anterior à sua introdução no biodigestor. Isto porque a biodegradabilidade dos sólidos voláteis que são convertidos em biogás, varia com a espécie animal, o período e o tipo de armazenamento dos resíduos (pré-fermentação).

Para LACAIVA (55) e SANTIAGO & CRESTANA (91) a produção de biogás é variável de animal para animal e também para um mesmo animal, caso sua ração seja alterada.

Conforme BATISTA (7) os diferentes rendimentos na produção de biogás são função da composição química do substrato e da eficiência do biodigestor principalmente.

HAWES (46) cita um estudo realizado por Pfeffer & Quindry que concluiu ser a porcentagem de material volátil biodegradável em resíduo bovino sob condições mesofílicas entre 30,1 e 48,2%. Esta é, portanto, a faixa de degradação dos sólidos voláteis.

Segundo HILLS & FAIRBANK (48), 40% dos sólidos voláteis contidos nos esterco de gado leiteiro são convertidos em biogás. SOARES & JARDIM (101) comentam que a eficiência do biodigestor é extremamente variável com a temperatura e qualidade do material e, genericamente, que 50 a 70% dos sólidos voláteis presentes no substrato são convertidos em biogás em condições adequadas de biodigestão.

Valores típicos da produção de biogás estão nas Tabelas 3.15 a 3.17.

MEYNELL (68) fornece valores levemente diferentes de TAIGANIDES (104). Tabela 3.16.

A nível rural, são mais interessantes os dados de produção de biogás por unidade de peso de esterco - Tabela 3.17 - e por cabeça de animal - Tabelas 3.18 e 3.19.

TABELA 3.15. Valores típicos para estimar a produção potencial de biogás por 454 kg de peso vivo (convertida de TAIGANI DES, 104).

	gado lei teiro	gado de corte	suínos	galinhas
produção de esterco (kg/dia)	38,6	26,3	22,7	26,8
sólidos totais (kg/dia)	4,8	3,4	3,3	7,9
sólidos voláteis (kg/dia)	3,9	2,7	2,7	5,9
eficiência digestiva (% SV)	35,0	50,0	55,0	65,0
produção de biogás				
m <sup>3</sup> /kg de SV adicionado	0,29	0,42	0,45	0,53
m <sup>3</sup> /454 kg peso vivo/dia	1,15	1,11	1,21	3,12

TABELA 3.16. Quantidade de biogás produzido (parcial MEYNELL, 68).

Tipo de resíduo	Produção de gás (m <sup>3</sup> /kg SV)	Volume/animal/dia (m <sup>3</sup> )
porcos	0,37 -0,50	0,24
gado	0,094-0,31	0,22
galinhas	0,31 -0,62	0,014

TABELA. 3.17. Quantidade de biogás produzido.

animais autor (es)	bovino		suíno		galinhas	
	m <sup>3</sup> gás/kg esterco	m <sup>3</sup> gás/cab./d.	m <sup>3</sup> gás/kg esterco	m <sup>3</sup> gás/cab./d.	m <sup>3</sup> gás/kg esterco	m <sup>3</sup> gás/cab./d.
ref. (43) e SOARES & JARDIM (101)	0,2 — 0,3*		0,4 — 0,5		0,4 — 0,8	
CRAVEIRO (28) e SEI XAS et alii (93)	0,036	0,36	0,078	0,18	0,062	0,0112
SILVA (97)	0,0371	0,3679	0,0636	0,18	0,005	0,01
SANTIAGO & CRESTA NA (91), ELETROCAM PO (33), BATISTA (7) e BENICASA (8)	0,04		0,35		0,43	
ELLSWORTH & ABELES (34)	0,027 <sup>+</sup> - 0,031 <sup>++</sup>		0,027		0,076	
SILVA & AZEVEDO (100)	0,043		0,35		0,43	
						continua...



TABELA 3.17. continuação

animais autor (es)	bovino		suíno		galinhas	
	m <sup>3</sup> gás/kg esterco	m <sup>3</sup> gás/cab./d.	m <sup>3</sup> gás/kg esterco	m <sup>3</sup> gás/cab./d.	m <sup>3</sup> gás/kg esterco	m <sup>3</sup> gás/cab./d.
LACAVA (55), SAN TIAGO & CRESTANA (91), Fac. Jaboti cabal (35) e MAZZUCCHI (57)	0,037	0,3679 ε εε	0,0636	0,1782	0,005	0,0113
IPT (51)	0,035	1,050 - 0,525 εεε 0,350	0,078	0,180	0,062	0,011

\* esterco

+ gado leiteiro

++ gado de corte

ε - estabulado

εε - semi-estabulado

εεε - não estabulado

TABELA 3.18. Material necessário para produzir 1 m<sup>3</sup> de biogás. Ref. (11).

animal	nº de animais	quantidade em kgf
bovino estabulado	1	25,0
bovino semi-estabulado	2 - 3	25,0
suíno	3 - 6	12,8
aves	60 - 90	8,3

TABELA 3.19. Número de animais necessários para a produção de biogás. (montada a partir de PARCHEN, 77).

biogás (m <sup>3</sup> /dia)	nº bovinos	nº suínos
2	2 - 3	7 - 12
4	6 - 4	16 - 24
6	6 - 10	24 - 40
8	12 - 15	40 - 60
10	16 - 20	60 - 80
15	25 - 30	100 - 120
25	40 - 45	160 - 180
35	45 - 55	180 - 220
60	85 - 100	340 - 400

Segundo NYNS e seus colaboradores (73), para biodigestores do modelo indiano com esterco bovino (diluído com água em 4:5) e tempo de retenção médio de 25 dias, a produção de biogás calculada é ao redor de  $0,9 \text{ m}^3$  de biogás/ $\text{m}^3$  biodigestor/dia. Para os autores, os resultados práticos encontrados estão ao redor de  $0,45 \text{ m}^3$  de biogás/ $\text{m}^3$  de biodigestor/dia.

SGANZERLA (95) generaliza, partindo do fato que a biodigestão é função do clima e da qualidade do substrato, que, em média, para regiões de clima tropical, cada metro cúbico de biomassa produz  $1 \text{ m}^3$  de biogás e, para regiões de clima frio e temperado, são precisos  $2,4 \text{ m}^3$  de biomassa para produzir  $1 \text{ m}^3$  de biogás. Isto é ocasionado pelo efeito da menor temperatura sobre as bactérias.

HESS (47) recomenda que para aumentar a produção de biogás no inverno, deve-se incorporar à carga diária: urina animal, palha, melão ou sulfato de amônia, pois assim, fornece-se nitrogênio que estimula as bactérias.

### 3.8.2. Composição do Biogás

A composição do biogás é função do material em biodigestão e do tempo de retenção, ref. (4). Segundo CRAVEIRO (29), todo o conjunto das condições de operação do biodigestor, juntamente com as características do substrato, afetam a composição de biogás. Valores médios variam de autor para autor e estão reunidos na Tabela 3.20.

#### 3.8.2.1. Metano, $\text{CH}_4$

O metano ( $\text{CH}_4$ ) é o principal componente do biogás.

Todos os autores consultados que o comentam, são unânimes em classificá-lo como um gás incolor, sem cheiro, sem sabor e altamente combustível.

Segundo BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), o metano, por não ser facilmente liquefeito, é classificado como gás permanente.

TABELA 3.20. Composição média porcentual, em volume, do biogás.

Autor (es)	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	Outros gases
MEYNELL (68)	60 - 70	30 - 40							
BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14)	60 - 70	30 - 40					traços	traços	traços
ref. (4)*	70	30	traços	traços			traços	traços	traços
DA SILVA (96)	65	30	1						
ref. (43)	54 - 70	27 - 45	traços	0,5 - 3	0,1	0,1			
WHEATLEY (112)	54 - 80	20 - 45	0,1				0 - 10		
HILLS & FAIRBANK (48)	60 - 65	35 - 40	<0,01 <sup>§</sup>					<0,1 <sup>§</sup>	
CAEEB (25)	50 - 60	35 - 40	1 - 3			0,5 - 1			1 - 5
ELLSWORTH & ABELES (34)	60	40	traços					traços	traços
ref. (11)	60 - 80	20 - 40	0,5	0,5 - 2	0,1	0,1	0,1 - 10		
SILVA & AZEVEDO (99) e BATISTA (7)	60 - 80	20 - 40	até 1,5						traços
GALLINA (39)	60 - 80	20 - 40	até 1,5						
ref. (72)	60	38	traços	traços			traços		
BENICASA (8)	60 - 80	40 - 20	**	**	**	**	**	**	**

continua...

TABELA 3.20. continuação

Autor	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	Outros gases
CRAVEIRO (29)	55 - 70	45 - 30							
LACAVA (55) <sup>+</sup>	55 - 65	35 - 45	0 - 1	0 - 3		0 - 1	0 - 1		
LACAVA (55)	55 - 60	40 - 45	variáveis				variáveis		
CERULLO (20)	55 - 65	restante	0 - 1,0						
IPT (51)	50 - 70	restante	traços	traços			traços		
SGANZERLA (95)	60 - 70	30 - 40	traços	traços			traços		
RODRIGUES (86)	60	restante							
PENN. ST. UNIV. (78)	~60 <sup>++</sup>	~40	traços	+++			+++		

\* com traços de mercaptans e aminas

\*\* função so substrato

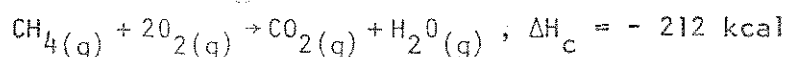
+ esterco bovino

++ função das condições da biodigestão

+++ aproximadamente 2% em N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e vapor d'água

& convertido

VAN BUREN (107) afirma que a solubilidade do metano em água é bastante baixa, da ordem de 3 unidades de CH<sub>4</sub> (em volume) podendo ser dissolvidas em 100 unidades de água a 20°C e pressão de 1 atmosfera. E, ainda, que a combustão completa do metano ocorre com uma chama azul e libertando muito calor. A reação química é



sob combustão completa, 1 m<sup>3</sup> de metano pode atingir a 1400°C e libertar de 8562 a 9500 kcal de calor. Sendo o ar composto por, aproximadamente, 1/5 de oxigênio, para a combustão completa deve-se ter para cada volume de metano 10 volumes de ar. MEYNELL (68) cita que 10% de metano é a concentração onde a explosão está mais sujeita a ocorrer.

Quando puro sua chama não é luminosa, só o sendo a partir de 90% de metano, SILVA (97). Esta chama não deixa fuligem e apresenta uma poluição mínima, SGANZERLA (95). Seus vapores não são considerados tóxicos, não são irritantes e nem produzem narcose (GASQUES, 42).

Segundo BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), o metano é inflamável e torna-se explosivo somente quando misturado com o ar. Este Instituto e outros autores citam que a relação de volume entre 5 e 15% de metano no ar é que o torna muito inflamável, podendo facilmente explodir. MAZZUCCHI (57), diz que esta explosão ocorre com qualquer faísca ou chama. MEYNELL (68) e ELLSWORTH & ABELLES (34) justificam este fato, pois para uma relação volumétrica inferior a 5,4% (5%) no ar, não há metano suficiente e quando se tem acima de 14% (15%) falta oxigênio respectivamente.

Conforme a ref. (4), fora desta faixa só queima se uma fonte externa de calor mantê-lo em temperatura superior a de ignição.

MEYNELL (68) dá que para o metano queimar completamente é necessário 9,57 m<sup>3</sup> de ar por m<sup>3</sup> de metano.

O metano tem peso molecular igual a 16,04 g/mol; peso específico de

0,176 kgf/m<sup>3</sup> para 0°C e 1 atm.; e, conseqüentemente, uma densidade de 0,554 (em relação ao ar - padrão).

A Tabela 3.21 dá mais algumas características físicas e químicas do metano, segundo diversos autores.

PENN. ST. UNIV. (78) cita que para liquefazer o metano na temperatura de - 83°C é necessário uma pressão de 3,5 MPa.

SILVA (97) apresenta que o metano, sob pressão de 140 atm e 0°C, liquefaz-se (sic!), enquanto que hidrocarbonetos mais pesados tais como o propano, isobutano e o butano à mesma temperatura necessitam pressões de 8,7 atm , 3,2 atm e 2,2 atm, respectivamente. Estes gases, propano, isobutano e butano, compõem o gás de cozinha comercial.

O metano tem um poder calorífico maior que o petróleo (41868 - 44194 J/g) por ter um teor de hidrogênio mais elevado, ref. (4). Segundo o BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), a gasolina tem um poder calorífico de 47,1 MJ/kg.

Para RODRIGUES (85 e 86) o metano é equivalente a 9 b.e.p./t, ou seja, cada tonelada de metano tem a energia correspondente a 9 barris equivalentes de petróleo (um bep = 1,48 milhões de kcal).

Já SGANZERLA (95) apresenta que 1 barril de petróleo (159ℓ) é equivalente a 119 m<sup>3</sup> de metano (4200 ft<sup>3</sup>). Para TAIGANIDES (104) para que um litro de metano comprimido tenha a mesma energia que um litro de gasolina, aquele teria que ser comprimido a uma pressão de aproximadamente  $34 \cdot 10^6$  N/m<sup>2</sup>.

Conforme BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), VIEIRA & SOUZA (109) e CRA VEIRO (29), a octanagem do metano é de 130.

O metano quando queima, se comparado à gasolina e ao álcool, libera à atmosfera cinco vezes menos hidrocarbonetos, cerca de 1/4 de monóxido de carbono e 1/3 de óxidos de nitrogênio, além de não produzir aldeídos, GASQUES (42).

CAMARGO (16) dá as mesmas reduções com os valores constantes na Tabela 3.22.

A ref. (4) cita que a redução em hidrocarbonetos e monóxido de carbono é de 50% a menos.

TABELA 3.21. Propriedades físicas e químicas do metano.

Autor (es)	Temperaturas, °C				Pressão crítica atm	poder calorífico (MJ/m <sup>3</sup> )	limites de inflamabilidade	
	ebulição	liquefação	ignição <sup>+</sup>	crítica			no ar	em O <sub>2</sub>
	MEYNELL (68)						33,2-39,6	5 - 14
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71)							5 - 15	
BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14)			651			37,75	5 - 15	
VAN BUREN (107)				- 82,1	45,8		5 - 15	5 - 60
ref. (43)						33,4-39,8*		
WHEATLEY (112)				- 82,5	45,8	37,7*	5 - 15	
DOHNE (31)			645				5 - 15	
CAEEB (25)	-164	-186	667	- 82	52	20,9-23,0*		
BENICASA (8), BATISTA (7)			645			50,2*		
ELLSWORTH & ABELES (34)			650-750				5 - 15	
SILVA (97)						35,8-39,9*		
CERULLO (20)						50,2*		
IPT (51)	-164	-182,5	650	-82,5	47,2		5 - 15	

continua...



TABELA 3.21. continuação

Propriedades	Temperaturas, °C			Pressão crítica	Pressão crítica atm	poder calorífico (MJ/m <sup>3</sup> )	limites de inflamabilidade	
	ebulição	liquefação	ignição				no ar	em O <sub>2</sub>
Autor (es)								
VIEIRA & SOUZA (109)	-164	-182,5		-82,5	45,8	§§37,7*	5,3-14,0	
CRAVEIRO (29)	-161,49	-182,48	650	-82,5	45,84	§35,8-39,9*	5-15	
GASQUES (42)			±700					
CARVALHO (19)						§35,6*		
COLAÇO & S. FILHO (24)						54*+++		
ref. (105)						35,0*		
ref. (4)			300-350			53,5+++	4,8-14,3*	
PENN. ST. UNIV. (78)	-162					24,3*	6-15	
SOARES & JARDIM (101)						35,4-39,2*	5-14	
RODRIGUES (86)						37,0*+		

\* valores convertidos para esta unidade

§ nas condições normais de pressão e temperatura

§§ 1 atm, 15°C

+++ em MJ/Kg

+ temperatura de ignição: temperatura na qual a mistura tem que ser fôvada para causar explosão espontânea, ref. (4).

++ poder calorífico médio = poder calorífico superior a 20°C e 1 atm, RODRIGUES (86).

TABELA 3.22. Níveis de alguns componentes do gás de escapamento de motores a gasolina e a metano (CAMARGO, 16)

poluentes (g/km)	metano	gasolina
hidrocarbonetos	1	5
óxidos de nitrogênio	15	60
monóxido de carbono	2	7
aldeídos	-	0,2

CRAVEIRO (29) fornece, ainda, que a energia necessária para promover a ignição do metano é de 300  $\mu\text{J}$ ; a relação de volume para propiciar a combustão deve ser de 9,53  $\text{m}^3/\text{m}^3$ , a  $0^\circ\text{C}$  e 1 atm; e, a velocidade da chama é de 0,4 m/s. DOHNE (31) dá a velocidade da chama de 0,43 m/s.

Segundo NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), WHEATLEY (112) e HILLS & FAIRBANK (48), o metano na concentração de 500.000 ppm (50% em volume) tem efeito asfíxiante, causando dor de cabeça, apesar de não ser tóxico.

### 3.8.2.2. Dióxido de Carbono, $\text{CO}_2$

O dióxido de carbono ou gás carbônico é incolor, inodoro e tem densidade relativa ao ar de 1,5 (NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), WHEATLEY (112) e HILLS & FAIRBANK (48)).

VAN BUREN (107) dá algumas propriedades físicas e químicas do dióxido de carbono: peso molecular de 44,01 g/mol, peso específico, para  $0^\circ\text{C}$  e 1 atm, de 1,977  $\text{kg}/\text{m}^3$ , densidade de 1,529 (relativa ao ar); temperatura crítica de  $+31,1^\circ\text{C}$  e pressão crítica de 73 atm. WHEATLEY (112) fornece os mesmos valores, embora aproximados para precisão de duas casas decimais e acrescenta que o dióxido de carbono não é inflamável para nenhuma relação volumétrica com o ar. COLAÇO & S. FILHO (24) apresentam o peso específico de 1,78  $\text{kgf}/\text{m}^3$ .

Para HUGHES (49), como o dióxido de carbono é relativamente solúvel em água e também reage com ions hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) produzindo ions de bicarbonato, o seu comportamento no sistema será função de diversos fatores, tais como: pH, concentração de bicarbonatos, temperatura e composição do substrato.

O BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) afirma que o dióxido de carbono reduz o conteúdo energético do biogás, apesar de não ter qualquer efeito nocivo nos equipamentos que utilizam o biogás. Para uso do biogás em motores estacionários ou para cozinhar e aquecer água/ambiente não se justifica a remoção do dióxido de carbono.

MEYNELL (68) realça que para o biogás ser comprimido e engarrafado é interessante remover o dióxido de carbono, uma vez que este não participa da combustão e ocupa um terço do volume do recipiente.

Os autores consultados concordam entre si que a presença do dióxido de carbono reduz o poder calorífico do biogás (proporcionado pela porcentagem de metano que este contenha).

Os métodos usuais para a remoção do gás carbônico são: lavagem com água, lavagem cáustica, absorção sólido-gás, absorção líquido-gás e separação pressurizada, embora nenhum seja economicamente viável para sistemas de biogás em fazendas (BIOMASS ENERGY INSTITUTE, 14).

Segundo PARCHEN (77), dos meios possíveis para a remoção do dióxido de carbono para o meio rural, apenas três são interessantes: separadores mecânicos, lavagem com solução a 5% de hidróxido de sódio (soda cáustica) e lavagem com solução saturada de hidróxido de cálcio (cal).

O biogás ao passar por uma solução de hidróxido de cálcio, deixa-a com coloração leitosa, enquanto o dióxido de carbono estiver sendo absorvido e ao ficar saturada, a solução torna-se mais límpida. É um bom indicador da necessidade de se trocar a solução. A quantidade de solução necessária é conhecida a partir da vazão de biogás, sua porcentagem em dióxido de carbono e o fato de que cada litro de solução de cal absorve 0,56 litros de  $\text{CO}_2$  (MEYNELL, 68).

DANESE (30) cita, ainda, para remover o gás carbônico, a lavagem

com solução de carbonato de potássio, etanolaminas e outros.

Segundo PARCHEN (77), a remoção do dióxido de carbono pode dobrar o poder calorífico do biogás, mas, na prática, tem-se conseguido ganhar apenas 20 - 30% na eficiência final. CAEEB (25) afirma que com a remoção do CO<sub>2</sub>, obtém-se um gás com 95% de metano e um poder calorífico superior a 35,6 MJ/m<sup>3</sup>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), WHEATLEY (112) e HILLS & FAIRBANK (48) alertam quanto às concentrações nas quais o dióxido de carbono pode ser asfixiante. Tabela 3.23.

TABELA 3.23. Propriedades fisiológicas do dióxido de carbono (parcial de NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 71).

concentração		tempo de exposição	efeito fisiológico
ppm	% volume		
20000	2	-	nenhum
30000	3	-	acelera respiração
40000	4	-	sonolência, dor de cabeça
60000	6	30 min	respiração pesada asfixiante
300000	30	30 min	pode ser fatal

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71) dá como concentração máxima permitida (MAC) ao dióxido de carbono o valor de 5500 ppm (5,5% em volume), ou seja, até 5,5% de gás carbônico é o teor permitido por agências de saúde americanas para ambientes onde pessoas fiquem até 8 - 10 horas diariamente.

HILLS & FAIRBANK (48) alertam ainda, que concentrações acima de 10% são um perigo em potencial para as pessoas, atuando no sistema nervoso que controla a respiração, podendo causar sufocação em poucos minutos.

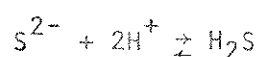
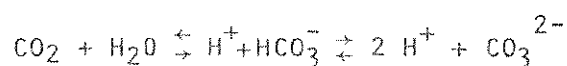
### 3.8.2.3. Sulfeto de Hidrogênio, H<sub>2</sub>S

O sulfeto de hidrogênio é um gás com odor de "ovos podres" e incolor, que tem densidade de 1,2 (em relação ao ar) (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 71).

WHEATLEY (112) apresenta algumas características físicas e químicas do sulfeto de hidrogênio: não tem valor energético, é inflamável na proporção de 4 - 46% em volume com o ar, o peso específico a 0°C e 1 atm é de 1,54 kg/m<sup>3</sup>, a densidade é de 1,2 (em relação ao ar), a temperatura crítica é de +100, 4°C, a pressão crítica é de 88,9 atm e apresenta odor de "ovos podres".

O BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) relaciona o teor de sulfeto de hidrogênio em biogás de resíduos animais ao teor de enxofre contido na alimentação dos animais (ração e água), na espécie de animal e nas condições de operação do biodigestor. Normalmente, deve ter um teor de sulfato de hidrogênio menor que 10 g/m<sup>3</sup>. Para biodigestores bem operados, este teor deve ser bem pequeno.

Segundo WHEATLEY (112), o sulfeto de hidrogênio resulta do equilíbrio entre o dióxido de carbono e a água presentes no sistema, o que permite sua formação:



os ions sulfeto presentes são oriundos do material de alimentação do biodigestor ou até mesmo da água de diluição. As bactérias redutoras de sulfatos são menos sensíveis que as metanogênicas e caso exista sulfato em quantidade suficiente, a produção metânica pode ser interrompida em favor da produção sulfídrica.

Para CAEEB (25) a produção de sulfeto de hidrogênio deve-se a um excesso de matéria fecal no biodigestor ou a matéria celulósica presente não

sofreu uma pré-fermentação suficiente. Ao queimar, este gás produz anidro sulfuroso  $SO_2$ .

Conforme DOHNE (31), o sulfeto de hidrogênio é corrosivo quando em presença de ar. Assim, o interior de uma campânula metálica não deve sofrer corrosão pela ausência de ar.

Para a utilização em motores de combustão interna do biogás é necessário que o teor de sulfeto de hidrogênio esteja abaixo de  $0,0015 \text{ kg/m}^3$  para evitar corrosão. Este teor, para biogás oriundo de resíduos animais, é inferior ao comumente encontrado e, portanto, deve-se remover o sulfeto de hidrogênio do biogás (BIOMASS ENERGY INSTITUTE, 14).

A ref. (81) cita como forma de remoção do sulfeto de hidrogênio o uso de óxido férrico que reage com o primeiro formando sulfeto férrico. Para recuperar o óxido férrico é só expor o material ao sol que o sulfeto férrico converte-se novamente em óxido férrico. Outra forma citada, consiste em passar o biogás por uma solução com 30% de soda cáustica com sulfato de cobre dissolvido.

A remoção do sulfeto de hidrogênio pode ser realizada como a do dióxido de carbono, através dos mesmos processos, (item 3.2.3), DANESE (30).

A forma mais econômica, entretanto é, de acordo com a maioria dos autores consultados, passando o biogás por um tubo com óxido de ferro, limalha de ferro ou mesmo esponja de ferro (tipo "Bom Bril"), os quais reagem quimicamente com o sulfeto de hidrogênio, retendo-o. A recuperação do óxido ou da limalha de ferro é obtida expondo-os aos raios de sol.

Segundo BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), para esponja de ferro com aparas de madeira, um volume de  $0,1 \text{ m}^3$  de esponja remove o sulfeto de hidrogênio de aproximadamente  $3300 \text{ m}^3$  de biogás, assumindo 2g (0,002 kg) de sulfeto de hidrogênio por  $\text{m}^3$  de biogás ( $1 \text{ m}^3$  de esponja, 660 kg de  $H_2S$ ). Já, para DANESE (30), 35% ( $0,035 \text{ m}^3$ ) de esponja de ferro oxidado com aparas de madeira retêm 3,7 kg de sulfeto de hidrogênio ( $1 \text{ m}^3$  esponja, 106 kg de  $H_2S$ ).

CERULLO (20) salienta que o biogás, embora seja corrosivo devido ao

sulfeto de hidrogênio tem um teor porcentual deste gás que é inferior ao apresentado por outros combustíveis derivados do petróleo. É, desta forma, menos corrosivo que aqueles quanto ao teor de sulfeto de hidrogênio.

VAN BUREN (107) cita que para o sulfeto de hidrogênio, o MIO (teor mínimo com odor identificável) é de 0,7 ppm (0,00007% em volume) e tem MAC (máxima concentração permissível na atmosfera em que o homem tem que ficar de 8 - 10 horas diárias) de 20 ppm (0,002% em volume).

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), WHEATLEY (112) e HILLS & FAIRBANK (48) alertam quanto às concentrações nas quais o sulfeto de hidrogênio pode ser venenoso. Tabela 3.24.

TABELA 3.24. Propriedades fisiológicas do sulfeto de hidrogênio (parcial de NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 71).

concentração		tempo de exposição	efeito fisiológico
ppm	% volume		
100	0,01	horas	irritações nos olhos e nariz
200	0,02	60 min	dores de cabeça, tonturas
500	0,05	30 min	náuseas, excitação, insônia
1000	0,10	-	inconsciência, morte

MEYNELL (68) cita que o sulfeto de hidrogênio em concentrações acima de 0,06% é fatal após 30 minutos.

#### 3.8.2.4. Outros gases

Segundo BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), ao deixar o biodigestor, o

biogás está saturado com vapor d'água e é comumente denominado "gás úmido". A 35°C, para cada 1000 m<sup>3</sup> de biogás, deixando o biodigestor, tem-se em torno de 2ℓ(0,002 m<sup>3</sup>) de água na forma vapor. À medida que o biogás percorre as tubulações, vai se resfriando e a água condensa. Para sua remoção, são instalados purgadores (ver item 3.11), conforme PENN. ST. UNIV. (78).

VAN BUREN (107) fornece algumas propriedades físicas e químicas do vapor d'água: peso molecular de 18,02 g/mol, peso específico de 0,805 kg/m<sup>3</sup> a 0°C e 1 atm, densidade de 0,594 (em relação ao ar), temperatura crítica de +374°C e pressão crítica de 224,7 atm.

A umidade do biogás pode ser eliminada, de acordo com a ref. (81), fazendo com que o mesmo passe por um tubo contendo cloreto de cálcio.

Segundo WHEATLEY (112), o monóxido de carbono que raramente está presente no biogás, é um indicador provável de que algum estágio de biodigestão não está satisfatório. Isto porque há um microrganismo (*Methanobacterium formicicum*) que utiliza o monóxido de carbono como substrato. Sua temperatura crítica é de -139°C e sua pressão crítica é de 89 atm.

VAN BUREN (107) dá algumas propriedades físicas e químicas do monóxido de carbono (CO): peso molecular de 28,01 g/mol, peso específico de 1,2504 kg/m<sup>3</sup> a 0°C e 1 atm, densidade de 0,9669 (em relação ao ar), temperatura crítica de -140,2°C, pressão crítica de 34,54 atm e limites de inflamabilidade no ar de 12,5 a 75% em volume e no oxigênio entre 13 e 95%.

MEYNELL (68) nota que o monóxido de carbono é tóxico aos humanos e em concentrações de 0,1% em volume é fatal em 4 horas.

O gás amônia (NH<sub>3</sub>) é encontrado em pequenas concentrações, sendo a sua presença função do tipo de alimento do biodigestor.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71) dá algumas características físicas e químicas do amônia (NH<sub>3</sub>): densidade de 0,6 (em relação ao ar), odor pronunciado e penetrante, incolor, inflamável acima de 16% em volume no ar, mínimo odor identificável (MIO) para concentração de 53 ppm (0,0053% em volume), máxima concentração permitida na atmosfera para o ser humano ficar 8 a 10 horas dia



riamente (MAC) de 100 ppm (0,01% em volume) e dependendo da concentração tem efeito irritante, conforme Tabela 3.25.

TABELA 3.25. Efeitos fisiológicos do amônia (parte de NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 71).

concentração		tempo de exposição	efeito fisiológico
ppm	% volume		
400	0,04	-	irritação da garganta
700	0,07	-	irritação dos olhos
1700	0,17	-	tosse e espumação
3000	0,30	30 min	asfixiante
5000	0,50	40 min	pode ser fatal

O amônia tem, segundo VAN BUREN (107), limites de inflamabilidade no ar de 14 a 33% em volume e, no oxigênio, de 12,6 a 80%.

O hidrogênio aparece no biogás em concentrações pequenas e, segundo VAN BUREN (107), tem as seguintes propriedades físicas e químicas: peso molecular de 2,016 g/mol, peso específico de 0,0899 kg/m<sup>3</sup> a 0°C e 1 atm, densidade de 0,0695 (em relação ao ar), temperatura crítica de -239,9°C, pressão crítica de 12,8 atm, e limites de inflamabilidade no ar de 4,1 a 75% em volume e no oxigênio, de 4,5 a 95%. Conforme WHEATLEY (112), o hidrogênio tem poder energético de 12,14 MJ/m<sup>3</sup>, é inodoro, tem limites de inflamabilidade no ar de 6 a 71% em volume e peso específico de 0,99 kg/m<sup>3</sup> a 0°C e 1 atm.

O ar atmosférico, em relação ao qual VAN BUREN (107) tirou a densidade e os limites de inflamabilidade tem as seguintes características: peso molecular de 28,95 g/mol, peso específico de 1,293 kg/m<sup>3</sup>, temperatura crítica de -140,7°C e pressão crítica de 37,2 atm.

### 3.8.3. Propriedades do Biogás

Conforme MEYNELL (68), o biogás pode ser quase inodoro, dependendo da presença do sulfeto de hidrogênio para apresentar um odor característico de ovo podre.

A ref. (81) comenta que a mistura biogás/ar estando bem regulada, a chama é azul, não produz fumaça e tem uma temperatura de ignição em torno de 800°C. A combustão sendo quase completa minimiza possíveis odores desagradáveis.

Segundo VAN BUREN (107) e SILVA (97), durante a combustão completa do biogás a chama é azul, vigorosa e com um som sibilante. Se a chama ondu lar e tornar-se pálida, a combustão estará sendo incompleta e tem pouco oxigênio. Já, se a chama se tornar amarelada e pequena significa falta de biogás e, assim, tem-se temperaturas mais baixas.

DOHNE (31) fornece algumas propriedades físicas do biogás: peso específico de 1,20 kg/m<sup>3</sup> a 0°C e 1 atm, densidade de 0,83 (em relação ao ar), temperatura crítica de -82,5 °C, pressão crítica entre 7,5 e 8,9 MPa, temperatura de ignição entre 650 - 750°C e temperatura de ebulição de -162°C. A velocidade de propagação da chama do biogás é ao redor de 0,40 m/s.

WHEATLEY (112) dá o peso específico de 1,22 kg/m<sup>3</sup> e a densidade é de 0,93 (em relação ao ar).

A CAEEB (25) apresenta a densidade de 0,77 (em relação ao ar), com a velocidade de propagação menor que 50 m/s e SEIXAS e colaboradores (93) dão para a densidade o valor de 0,8 (em relação ao ar) e a velocidade de propagação de 33 m/s.

Para WHEATLEY (112), DOHNE (31) e SEIXAS e seus colaboradores (93), os limites de inflamabilidade do biogás no ar estão entre 6 e 12%.

A Tabela 3.25 contém o poder calorífico do biogás segundo diversos autores.

Segundo MEYNELL (68), o poder calorífico do biogás, que depende da proporção entre metano e dióxido de carbono e da saturação do biogás com água,

pode ter seu valor líquido calculado para o biogás saturado com água e a 15,6°C e 1 atm pela equação:

$$\text{poder calorífico líquido} = 0,33 \cdot \% \text{ CH}_4 \quad (\text{MJ/m}^3)$$

$$(8,96 \cdot \% \text{ CH}_4) \quad (\text{BTU/ft}^3)$$

TABELA 3.26. Poder calorífico do biogás

Autor (es)	poder calorífico (MJ/m <sup>3</sup> )
MEYNELL (68)	20,0 - 26,0
VAN BUREN (107), CARVALHO (19)	23,0 - 27,2*
ref. (43)	18,6 - 29,8*
WHEATLEY (112)	22,6*
DOHNE (31)	20,9 - 23,0*
CAEEB (25)	24,3*
ref. (72)	21,5
BENICASA (8), SILVA & AZEVEDO (99 e 100), MAZZUCCHI (57), BATISTA (7)	20,9 - 29,3*
ELLSWORTH & ABELES (34)	22,4*
SEIXAS et alii (93)	19,7 - 23,0*
VIEIRA & SOUZA (109), SGANZERLA (95)	20,9 - 25,1*
SILVA (97)	23,0*
RODRIGUES (86)	21,8*§

\* dados convertidos

§ temperatura de 20°C e 1 atm de pressão

RODRIGUES (86) apresenta os seguintes valores de poder calorífico: para os gases considerados de baixo poder calorífico, 4,2 a 6,3 MJ/m<sup>3</sup>; para os gases de médio poder calorífico, 11,7 a 18,8 MJ/m<sup>3</sup>; e para os gases de al

os gases de médio poder calorífico, 11,7 a 18,8 MJ/m<sup>3</sup>; e para os gases de alto poder calorífico, 33,1 a 38,1 MJ/m<sup>3</sup>. Todos para temperatura de 20°C e 1 atm de pressão. Isto corresponde a, respectivamente, 1,1 a 1,6 bep/t; 3,0 a 4,9 bep/t e 8,5 a 9,9 bep/t. Assim, o biogás que contém 5200 kcal/m<sup>3</sup> ou 5,4 bep/t pode ser classificado como um gás de poder calorífico de médio para alto. O gás metano puro é um gás de alto poder calorífico (9 bep/t).

Para a CAEEB (25) o biogás é muito antidetonante, por ter um nível de octanagem ao redor de 125.

VAN BUREN (107) chega, através da estequiometria (Equação 3.2.) e de considerar que o ar atmosférico é composto aproximadamente de 1/5 de oxigênio e para biogás contendo 60 a 70% de metano, que para se obter a combustão completa do biogás é necessário 6 a 7 volumes de ar para cada unidade de volume de biogás (6 a 7 m<sup>3</sup> de ar atmosférico para cada m<sup>3</sup> de biogás). SOARES & JARDIM (101) apresentam o valor de 9,5 m<sup>3</sup> ar atmosférico por m<sup>3</sup> de biogás e CERULLO (20), o valor de 9 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

As Tabelas 3.27 e 3.28 contêm a quantidade de biogás necessária para ser equivalente a outros combustíveis segundo diversos autores.

O biogás tem efeitos asfixiantes quando em concentrações elevadas por ocupar espaço do oxigênio. Quando a concentração de oxigênio estiver abaixo de 17% a respiração torna-se difícil, sendo que abaixo de 13% atinge limites asfixiantes.

VAN BUREN (107) apresenta os mesmos efeitos, mas fornece as concentrações em termos de porcentagem de biogás, o qual contém 60% de metano. Quando a concentração de biogás no ar está ao redor de 30%, este tem efeitos anestésicos e ao redor de 70% causa asfixiação (morte por ausência de oxigênio).

SILVA (97) conclui que o biogás por si mesmo não é tóxico, mas atua no organismo humano diluindo o oxigênio.

TABELA 3.27. Quantidade de biogás equivalente a outros combustíveis (m<sup>3</sup> de biogás).

Autor (es)	1ℓ gasolina	1ℓ diesel	1ℓ óleo combustível	1ℓ álcool carburante	1kg lenha 10% umidade	1kg xisto	13kg GLP	1ℓ quero sene
MEYNELL (68) *			2,14					
SILVA (96) *	1,44	1,62						
MAZZUCCHI (57) *	1,64	1,82					28,89	1,75
BENICASA (8)	1,58-2,22	1,55-2,18	1,48-2,08	0,91-1,28	0,46-0,68	0,21-0,29		1,55-2,18
CAEEB (25) *	1,37			0,91			20,00	
CAEEB (25) +	0,91			0,59			13,00	
SOARES & JARDIM (101), BATISTA (7)**	1,58-2,22	1,55-2,18	1,48-2,08	0,91-1,28	0,46-0,65	0,21-0,29		1,55-2,18
SILVA (97) *	1,64	1,82		1,25	0,67		28,89	1,72
ref. (13) *	1,67		2,50		0,290			1,61
ALENCAR (1)	1,6	1,7						
SANTIAGO & CRESTANA (91)	1,58-2,22	1,55-2,18	1,48-2,08	0,91-1,28	0,46-0,68	0,21-0,29	30,00	
ELETROCAMPO (33)	1,50-2,00	1,50-2,00	1,50-2,00	0,90-1,20	0,50-0,70	0,20-0,30		1,50-2,00
DANESE (30) *	1,61	1,79	2,08		0,65	0,29	30,95	1,72

continua...

TABELA 3.27. continuação

Autor (es)	1ℓ gasolina	1ℓ diesel	1ℓ óleo combustível	1ℓ álcool carburante	1kg lenha 10% umidade	1kg xisto	13kg GLP	1ℓ quero sene
IPT(51)*	1,96	1,92	1,82		0,57	0,26	27,08	1,92
SGANZERLA (95)*	1,63(1,58 <sup>++</sup> )	1,81		1,27	0,65		28,63	1,73
ref. (11)	1,58-2,22	1,50-2,08		0,19-1,28	0,46-0,65			
ref. (35)							28,89-30,20	

\* dados convertidos (equivalente de combustível para equivalente de biogás)

+ dados para o biogás purificado

\*\* para 15,5°C e 1 atm

++ gasolina de avião

o não diz qual unidade

TABELA 3.28. Quantidade de biogás equivalente a outros combustíveis (m<sup>3</sup> de biogás).

Autor (es)	1 m <sup>3</sup> de gás natural	1 l de butano	1kg carvão vegetal	1kg carvão mineral	1 barril petróleo (159ℓ)	1kwh de energia elétrica
MEYNELL (68)	1,64	5,33			24,96	
SILVA (96)	1,67	1,17				
CAEEB (25)*	1,64		0,81	1,22		0,16
CAEEB (25) <sup>+</sup>	1,07		0,53	0,80		0,11
SILVA (97)			1,25	1,35	30,2	0,70
DANESE (30)*			1,35			
IPT (51)*			1,19			
SGANZERLA (95)*			1,36	1,36 <sup>++</sup>		0,70
FAC. JABOTICABAL (35)					199-265	

\* Dados convertidos

+ dados para o biogás purificado

++ carvão metalúrgico de Santa Catarina

#### 3.8.4. Armazenamento do Biogás

Segundo BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), o ideal seria a utilização do biogás na mesma proporção em que é produzido. Como dificilmente ocorre este fato, o armazenamento do biogás deve ser parte integrante do Sistema de Biodigestores. É comum o armazenamento por períodos curtos (horas).

ELLSWORTH & ABELES (34) consideram importante que se tente combinar a utilização do biogás de acordo com a sua produção e, assim, reduzindo o período de armazenamento necessário a um mínimo.

O armazenamento, conforme BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), pode ser feito, teoricamente, a qualquer pressão. A baixa pressão, podem ser utilizados recipientes em borracha butírica ou poliestireno. Estes são econômicos, mas pouco resistentes às intempéries, além de apresentarem problemas de amarração em locais com ventos. O biogás pode ser armazenado a baixa pressão, também sob campânulas flutuantes, como no biodigestor tipo indiano ou mesmo separadamente do biodigestor. A campânula pode ser, segundo ELLSWORTH & ABELES (34), em chapa metálica ou em material flexível. Exemplos destes tipos de armazenamento podem ser visto nas figuras 3.7, 3.15 e 3.17 do item 3.3.

Para pressões medianas, segundo BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), pode-se utilizar tanques do tipo comercial para propano, por exemplo, e armazenar o biogás a pressões de até 13,6 atm (200 psi), com o emprego de compressores convencionais. Até estas pressões ainda é viável o armazenamento de biogás em propriedades rurais. Para pressões mais elevadas, a compressão torna-se mais complexa, cara e perigosa.

Pressões elevadas (200 atm) estão sendo utilizadas para o armazenamento de biogás quando este estiver destinado a servir como combustível em veículos. Neste caso o biogás é purificado a até 96% metano e 4% dióxido de carbono, seco, filtrado e então comprimido a 200 atm (ref. 41).

Conforme RODRIGUES (85 e 86), o armazenamento para transporte pode ser feito comprimindo o biogás a 200 atm ou através de criogenia, a  $-160^{\circ}\text{C}$ . Os



cilindros para armazenar o biogás a 200 atm ainda são muito pesados.

### 3.8.5. Utilização do Biogás

MEYNELL (68) relata que o biogás, ou mesmo o metano, pode ser usado nas mesmas situações que o gás natural.

Segundo SILVA (97), o biogás pode ser queimado diretamente em fogões, lâmpões para iluminação, fornalhas para aquecimento de água, secadores de produtos agropecuários, ou alimentando motores de combustão interna para geração de energia mecânica ou elétrica. A PENN. ST. UNIV. (78) acrescenta que o biogás pode ser usado para refrigeração e irrigação. Para MOURA (69), o biogás pode também ser utilizado na agropecuária substituindo o gás GLP e a eletricidade no aquecimento de animais, preparo da ração, lança-chama para esterilização em máquinas de ordenha e na obtenção de água quente para lavagem de equipamentos e limpeza sanitária das instalações. Ainda, segundo MOURA (69), o biogás é um combustível que pode substituir, praticamente, todos os derivados de petróleo, principalmente, quando utilizado em equipamentos estacionários. ALENCAR (1) cita também o resfriamento de leite como um dos meios para utilização do biogás.

A ref. (92) recomenda o uso do biogás para queima direta por ser esta a forma que tem rendimento melhor.

O IPT (51) concorda que a melhor forma de utilização do biogás é em queima direta, substituindo o gás liquefeito de petróleo.

Algumas formas de utilização do biogás e a sua necessidade do mesmo são apresentadas na Tabela 3.29.

Os autores consultados coincidem em relação ao consumo de biogás para a utilização de: forno para assar, doméstico (0,42 e 0,44 m<sup>3</sup> de biogás / hora), chuveiro a gás (0,80 m<sup>3</sup> / banho) e motor ciclo OTTO (0,45 m<sup>3</sup> / Hp / hora).

CRAVEIRO (28) e IPT (51) apontam para o chuveiro a gás o consumo de 0,15 m<sup>3</sup> / pessoa, enquanto que SALVETTI (50) especifica que o consumo de 0,80 m<sup>3</sup> é para um banho com duração entre 10 e 15 minutos.

TABELA 3-29. Utilização e consumo de biogás

Autor (es)	coção m <sup>3</sup> /pessoa dia	iluminação m <sup>3</sup> /camisa/136w/h	geladeira m <sup>3</sup> /d	campanula para pia tinhas m <sup>3</sup> /h/m <sup>3</sup> interno/h	aquecimento d'água a 100°C m <sup>3</sup> /L	gerar electricida de m <sup>3</sup> /hp/hwh
REYNELL (66)	0,26					
ref. (43)	0,3 - 0,4	0,1	0,034/L			
FRANZUARD (28)	0,34	0,07	3,10	0,29		
SOARES & JARDIM (101)	0,34 - 0,42 0,23 - 0,45*	0,07	0,72 m <sup>3</sup>	0,01 - 0,02		
BENICASA (8)**, SANTIAGO & CRES TANA (91)	0,33 - 0,42	0,07 - 0,08	0,019/L	0,19 - 0,71	0,074	
ELETROCAMPO (33)	0,40	0,15	2,0 - 2,5			
ALENCAR (1)	0,23	0,13		0,02		0,63
CERULLO (20)	0,30	0,12	1,61			
BATISTA (7)	0,23	0,12**	2,5			
SILVA (97)	0,33-0,32-0,59	0,13 - 0,105	2,20	0,60	0,08/L	0,62
DANESE (30)	0,33	0,13	2,20	0,60		
SILVA & AZEVEDO (99 e 100)	0,23	0,12	2,50			
IPT (51)	0,34	0,07	3,10	0,60		0,62
SOMMERLA (95)	0,32 - 0,50	0,13 - 0,105	2,20	0,60		
SALVETTI (88)	0,32	0,13 - 0,10'	2,2	0,15		
ref. (11)	0,23 - 0,45	0,07 - 0,12	0,2 - 2,5	0,01-0,6	0,08	0,42
SALVETTI (87)	1,0m <sup>3</sup> /d	0,13	2,2	0,6		
LACAVA (55)	0,3	0,127				0,6226

\* dados convertidos

+ unidade em m<sup>3</sup>/h/bico de gás de 2 - 4"

\*\* dados determinados, segundo BENICASA (8), por Sathianatan, 1975.

\*\* para camisa 40 velas

a com injetor de 2"

b 2 queimadores com injetor de 2mm

c para camisa de 500 velas

Para o consumo de biogás em motores, CRAVEIRO (28) fornece o valor de  $0,37 \text{ m}^3$  de biogás/Hp/hora e SGANZERLA (95) faz uma correlação com a potência do motor: para 1 Hp ( $0,45 \text{ m}^3/\text{h}$ ); para 2 Hp ( $0,92 \text{ m}^3/\text{h}$ ); 5,5 Hp ( $2,24 \text{ m}^3 / \text{h}$ ); e, para 9 Hp ( $3,16 \text{ m}^3 / \text{h}$ ).

CRAVEIRO (28) e IPT (51) apresentam ainda o consumo de biogás para aquecedor de ambientes,  $0,23 \text{ m}^3$  de biogás / hora.

A adaptação de aparelhos comerciais destinados a gás liquefeito de petróleo, para que sejam alimentados com biogás, geralmente, limita-se, de acordo com CERULLO (20) e SGANZERLA (95), a um aumento no orifício de escape (injetor ou ouvido) destes aparelhos de forma a possibilitar uma maior vazão de gás (de 1,5 a 2,0mm) e uma checagem no diâmetro da tubulação que o alimenta para conferir a pressão de utilização.

Segundo MEYNELL (68), apesar de o biogás apresentar um uso direto para queima, a maneira mais prática para sua utilização é com o uso de geradores para a produção de energia elétrica. Mas o rendimento desta transformação é muito baixo, da ordem de 25% e os geradores quase sempre são de duplo combustível (biogás e diesel). Para motores estacionários, não há necessidade de comprimir o biogás. Já para motores móveis, a compressão torna-se uma imposição prática, de forma a dar autonomia ao veículo.

Para MEYNELL (68), o biogás é mantido em grandes instalações comprimido a 350 atm, mais ou menos, sendo aí transferido para recipientes menores a 200 atm que são transportados por automóveis ou tratores.

O BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14) recomenda que para o biogás ser utilizado como combustível para carros, tratores e caminhões, ele deve ser purificado com a remoção do dióxido de carbono para poder ser comprimido a alta pressão.

Conforme GASQUES (42), CAMARGO (16), (89) e (41) e RODRIGUES (86), em São Paulo, desde 1982, já há uma usina purificando e comprimindo o metano, que passa de 0,20 m.c.a. de pressão para 7 atm. É tratado quimicamente com  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (recuperável) e com 96% metano é comprimido para 200 atm. Nos cilin

dros que alimentam os veículos a pressão é de 180 atm. Cada cilindro tem capacidade de armazenar 20 a 30 m<sup>3</sup> de metano, o que dá, em média, uma autonomia por cilindro, de 90km (GASQUES, 42).

Segundo GASQUES (42), (41), GOMES (45) e CAMARGO (16), há diversas vantagens na substituição da gasolina e diesel pelo biogás. Entre elas tem-se que, por ser mais leve que o ar, em caso de vazamento este sobre rapidamente e dissipa-se na atmosfera. A sua elevada temperatura de ignição (700°C), sensivelmente mais elevada que a da gasolina (420°C) diminui o risco de inflamação por contato com superfícies quentes. Assim, uma chama que explode um tanque com gasolina só faz com que a pressão do metano no interior do tanque aumente. Numa hipótese mais pessimista, faz com que a válvula de segurança não resista e o gás escape à atmosfera.

Para GASQUES (42), o fato do uso do metano em motores não formar partículas abrasivas de carbono, dobra a vida dos motores e espaça a necessidade de troca de óleo lubrificante, com uma perda de potência de 5% em relação à gasolina (irrelevante segundo os técnicos do IPT, afirma).

GOMES (45) apresenta que o abastecimento de veículos rurais (ou urbanos) com metano substituindo 85% do óleo diesel resulta em um aumento de 10% da potência do motor e de 20% do torque do motor.

MEYNELL (68) afirma que o uso que se destinará ao biogás depende das necessidades de cada situação e DANESE (30) alerta que tanto a produção quanto a utilização do biogás estão em função da disponibilidade de matéria orgânica para servir como substrato ao biodigestor.

Em áreas rurais, conforme LACAVA (55), a utilização do biogás deve ser estudada antes da escolha do local e início da construção do biodigestor, pois diversos fatores influem para a otimização da produção de biogás.

### 3.9. Efluente

A biodigestão anaeróbia da matéria orgânica produz biogás e deixa

como resíduo um líquido, o efluente.

Do material de alimentação, apenas uma pequena parcela é transformada em biogás. Para gado leiteiro, por exemplo, aproximadamente 15% dos sólidos totais são transformados, dos quais 91%, voláteis. Destes, em média 20 a 30% são convertidos em biogás, o que dá ao redor de 2kg de sólidos voláteis convertidos por dia por animal (PENN. ST. UNIV., 78).

Apesar da considerável decomposição da matéria orgânica que ocorre na biodigestão anaeróbia, 30 a 60% de redução, esta em volume é pequena (TAIGANIDES, 104).

O efluente do biodigestor é inodoro, não propicia o desenvolvimento de moscas e não contém agentes patogênicos, segundo PARCHEN (77), SILVA (97) e muitos outros autores.

TOMELIN (106) cita que na literatura chinesa, 98% dos germes patogênicos são destruídos na biodigestão com um tempo de retenção de 35 a 40 dias.

O efluente é isento de sementes de inços e ervas daninhas, HESS (47), (90), (11) e PARCHEN (77) e, segundo HESS (47), quimicamente muito mais rico que o esterco natural, uma vez que este tem de 0,60 a 0,75% de nitrogênio, 0,15 a 0,20% de  $P_2O_5$  e 0,40% de  $K_2O$  (ver Tabela 3.30).

CRAVEIRO (29) dá como aplicações do efluente do biodigestor, o uso como biofertilizante, como alimento para outros animais, peixes e o tratamento desse efluente para permitir lançamento a corpos d'água.

O lançamento a corpos d'água, além de onerar ao produtor, devido ao tratamento necessário, não é interessante por não reutilizar o efluente e promover a poluição dos mesmos. Por ser rico em nutrientes, conforme Tabela 3.30, o efluente pode ocasionar a eutrofização do corpo d'água, quando lançado em excesso.

Como alimento, na forma líquida, para a aquacultura serve para criação de peixes (CRAVEIRO (29), SALVETTI (87), (11), SGANZERLA (95) e ELLSWORTH & ABELES (34) e pode ser lançado em lagoas para estimular o crescimento de algas verde-azuis que servem de alimento a peixes como a tilápia, carpa, peixes or

namentais e filhotes de camarão (CHUNG, 23; MEYNELL, 68 e IPT, 51).

Na fase sólida, após secagem, serve também como alimento para peixes e animais e como "cama" (ELLSWORTH & ABELES, 34). SGANZERLA (95) especifica que, desidratado, o efluente pode servir de volumoso na composição de rações, no que concordam CRAVEIRO (29), SALVETTI (87), (11) e MAZZUCCHI (57).

VAN BUREN (107) cita, também, como forma viável de utilização do efluente, o seu uso como forragem para suínos, entretanto, CRAVEIRO (29) alerta que para ser reciclado, o efluente deve estar isento de microrganismos patogênicos.

Ainda na fase líquida, o efluente pode ser utilizado como fonte de nutrientes para culturas hidropônicas diretamente, MEYNELL (68) e IPT (51) ou, quando da desidratação para utilização da parte sólida como alimento para animais. A parte líquida é que pode ser utilizada em culturas hidropônicas e/ou aquasistemas (ELLSWORTH & ABELES, 34).

O uso do efluente como fertilizante, está sendo agora importantíssimo, não só pelo seu valor intrínseco, mas pelo que representa ao substituir, total ou parcialmente, os fertilizantes químicos (ref. 11).

Quando o efluente do biodigestor é utilizado como fertilizante, sua função nobre, é chamado de biofertilizante.

O biofertilizante é rico em nutrientes: nitrogênio (principalmente na forma amoniacal), fósforo (como  $P_2O_5$ ) e potássio (como  $K_2O$ ). Ver Tabela 3.30.

O biofertilizante, quando aplicado ao solo, substitui, total ou parcialmente, o adubo químico, melhora a estrutura do solo e auxilia a retenção de água, CRAVEIRO (29).

Apresentando um pH elevado, em torno de 7,0, normalmente já corrige a acidez do solo, dispensando a adição de calcário à terra (RISCHIBIETER, 84).

Para SALVETTI (87), a retenção da umidade do solo facilita a germinação de sementes, diminuindo a erosão e deixando a terra porosa e solta.

SILVA & AZEVEDO (100) e BATISTA (7) apresentam como razões para a al

ta qualidade do biofertilizante a diminuição do teor de carbono (a matéria orgânica perdeu carbono na forma de metano e dióxido de carbono), o aumento do teor de nitrogênio (reduzido da baixa do teor de carbono) e, conseqüentemente uma diminuição da relação C/N, o que é benéfico às plantas.

TABELA 3.30. Composição média do biofertilizante (líquido). Em porcentagem.

referência \ elemento	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mat. Orgânica	CaO	pH
CRAVEIRO (29)				20-30		
BENICASA (8)	20			50		
SEIXAS e colab. (99)	1,4-1,8	1,1-2,0	0,8-1,2			
SALVETTI (87) adap.	1	0,5	0,7	9		
ref. (11)	1,5-4,5	1,0-2,0	0,5-1,2			
COMP.PENHA (26) <sup>+</sup>	1,8	2,7	1,2		4,7	
LACAVAL (55)* SILVA & AZEVEDO (100)	1,4-1,8	1,1-2,0	0,8-1,2			
HESS (47)	1,5	0,35	0,70			
SGANZERLA (95)	1,8	1,6	1,0	85		7,5
ref. (81) <sup>+</sup>	2,23	1,29	1,47			
MAZZUCCHI (57)	1,5-2,0	1,0-1,5	0,5-1,0			
IPT (51) <sup>+</sup>	2,7-4,9					
PARCHEN (77)	1,8-4,5	1,1-1,2	0,8-1,2			

\* biofertilizante seco

+ substrato: esterco bovino

SGANZERLA (95) afirma que o biofertilizante tem o grande poder de recuperar solos cansados, melhora sua textura, torna-o mais resistente contra a

erosão, proporcionando o restabelecimento das características físicas e biológicas. As características químicas de um solo podem ser recuperadas através de adubos químicos, mas as físicas e biológicas só o podem ser através da adição de matéria orgânica. O excesso de adubo químico provoca a mineralização do solo, além de matar as bactérias presentes no mesmo. Com isto, inicia-se um ciclo vicioso, onde o solo estando indefeso permite que outros microrganismos ataquem a planta, sendo necessário a aplicação de defensivos em doses mais elevadas. Os defensivos matam também os predadores naturais das pragas, agravando o problema e exigindo defensivos mais potentes. Assim, é muito mais fácil e interessante cuidar do equilíbrio orgânico do solo, pois em solo sadio as plantas crescem saudáveis (SGANZERLA, 95).

IPT (51) afirma que no biofertilizante o nitrogênio está transformado em nitrogênio amoniacal que é utilizado diretamente pelas plantas.

Para MEYNELL (68) o efluente biodigerido tem pelo menos 50% de seu nitrogênio na forma amoniacal.

PARCHEN (77) e SILVA & AZEVEDO (100) realçam que a presença de micronutrientes acentua ainda mais o seu valor fertilizante.

VAN BUREN (107), SILVA (97) e SGANZERLA (95) citam que na China foram obtidos acréscimos de produtividade devido ao uso do biofertilizante que variam de 10 (arroz) a até 28% (para o milho).

O biofertilizante pode ser aplicado à terra tanto no estado líquido como no estado sólido. Para ser utilizado no estado sólido, segundo PARCHEN (77), cerca de 50% do seu teor de nitrogênio é perdido.

Na manipulação do biofertilizante líquido, muito cuidado deve ser tomado de forma a não permitir a volatilização da amônia. ELLSWORTH & ABELES (34) citam que a perda de amônia por volatilização, após ter sido aspergida é, dentro de dois dias, cerca de 75% do nitrogênio. Para se evitar esta perda, HILLS & FAIRBANK (48) e ELLSWORTH & ABELES (34) recomendam que o biofertilizante seja armazenado em local coberto e incorporado ao solo logo após sua aspersão.

PARCHEN (76) alerta que se o biofertilizante não sofreu a biodiges



tão com um tempo de retenção adequado, por não ter ainda terminado seu processo de estabilização, continuará o processo no solo, imobilizando nitrato. Assim, os microrganismos que oxidam os nitritos transformando-os em nitratos, competem com as plantas. O nitrito somente voltará a ser liberado em níveis excedentes ao do solo, quando cessar a estabilização do biofertilizante. Tem-se duas maneiras para resolver este problema: aumentar o tempo de retenção no biodigestor ou estocar o biofertilizante antes de aplicá-lo, dando assim, tempo para que termine sua estabilização.

Um ciclo fechado, perfeito, é apresentado por SILVA (97). Trata-se de uma fazenda onde na plantação não se queima nada. A colheita, sem queimar, é ensilada, após o que vai ao biodigestor. O efluente, quando retorna ao campo, leva consigo os nutrientes (100%). A matéria orgânica não digerida torna-se húmus, protegendo a plantação.

A ref. (11) esclarece que a maioria dos solos se configuram destruídos devido à distribuição irregular de chuvas e à carência de adubos orgânicos.

### 3.10. Remoção do lodo sedimentado no biodigestor

Os sólidos que se sedimentam no fundo de um biodigestor têm que ser removidos, pois, ocupando um volume do tanque, reduzem o tempo de retenção da massa em biodigestão (PENN. ST. UNIV., 78).

Para a remoção destes sólidos sedimentados no biodigestor chinês, é necessário a interrupção da biodigestão e o esvaziamento do tanque para limpeza (CRAVEIRO, 28).

No biodigestor tipo indiano, quando a topografia for favorável, pode-se instalar saídas de fundo, uma em cada câmara, reguladas por válvulas hidráulicas. O lodo removido deve ir a uma fossa para armazenamento (PENN. ST. UNIV., 78).

Ao invés de válvulas hidráulicas, que são mais seguras, pode-se uti

lizar também registros de gaveta.

### 3.11. Cuidados Especiais e Componentes Adicionais

LACAIVA (55) recomenda que o biodigestor deve estar localizado distante pelo menos 15 metros de poços ou fontes, com medida preventiva à contaminação fecal da água.

O IPT (51) aconselha que o biodigestor deve distar até 20m do local de coleta de esterco (também o fazem SILVA & CRAVEIRO, 100) e que áreas inundáveis sejam evitadas. Deve-se observar o nível do lençol freático e a existência de rochas que dificultam a construção.

SILVA & AZEVEDO (99 e 100) e SEIXAS e colaboradores (93) alertam que para distâncias entre o biodigestor e o ponto de consumo de biogás superiores a 30m, pode-se ter problemas com a pressão de utilização do biogás. SALVETTI (88) dá como máximo para esta distância o valor de 100m. A ref. (92) cita que, quando a distância é grande, há necessidade de se aumentar o diâmetro da tubulação de gás e, como isto provoca um decréscimo na pressão, deve-se aumentar o peso sobre a campânula (no caso de biodigestor modelo indiano) para ter-se a pressão necessária nos pontos de consumo.

Segundo ELLSWORTH & ABELES (34), a alimentação do biodigestor não pode ocorrer a intervalos irregulares, pois esta prática prejudica ou mesmo interrompe o processo biológico e, portanto, todo o sistema. O IPT (51) aconselha que se realize a carga do biodigestor sempre no mesmo período do dia.

SGANZERLA (95) e SALVETTI (88) alertam para que a água utilizada para diluição da matéria orgânica não contenha cloro, sabão, detergente ou qualquer outro elemento químico, pois estes prejudicam os microrganismos envolvidos no processo biológico. A água de diluição deve ser levemente aquecida, através da sua exposição ao sol, em recipientes preferencialmente pretos, antes de sua utilização (IPT, 51).

SILVA (97), SGANZERLA (95) e SALVETTI (88) citam que, em hipótese al

guma, se deve introduzir no biodigestor, junto com a carga, adubo químico, pois este contém fósforo e em contato com o biogás produz um gás extremamente tóxico chamado fosfina, como já foi comentado.

MEYNELL (68) recomenda que se mantenha a área, onde está o biodigestor e os equipamentos movidos a biogás, com boa ventilação, para que em caso de vazamento o biogás se dilua rapidamente na atmosfera, reduzindo o tempo no qual se tem os limites de inflamabilidade.

Para ELLSWORTH & ABELES (34) e IPT (51), se no local do biodigestor ou próximo às tubulações de gás houver um odor de "ovos podres", isto significa que há um vazamento de biogás e todo o sistema deve ser checado. Segundo ELLSWORTH & ABELES (34) e SGANZERLA (95) esta checagem deve ser realizada com espuma de sabão e que seja periódica.

MEYNELL (68) aconselha que, como eventuais vazamentos são inevitáveis, toda a atmosfera ao redor do biodigestor deve ser tratada como explosiva, por prevenção.

O transporte do biogás do biodigestor até o ponto de utilização deve ser preferencialmente, segundo ELLSWORTH & ABELES (34), por tubulações. Quando estas estiverem enterradas, podem ser de polietileno ou PVC e quando aéreas, de ferro preto ou aço, já que National Fuel Gas Code proíbe o uso de tubos plásticos e o cobre não deve ser usado por reagir com o sulfeto de hidrogênio presente no biogás. Também citam que o diâmetro da tubulação é função do volume de biogás a ser transportado, da distância a ser percorrida, da pressão necessária no ponto de utilização e do peso específico do biogás.

CERULLO (20) recomenda o uso de mangueiras flexíveis e tubos de PVC devido ao custo e facilidades para instalação.

SGANZERLA (95) considera a mangueira de polietileno como sendo a mais econômica e a de PVC, a mais prática já que é transparente, permitindo um controle visual da água condensada. Ainda, o encanamento aéreo e sem ondulações com pequena declividade para o escoamento da água condensada. O diâmetro é função do volume veiculado, mas, geralmente, para biodigestores pequenos e me

dios são usados diâmetros de 3/4" e nos grandes, entre 1 e 2". Nas ramificações, é função do consumo de cada aparelho. Assim: 1/2" para o fogão, aquecedor de água e pequenos motores, 3/4" para motores de maior potência e 3/8" para lampiões, geladeira, incubadeira, campânula e outros aparelhos de menor consumo. Quando a tubulação estiver em ambientes fechados, usar canos de PVC rígido ou de ferro galvanizado para evitar possíveis danificações de roedores. Mensalmente, deve ser checada a tubulação para evitar possíveis vazamentos.

SILVA (97) alerta para o fato da exposição de tubos flexíveis de biogás aos raios solares, pois dilata os gases e pode aumentar a pressão no manômetro, sem que esta seja a pressão representativa daquela no biodigestor. Recomenda também que a mangueira flexível (de 3/4" ou 1/2") não tenha emendas até o manômetro.

Para SEIXAS e seus colaboradores (93), se houver entrada de produtos químicos ou de sabão em excesso, a produção de gás cai. O biodigestor deve ficar em observação por duas semanas e caso não retorne às condições normais, deve ser esvaziado. Se a mistura estiver ácida, deve-se deixar de carregá-lo e adicionar água de cal. Se a temperatura da massa em biodigestão estiver baixa, deve-se aquecer a carga diária, proteger o biodigestor ou ainda acrescentar urina à carga diária. E, se a chama estiver desigual pode ser que o queimador esteja sujo ou haja água condensada na tubulação.

Conforme o IPT (51), se o efluente apresentar odor e atrair moscas ou, a produção de biogás cair à metade, são sinais que a biodigestão não está ocorrendo completamente. Em ambos os casos é aconselhável a alimentar o biodigestor com apenas meia carga, durante uma ou duas semanas, até que cesse o problema. Pode-se, então, retornar à carga normal. O problema voltando a aparecer deve-se verificar, com o mesmo procedimento anterior, qual a melhor quantidade de material para a carga que consiga ter uma boa biodigestão.

SILVA (97) e o IPT (51) observam que não se deve empregar betume na impermeabilização do biodigestor, pois ele e seus derivados são solúveis, após reagirem com o biogás.

MEYNELL (68) recomenda que quando o biodigestor ou a campânula necessitarem de reparos, todo o biogás deve ser retirado antes de qualquer serviço ser realizado.

Segundo SILVA (97), não se deve usar registro de gás no cano de saída do biodigestor, estando o primeiro registro localizado antes do manômetro e dentro da casa. Enquanto que SGANZERLA (95) considera indispensável o uso de registro e que este deve ser, preferencialmente, o mais próximo possível do biodigestor.

ELLSWORTH & ABELES (34) consideram interessante o uso de um aparelho medidor de gás e acham que toda água condensada deve ser removida antes deste equipamento, pois a água pode acumular-se dentro do medidor, tornando-o inoperável. O melhor local para sua instalação será junto ao ponto de uso do biogás.

Segundo MEYNELL (68), como o biogás sai do biodigestor saturado de vapor d'água e esta condensa-se ao longo das tubulações de gás, é necessário a colocação, nos pontos mais baixos da tubulação, de coletores para que essa água condensada não impeça a passagem do gás. MEYNELL (68) apresenta dois modelos para o coletor que estão na Figura 3.21.

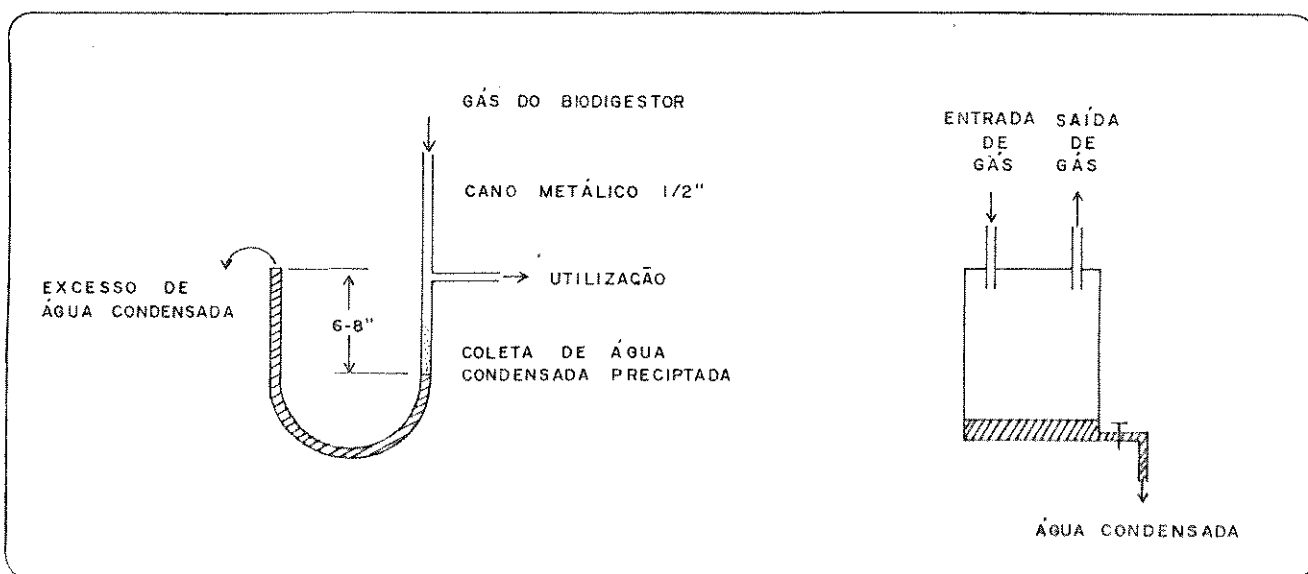


FIGURA 3.21. Coletores de Água Condensada na Tubulação de Gás (MEYNELL, 68).

O modelo (a) da Fig. 3.21. é também recomendado por SILVA & AZEVEDO (100), IPT (51), SGANZERLA (95) e SALVETTI (88). SILVA & AZEVEDO (100) e IPT (51) dão-lhe mais uma função - a de servir como dispositivo de segurança contra pressões elevadas. No biodigestor tipo indiano, por exemplo, um problema que impeça a movimentação da campânula provoca uma sobrepressão.

BATISTA (7) e SILVA (97) apresentam um modelo diferente de "purgador", como também é conhecido o coletor da água condensada e lhe dão a função de filtro de umidade e válvula de segurança. Figura 3.22.

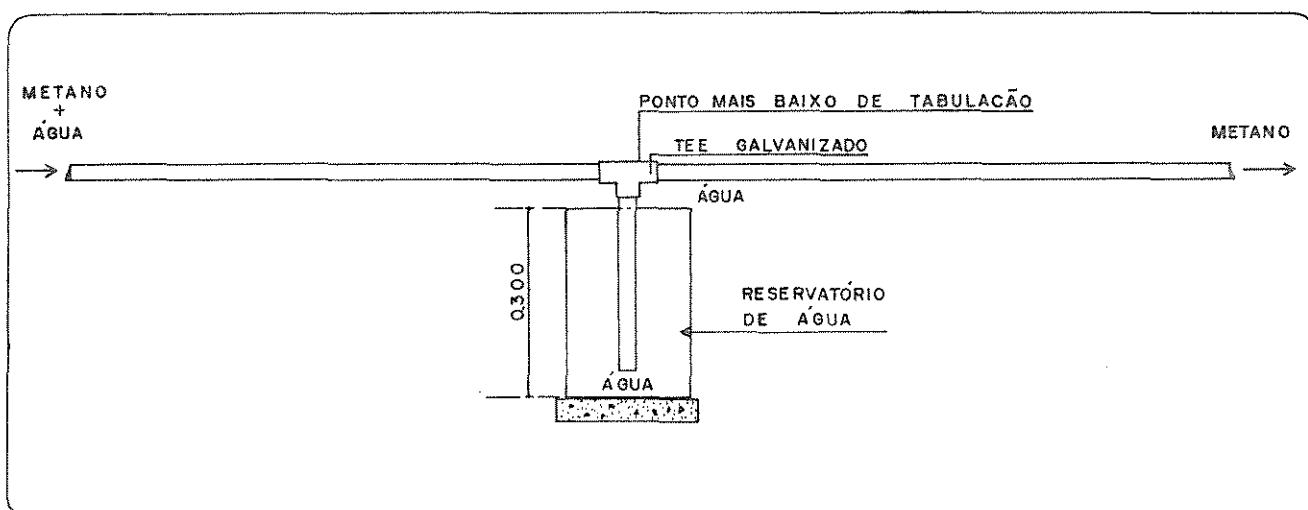


FIGURA 3.22. Dispositivo de Segurança e Filtro de Umidade (BATISTA,7).

SILVA (97) recomenda que o purgador seja instalado antes do manômetro e o IPT (51), depois.

SGANZERLA (95) aconselha a verificação constante do nível de água no purgador de modo a evitar-se perdas de biogás.

Para BATISTA (7), deve-se medir e controlar rigorosamente a pressão do biogás, a fim de melhorar a operacionalidade e eficiência dos equipamentos por ele alimentados. O instrumento para tal medida, simples e de fácil execução é o manômetro em forma de U, e a leitura da pressão é o desnível das colunas de água. Figura 3.23.

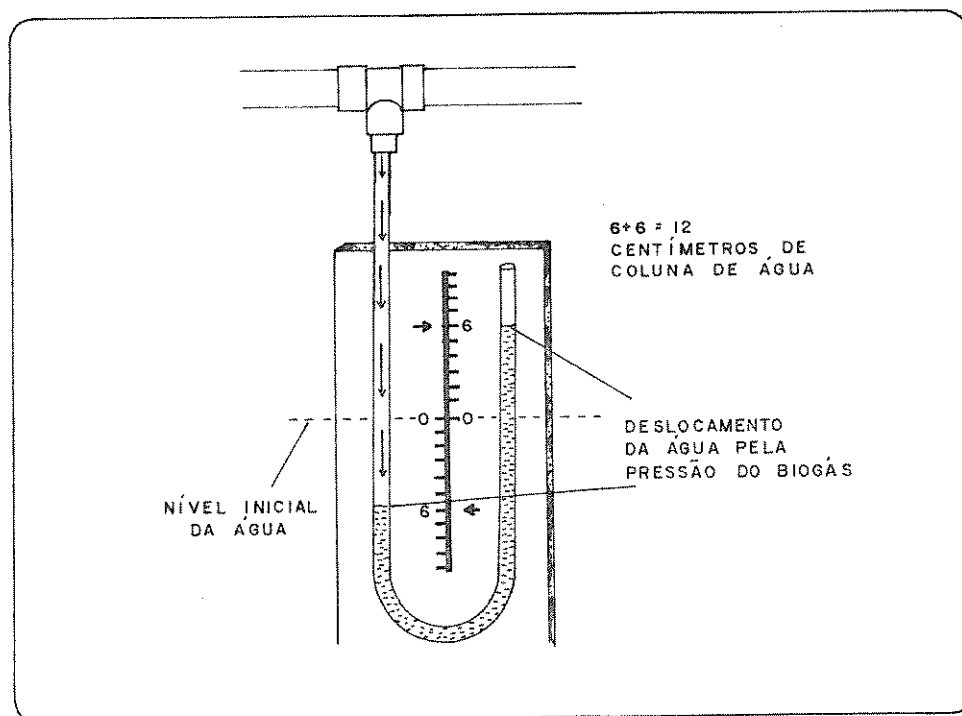


FIGURA 3.23. Manômetro em U (SGANZERLA,95).

Segundo SILVA (97), o manômetro é usado para medir a pressão interna, calcular a quantidade aproximada de gás armazenado e zelar pela segurança da estrutura do biodigestor. Recomenda que se adicione algumas gotas de mercúrio-cromo para colorir a água, facilitando a leitura e que o diâmetro da mangueira para fazer o "U" seja de 3/8". À medida que a água for evaporando a certa-se o nível com conta-gotas. Quando a pressão não se mantém na escala é porque está havendo vazamento de gás.

SGANZERLA (95) sugere também o manômetro em U e comenta que o uso dele não é "fundamental", mas que auxilia o acompanhamento do biodigestor. Para o modelo chinês, deve ser capaz de indicar pressões até 0,50 m.c.a. e para o modelo indiano até 0,20 m.c.a. Como medida de prevenção à evaporação da água, indica a colocação de pequena camada de óleo sobre a água.

SALVETTI (88) recomenda que além do óleo sobre a água se proteja todo o manômetro com uma cobertura, evitando assim que tome chuva ou sol.

MEYNELL (68) aconselha a instalação de válvulas corta-chamas que impeçam ao fogo de atingir o biodigestor. Uma maneira prática de adaptar um tipo deste dispositivo é fazer com que o biogás borbulhe através de um recipiente

fechado e com água. O fogo ao encontrar-se com a água, apaga-se.

Recomenda também a instalação de uma válvula de fluxo unidirecional que impeça ao fluxo de gás o seu retorno, além de impedir, também, a entrada de ar ao biodigestor, caso ocorra algum acidente. Figura 3.24.

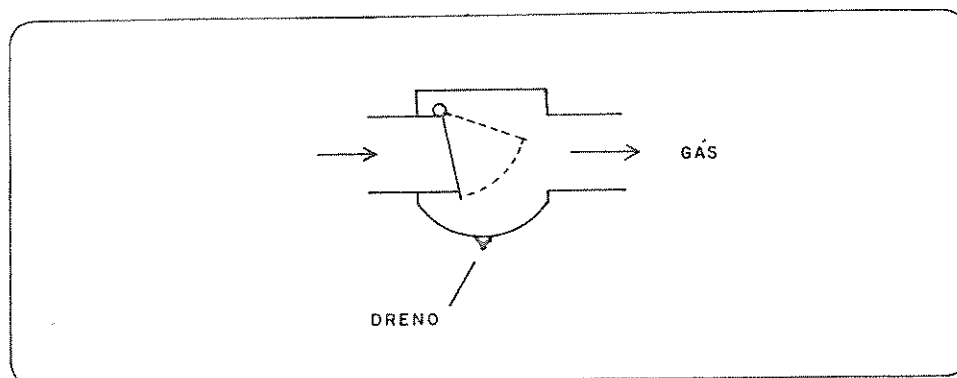


FIGURA 3.24. Válvula de Fluxo Unidirecional (MEYNELL, 68).

SGANZERLA (95) cita a válvula de demanda que tem a função de retirar toda a água em suspensão no biogás, principalmente, quando de vazões acentuadas.

ELLSWORTH & ABELES (34) consideram útil manter apontamentos regulares para monitorar o desempenho do biodigestor. Assim, a produção de biogás, temperatura e pH são parâmetros importantes e devem ser tomados regularmente. O efluente não deve ter odor acentuado e a composição do biogás é acompanhada pela coloração da chama (azul indica predominância do metano e amarela, do dióxido de carbono).

### 3.12. Dimensionamento do biodigestor

Este trabalho enfatiza o biodigestor rural, modelo indiano, sobre o qual será apresentado o dimensionamento.

Segundo MEYNELL (68), deve-se ter os objetivos bem claros ao se pensar em dimensionar um biodigestor. Estes nos permitem escolher o tipo certo



de biodigestor e os critérios a serem utilizados no dimensionamento. O primeiro passo é saber se o biodigestor será considerado como um processo de controle de poluição (com o biogás e o biofertilizante como subprodutos) ou como um gerador de energia. No primeiro caso, as autoridades sanitárias locais fornecem os parâmetros de dimensionamento e a eficiência necessária ao processo e seus custos devem ser comparados com os de outros processos possíveis de tratamento. No segundo caso, a potencial utilização do biogás é que será a base de cálculo. A otimização de ambos não é impossível, mas quando só a produção de biogás interessa, o projeto é menos exato e o sistema como um todo é mais barato para instalar, já que não necessita de nenhum outro tratamento adicional.

### 3.12.1. Câmara(s) da Massa em biodigestão

Para o dimensionamento, conforme MEYNELL (68), o primeiro passo é conhecer a quantidade de material digerível (resíduo) possível de se obter diariamente (levando-se em consideração todos os fatores que a afetam); a seguir, é necessário decidir qual a diluição adequada (baseado nas propriedades físico-químico biológicas do material a ser digerido); e, o dimensionamento físico propriamente dito.

Há três maneiras de determinar as dimensões para MEYNELL (68): partindo com o tempo de retenção e o volume diário total do afluente, fixando a taxa de carga ou tendo um volume fixado para cada população equivalente de resíduo. Normalmente, é utilizada uma combinação das duas primeiras.

O biodigestor, ainda MEYNELL (68), deve ter forma regular, sem ângulos e fissuras nas quais o resíduo possa ficar retido, diminuindo o tempo de retenção desejado. A melhor forma é a circular.

ELLSWORTH & ABELES (34) citam que o material para construção do biodigestor tem que ser estanque ao ar e ao líquido, não corrosivo e resistente ao tempo. Pode ser desde cavado na terra com cobertura plástica ou mesmo argila, concreto, fibra de vidro e até material emborrachado reforçado. A decisão

são sobre o material a ser usado é função do disponível no local. A configuração do tanque pode ser retangular, cilíndrica, redonda ou quadrada. Sistemas tipo "plug-flow" e agitados têm operado com sucesso em todas as formas descritas.

CRAVEIRO (28 e 29), BATISTA (7), DANESE (30) e o IPT (51), considerando o biodigestor como gerador de biogás, dimensionam-no determinando o consumo diário de biogás na propriedade, a disponibilidade diária de resíduos, a quantidade de água para diluição, o volume de mistura da carga diária, o tempo de retenção e, o volume do biodigestor. Baseiam-se em tabelas, tais como: Tabela 3.8, 3.14; 3.19 e 3.28.

SANTIAGO & CRESTANA (91) e PARCHEN (77) já o dimensionam determinando o consumo diário de biogás na propriedade e com o uso de uma relação entre o volume do biodigestor e o volume necessário para o consumo diário de biogás (fator k), obtém o volume do biodigestor. O fator k é função do tipo de resíduo, da temperatura e da concentração da mistura (carga). Para esterco bovino seu valor é 2,5. Determinam também uma correlação entre as dimensões do biodigestor, apenas sugeridas pelo IPT (51), que são: o diâmetro deve ser 0,66 a 1,0 da altura útil, a altura total deve ser 0,30m maior que a altura útil (SANTIAGO & CRESTANA (91) dão como função da pressão desejada) e a altura da parede divisória igual a dois terços da altura total. SANTIAGO & CRESTANA (91) ainda estabelecem que o fundo da caixa de entrada deve estar 0,50m acima do nível da mistura do biodigestor; a diferença entre o diâmetro superior e o inferior do biodigestor deve ser de 0,10m; a diferença de nível entre o fundo do biodigestor e a parte inferior das tubulações de carga e descarga deve ser de 0,30m; e, o diâmetro das tubulações utilizadas deve ser no mínimo de 0,10 m (4"). Estas correlações físicas determinam o chamada Biodigestor Jaboticabal (Figura 3.16).

### 3.12.2. Gasômetro

O tamanho do gasômetro, segundo MEYNELL (68), depende da relação entre a produção e o consumo de biogás, pois com mesma taxa, não há necessidade, praticamente, de armazenamento. Sendo o consumo de biogás intermitente, há necessidade de armazenar o biogás.

MEYNELL (68) comenta que é melhor superdimensionar o biodigestor do que subdimensioná-lo, já que no primeiro caso, além de permitir alguns erros estimativos, assegura que toda a massa seja bem digerida e permite um acréscimo à carga diária.

O gasômetro é dimensionado por SANTIAGO & CRESTANA (91) verificando qual o volume necessário para estar armazenado na hora de maior consumo de biogás e o volume necessário para armazenar o biogás produzido nas horas de consumo nulo. O mais crítico é tomado como volume útil. O volume do gasômetro é a soma do útil e do ocioso. O ocioso é aquele que quando a campânula está vazia persiste e o gás residual não tem pressão para utilização. PARCHEN (77) compara o volume necessário à hora de maior consumo e o necessário para o período sem consumo, acrescentando 30% ao maior. O IPT (51) dá um método bastante usado, simples e seguro - o gasômetro deve armazenar, no mínimo, metade da produção diária de biogás.

Esses autores citam que, caso o peso da campânula não forneça a pressão desejada, deve-se acrescentar pesos sobre a mesma (lastros).

SGANZERLA (95) cita que o tamanho econômico recomendável do gasômetro varia de 59 a 70% da produção diária de biogás.

SALVETTI (87) alerta para o fato que quando o biodigestor é construído em regiões onde a estação de inverno é fria, deve-se acrescentar um fator de segurança ao volume de gás relativo ao consumo diário, para que o decréscimo na produção de biogás, durante os meses frios, não prejudique o consumo.

### 3.12.3. Tubulações de transporte

CERULLO (20) dimensiona as canalizações (dutos) que transportam o

biogás do gasômetro até o ponto de consumo. O duto principal deve estar dimensionado para atender à hora de pico no consumo de biogás na propriedade. Este autor apresenta uma tabela de dupla entrada, onde tendo a distância do biodigestor ao ponto de utilização e o consumo de biogás em kcal/min, obtém-se o diâmetro necessário (Tabela 3.31). O consumo em kcal/min é obtido na Tabela 3.30.

Tabela 3.30. Consumo de biogás, em kcal/min (CERULLO, 20).

utensílio	consumo
fogão	30,0 kcal/min
iluminação	10,3 kcal/min/lâmpião
geladeira	6,7 kcal/min/geladeira
incubadeira	2,0 kcal/min/m <sup>3</sup> de incubadeira
motor a combustão	45,0 kcal/min/Hp
eletricidade	63,0 kcal/min/kw

#### 3.12.4. Detalhes construtivos

A ref. (90) cita que se o terreno for firme, o piso do biodigestor pode ser construído com tijolos sobre uma camada fina de areia e em caso contrário, deve-se construir o piso com uma laje de concreto com 0,10 a 0,15m de espessura. O concreto deve ser com traço 1:3:6 (cimento:areia:brita). SEIXAS e seus colaboradores (93), BATISTA (7) e o IPT (51), também citam o mesmo traço para a laje de piso do biodigestor. O segundo autor acha que não é necessário ferragem nesta laje, enquanto o terceiro, que a ferragem pode ser com CA-25 de 4mm de diâmetro.

SEIXAS e colaboradores (93) dão que a argamassa de assentamento dos tijolos deve ter traço 1:6 (cimento:areia) ou 1:1:12 (cimento:cal:areia). BA

TISTA (7) e o IPT (51) dão 1:6.

O traço para o reboco deve ser, de acordo com os autores: SEIXAS e colaboradores (93), 1:3 (cimento:areia), BATISTA (7), 1:6; e, SILVA & AZEVEDO (99), 1:3 com Sika ou Vedacit na proporção indicada pelos fabricantes. O IPT (51) recomenda internamente um chapisco 1:2, o reboco com traço 1:3, queimando-o com cimento e em seguida duas aplicações de mãos de nata de cimento.

A ref. (90), recomenda que para a campânula utilize-se chapa metálica de 1/8" de espessura. SEIXAS e seus colaboradores (93) citam que a chapa deve ter pelo menos 2mm. Para BATISTA (7) ela deve ser de ferro doce com es p<sup>2</sup>essura de 1/8" (cada m pesando em torno de 25kg). O IPT (51) dá a mesma es pecificação anterior, com anéis em cantoneiras L (1/2 x 1/2 x 1/8"). A prote ção do cano guia e este são respectivamente 2 1/2" e 2" e devem ter um compri mento de duas vezes a altura do gasômetro, mais 0,15m.

Para SILVA & AZEVEDO (99) no gasômetro deve haver um registro de gaveta.

FIGURA 3.31. Dimensionamento para canalizações (CERULLO, 20).

Poder energético - 5700 kcal/m<sup>3</sup>.

Perda de carga - 15 m.m.c.a.

DIÂMETRO	12,7 (mm) 1/2"	19,0 (mm) 3/4"	25,4 (mm) 1"	31,8 (mm) 1 1/4"	38,1 (mm) 1 1/2"	50,8 (mm) 2"	63,5 (mm) 2 1/2"	76,2 (mm) 3"	101,6 (mm) 4"
----------	----------------------	----------------------	--------------------	------------------------	------------------------	--------------------	------------------------	--------------------	---------------------

COMPRIMENTO (m)	CONSUMO, kcal/min								
5	113	366	850	1020	2690	6110	11390	18820	41140
10	80	259	600	1145	1905	4320	8050	13310	29090
15	65	211	490	935	1555	3530	6580	10870	23750
20	56	183	425	810	1345	3060	5690	9410	20570
25	50	164	380	725	1205	2730	5090	8420	18400
30	47	150	345	660	1100	2500	4650	7650	16800
35	43	138	320	615	1020	2310	4300	7120	15550
40	40	130	300	575	950	2160	4030	6660	14540
45	38	122	285	540	895	2040	3800	6280	13710

continua...

FIGURA 3.31. continuação

DIÂMETRO	12,7 (mm) 1/2"	19,0 (mm) 3/4"	25,4 (mm) 1"	31,8 (mm) 1 1/4"	38,1 (mm) 1 1/2"	50,8 (mm) 2"	63,5 (mm) 2 1/2"	76,2 (mm) 3"	101,6 (mm) 4"
COMPRIMENTO (m)	CONSUMO, kcal/min								
50	36	116	270	510	850	1930	3600	5950	13010
55	34	110	255	485	820	1840	3430	5600	12400
60	32	105	245	465	775	1770	3290	5430	11580
65	31	101	235	450	750	1700	3160	5220	11410
70	30	98	225	435	720	1640	3040	5030	10990
80	28	92	210	405	670	1530	2850	4700	10280
90	27	86	200	380	635	1440	2690	4450	9730
100	25	82	190	360	600	1370	2550	4200	9200
120	23	75	170	330	550	1250	2320	3840	8400
140	21	69	160	310	510	1160	2150	3560	7770
160	20	65	150	290	475	1080	2020	3330	7270
180	19	60	140	270	450	1020	1900	3140	6860
200	18	58	135	255	425	970	1800	2980	6500

### 3.13. Esterqueiras

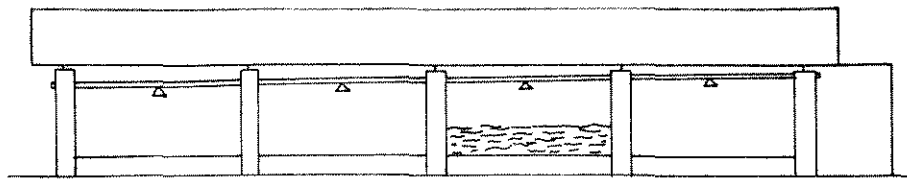
Segundo CARNEIRO (17), as esterqueiras são necessárias aos agricultores para o preparo e conseqüente aproveitamento dos resíduos animais. São classificadas em esterqueiras cobertas e esterqueiras descobertas, sendo estas últimas não recomendadas para o nosso clima. O sol muito intenso da época de estiagem resseca o esterco e, na época das chuvas que é prolongada, as águas carream consigo substâncias fertilizantes.

A esterqueira coberta, quando enterrada, deve ter as paredes em alvenaria e impermeabilizadas na face interna. No caso de ser necessário uma área superficial grande, a esterqueira é subdividida em compartimentos que são utilizados em tempos distintos, CARNEIRO (17). Ver Figura 3.25.

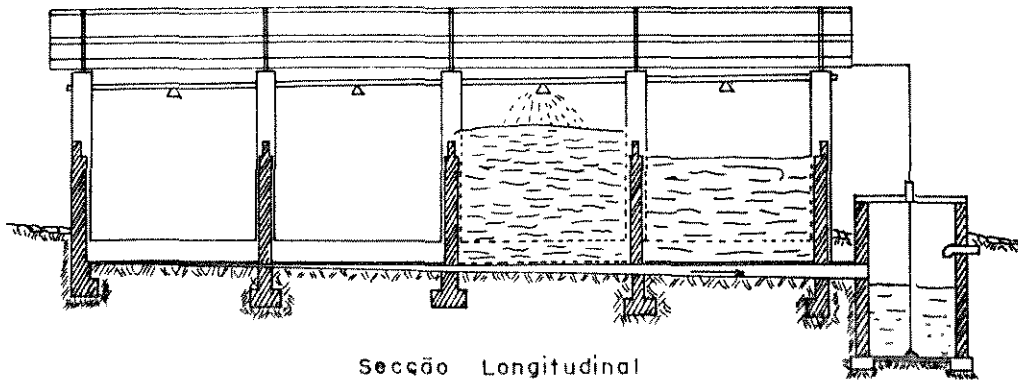
CARNEIRO (17) cita, também, as câmaras de fermentação de esterco, nas quais o esterco é recolhido, fechado e mantido por 30 dias para ser curtido e usado como adubo. A temperatura interna atinge cerca de 75°C, o que elimina os germes patogênicos. Ver Figura 3.26.

Para PEREIRA (79) as estrumeiras modernas são cobertas, com aberturas para a saída de gases provenientes da fermentação. São conhecidas pelos nomes de "celas" ou "câmaras de fermentação". A temperatura atinge rapidamente 65 a 70°C e após 6 a 8 semanas tem-se um material humidificado, quase inodoro, isento de patogênicos e rico em nitrogenados (em proporção maior que a encontrada normalmente nos estercos). Ver Figura 3.27.

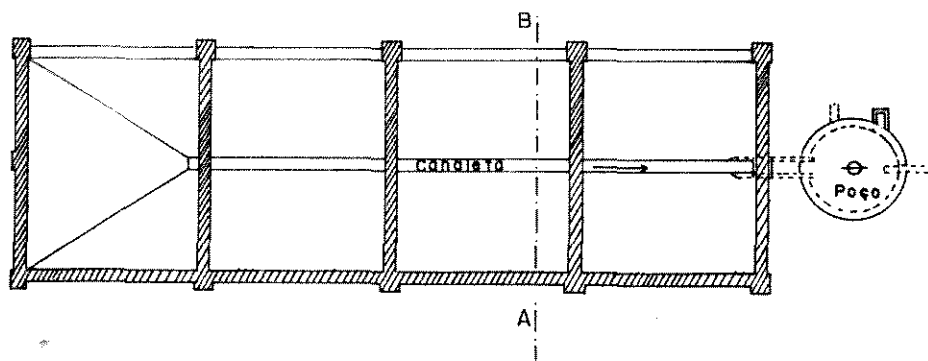




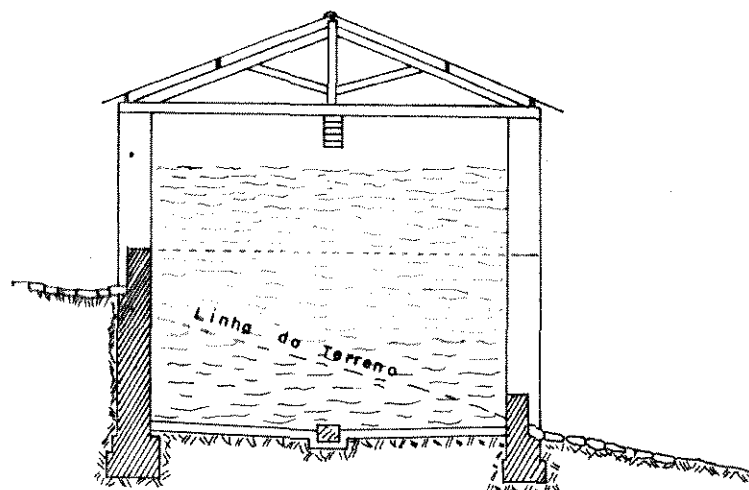
Elevação



Secção Longitudinal



Planta



Corte AB

FIGURA 3.25. Esterqueira Coberta (CARNEIRO, 17).

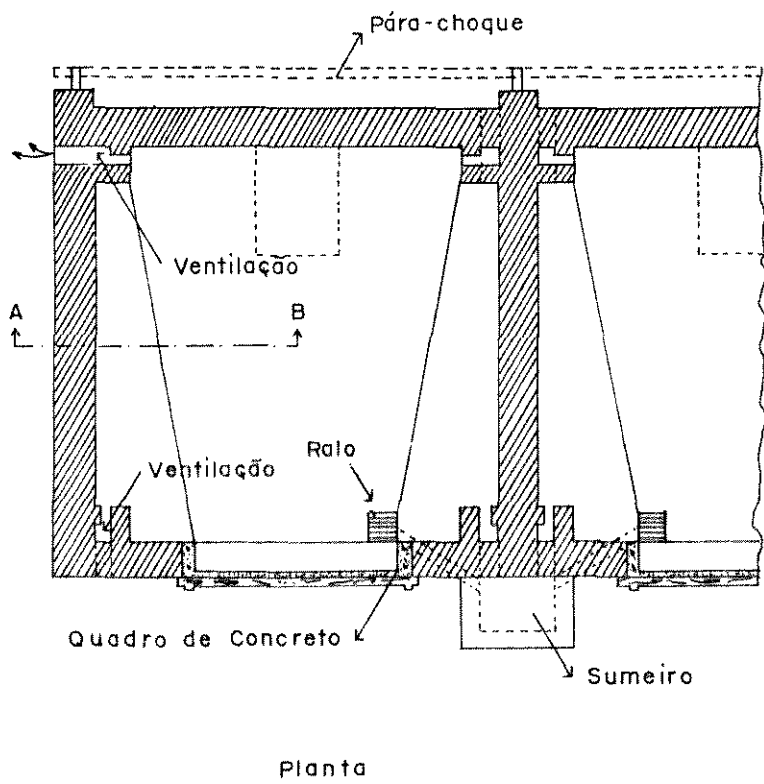
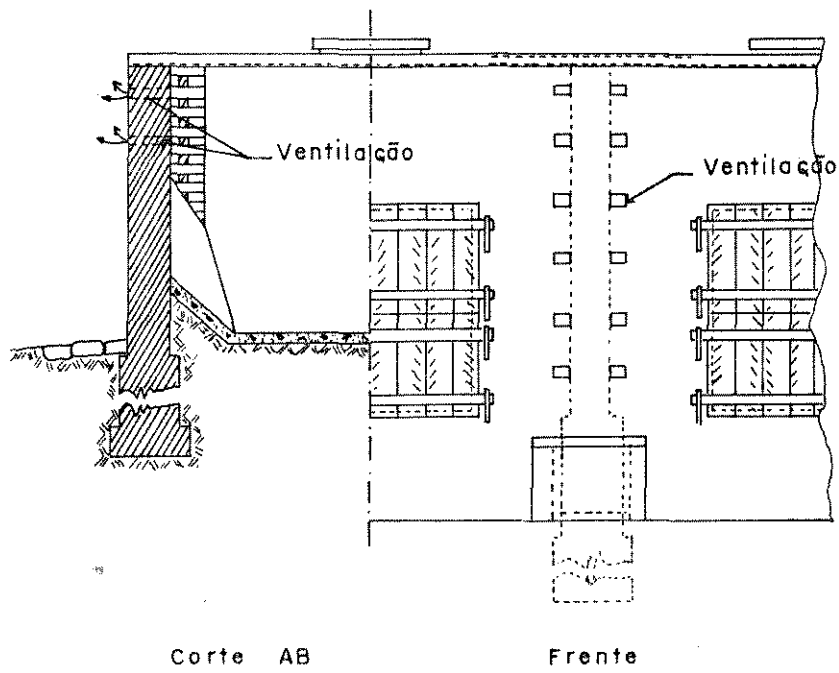
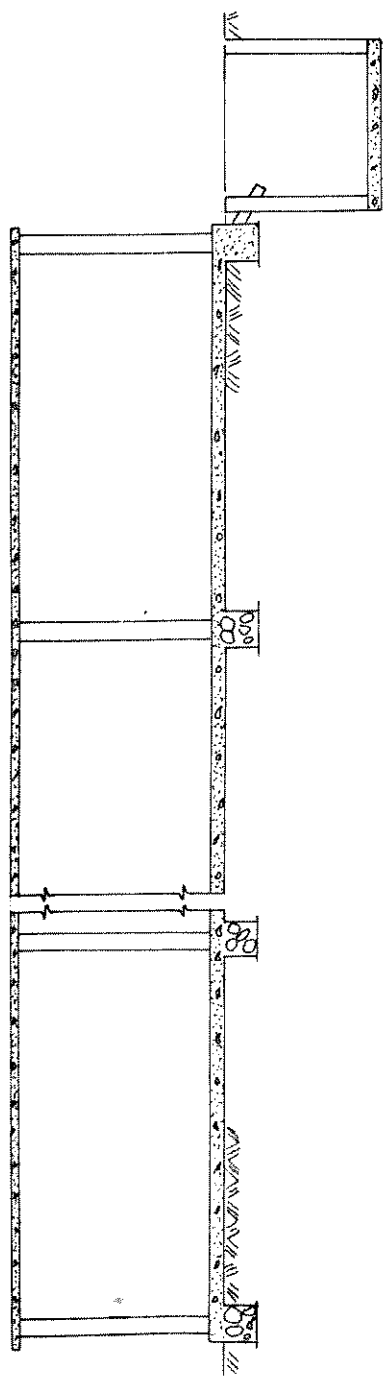
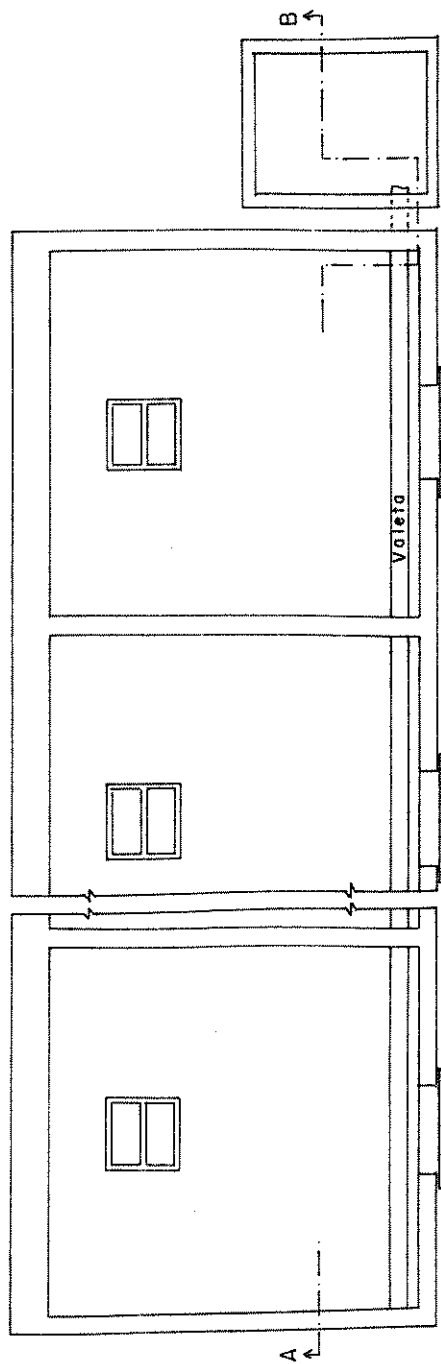


FIGURA 3.26. Câmaras de Fermentação de Esterco (CARNEIRO,17).



Corte AB



Planta

FIGURA 3.27. Câmaras de Fermentação (PEREIRA,79).

#### 4. METODOLOGIA

##### 4.1. Adaptação física da esterqueira

A esterqueira ou célula de fermentação, existente na Fazenda Mato-Dentro, em Campinas, propriedade e sede do Instituto Biológico - Fazenda Experimental de Campinas, foi adaptada em biodigestor.

A partir do número médio de animais semi-estabulados no local, foi verificado se o volume de uma célula da esterqueira poderia ser utilizado como volume útil de biodigestão para o esterco produzido por eles, para se proceder com a adaptação.

O número médio de animais mantidos no estábulo em questão é de 40 cabeças de gado leiteiro. Os animais são mantidos em sistema de semi-estabulação (por 9 horas) e a produção média de esterco por animal é de 12,0 kg/dia. Assim, tem-se uma produção diária de esterco de 480 kg.

Para a biodigestão dos resíduos animais adotou-se a relação esterco: água de 1:1. Desta forma, obteve-se um volume diário para carga ao biodigestor de 960 kg (480 kg de esterco e 480 litros de água). O tempo de retenção hidráulico adotado foi de 30 dias, chegando-se então, a um volume necessário para o biodigestor de  $28,8 \text{ m}^3$ . Este valor é equivalente, volumetricamente, ao emprego de 2 células da esterqueira.

O trabalho experimental constituiu-se em adaptar apenas uma célula

la, a fim de verificar seu comportamento como biodigestor. Procedeu-se, as sim, de modo inverso, partindo do volume de uma célula ( $16,2 \text{ m}^3$ ), verifican do-se, para a relação esterco: água e o tempo de retenção adotados, quais deveriam ser as quantidades diárias de esterco e água necessárias. Foi obtido que 270kg de esterco e 270% de água comporiam a carga diária (540%) para a cé lula adaptada.

Adaptações foram feitas em uma célula, para que operasse como bio digestão e na célula vizinha, para que servisse como tanque de descarga e de armazenamento do efluente.

A adaptação propriamente dita constou de:

- remoção da laje de cobertura da célula a ser adaptada;
- vedação da antiga porta de descarga do material sólido já fermenta do nas duas células;
- construção de uma parede com o tijolo em espelho, em todo o períme tro interno para, ao mesmo tempo, vedar os drenos de chorume e ser vir para apoio da campânula, quando vazia, na célula para o biodi gestor;
- vedação dos drenos de chorume na célula para armazenamento;
- construção da parede divisória de meio tijolo no biodigestor;
- impermeabilização interna e externa, através de argamassa de rebo co com Vedacit (conforme traço recomendado pelo fabricante do Ve dacit) e depois "queimada" a massa com cimento nas duas células;
- colocação de registros para, se necessário, possibilitar descargas de fundo em ambos os lados da parede divisória;
- construção e instalação da campânula em chapa de ferro doce nº 10 , com espessura de  $1/8''$  (3,2 mm);
- construção do sistema de alimentação, composto por duas caixas de entra da ligadas ao biodigestor por canalizações de 200 mm (6'') , também impermeabilizada com Vedacit e "queimada" a massa com cimen to;

- instalação de tubulação para transportar o biogás até a sala de leite; e,
- construção de um purgador, em ponto baixo da tubulação de gás.

A argamassa para assentamento dos tijolos teve o traço: 1:5 (cimento: areia). O reboco 1:3 (cimento:areia), com Vedacit na dosagem recomendada na embalagem. Os registros de descarga foram de 100 mm, em ferro fundido (obtidos em ferro-velho e recuperados). Ver Figuras 4.1 e 4.2.

Durante a impermeabilização externa, foi encontrada uma mina d'água na parede próxima às caixas de entrada. Foram, então, realizados drenos de areia e brita para orientar e desviar a água, evitando-se que ficasse acumulada junto à parede e, eventualmente, se filtrasse.

A produção de biogás prevista para o biodigestor adaptado foi estimada com base em que, com 270 kg de esterco de gado leiteiro e com  $0,038 \text{ m}^3$  de biogás produzido por kg de esterco tem-se, que o biodigestor adaptado deveria produzir, aproximadamente,  $10 \text{ m}^3$  de biogás por dia, segundo a maioria dos autores consultados. ELLSWORTH & ABELES (34), entretanto, ao citarem para gado leiteiro, a produção de  $0,027 \text{ m}^3$  de biogás por kg de esterco, permitem uma expectativa da produção de  $7,3 \text{ m}^3$  de biogás por dia.

A campânula dimensionada para ter 1,0 m de altura — 0,15 m para o volume ocioso e 0,85m para armazenar o biogás produzido no período de não utilização (17h a 7 h). A campânula foi feita com chapa de ferro 1/8" e recebeu reforços de cantoneiras ( $1 \frac{1}{2}'' \times 1 \frac{1}{2}'' \times 1/8''$ ) soldadas em todos os cantos internos e ferro T ( $1 \frac{1}{4}'' \times 1/8''$ ) para fixar as bordas livres. A campânula foi protegida contra corrosão, empregando-se na pintura tinta "Epoxi fundo" e "Epoxi esmalte". Pronta, a campânula pesou 530 kg. Ver Figura 4.3.

A tubulação que conduz a mistura de alimentação até o biodigestor é de 150 mm e tem formato de "Y", permitindo que a carga possa ser introduzida a partir de qualquer uma das caixas de entrada. Figuras 4.4 e 4.5.

O purgador construído foi segundo a Figura 4.6, consistindo em uma manilha cerâmica vidrada de 100 mm, em pé, cheia de água e a tubulação em PVC

rígido mergulhada 30 cm.

Após oito meses, constatou-se que havia necessidade da instalação de agitadores mecânicos, os quais foram executados com cantoneiras de 1" x 1/8" fixadas em um tubo de 2", fixados à campânula com um sistema de rolamentos que permitem rotação ao agitador, com o auxílio de um volante. Ver Figura 4.7 a 4.10. Foram instalados quatro agitadores, um em cada 1/4 da superfície da campânula.

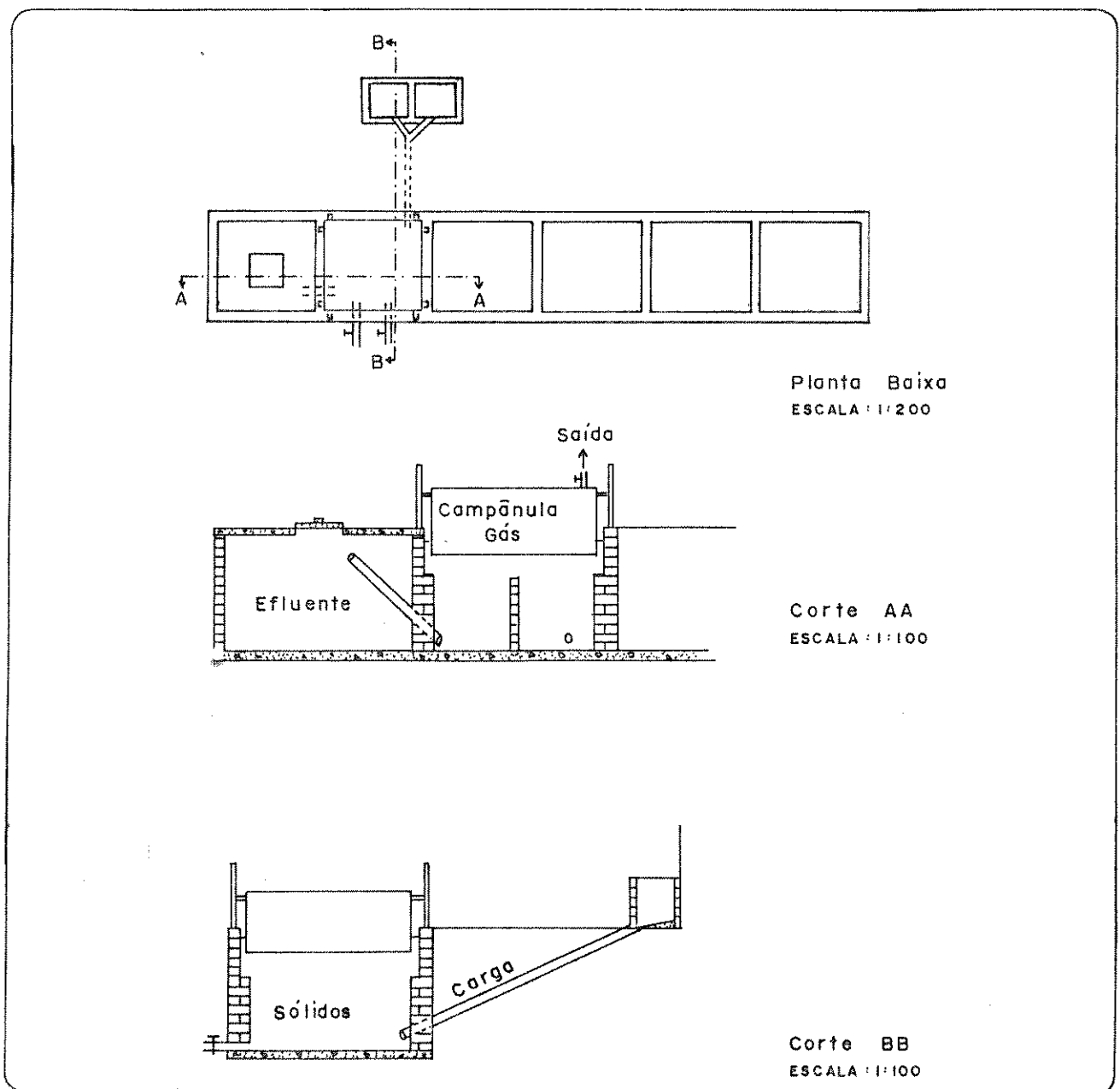


FIGURA 4.1. Esterqueira Adaptada em Biodigestor.

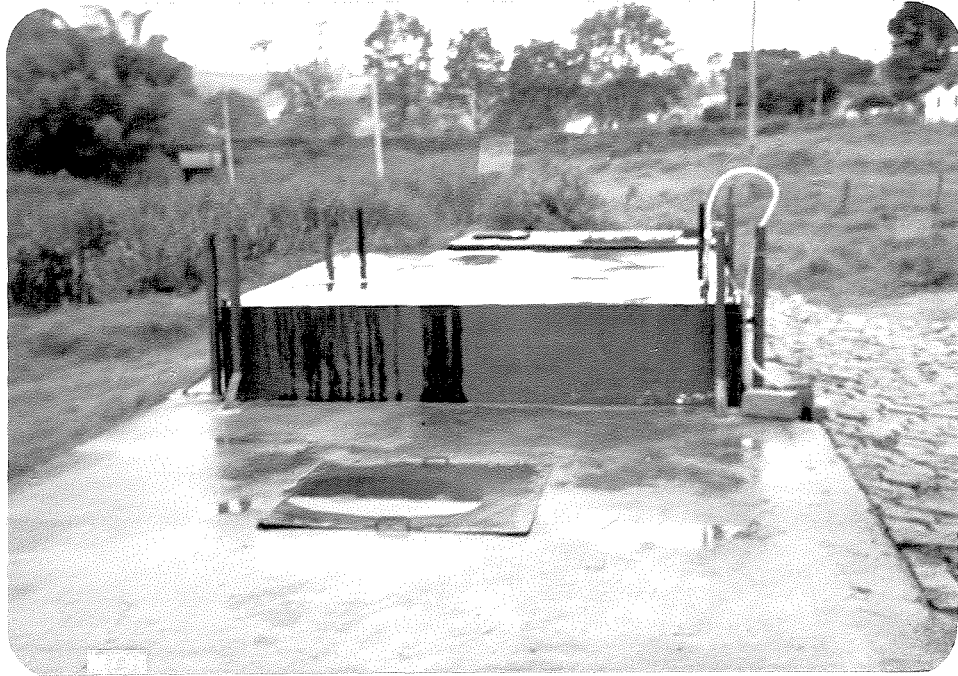


FIGURA 4.2. Vistas laterais da célula em biodigestor.



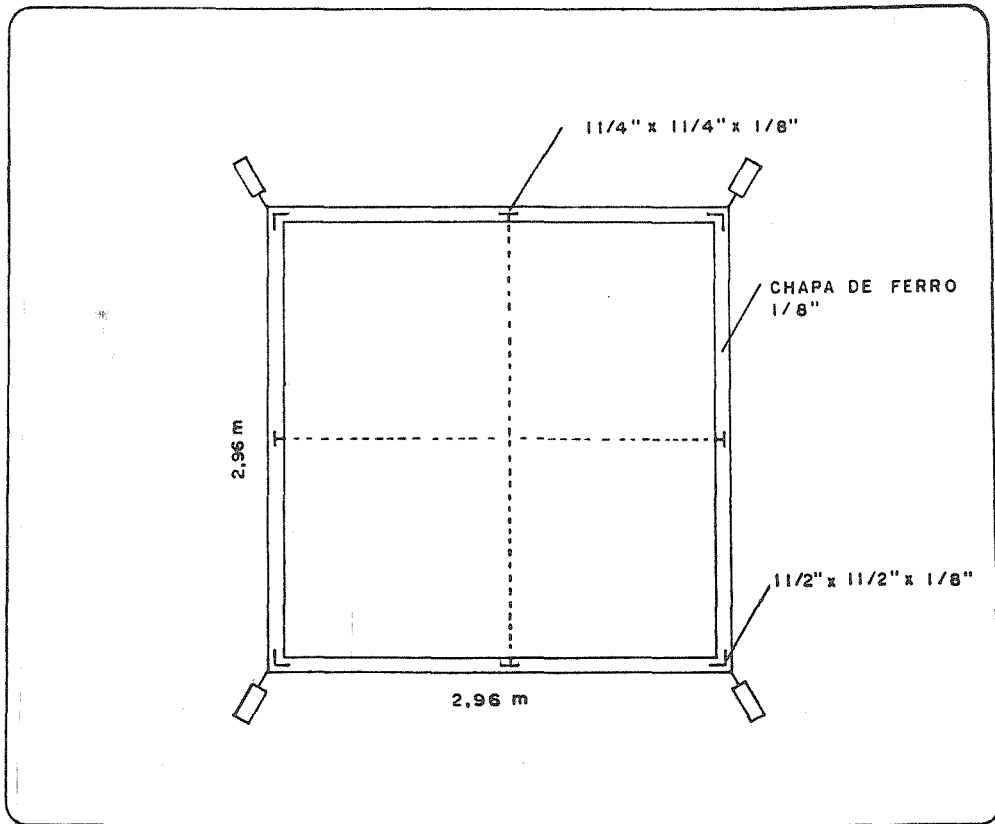


FIGURA 4.3. Campânula de Chapa de Ferro de 1/8".

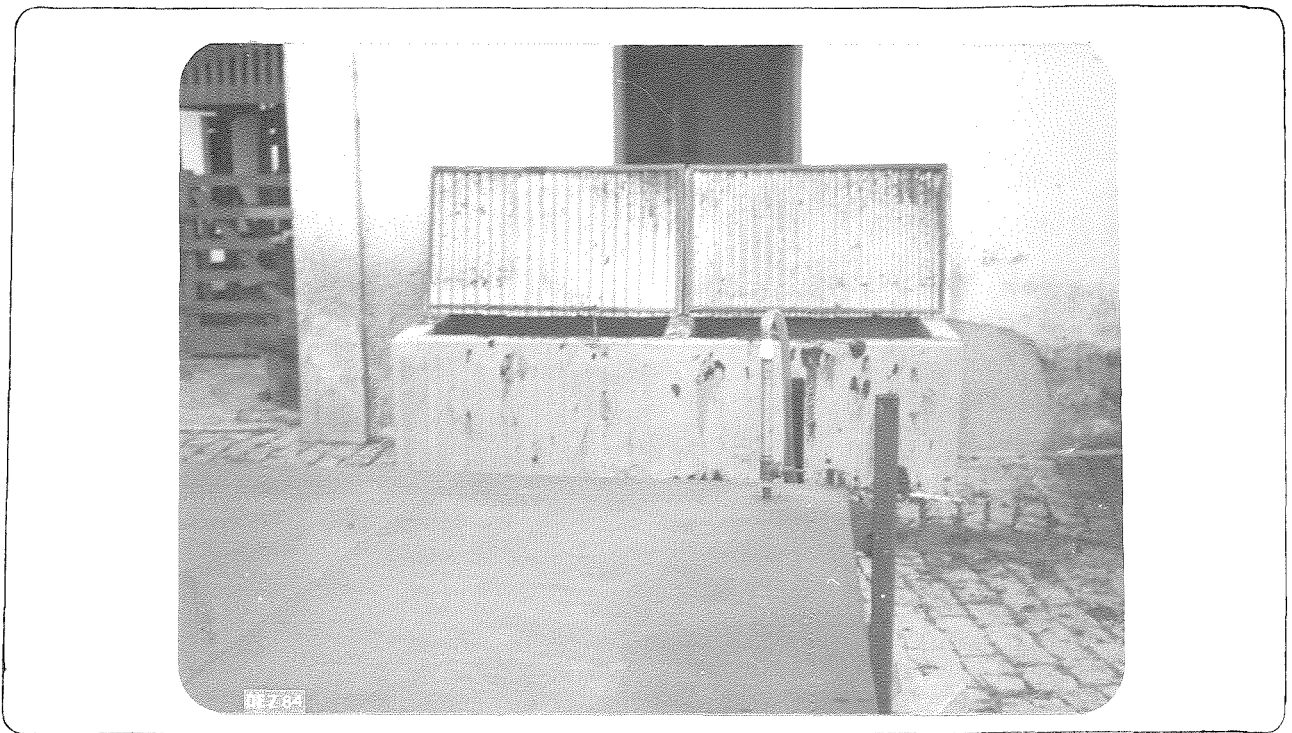


FIGURA 4.4. Vista das caixas de entrada → abertas.

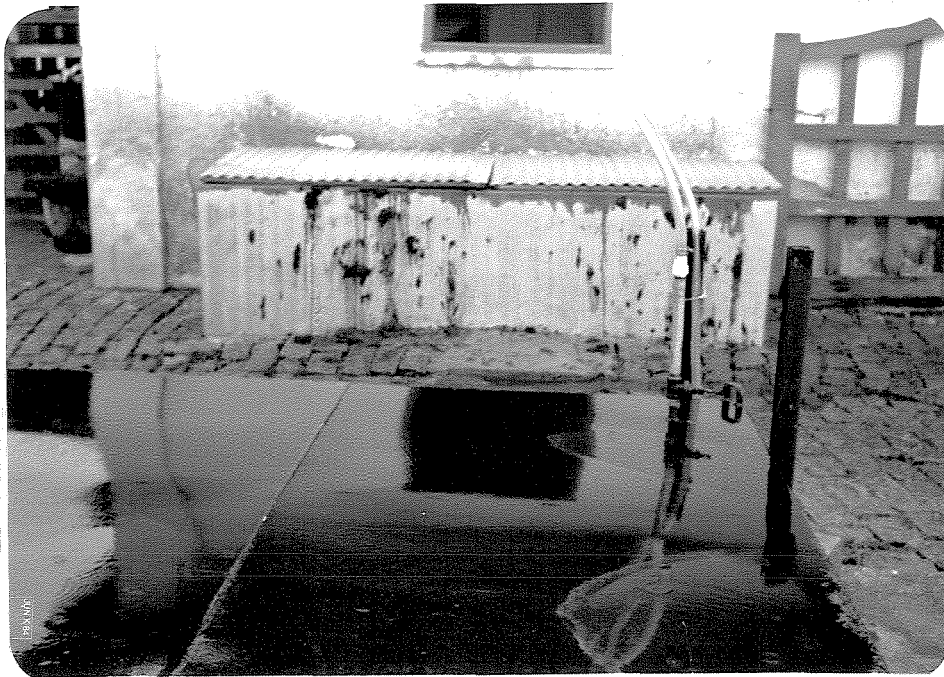


FIGURA 4.5. Vista das caixas de entrada — fechadas.



FIGURA 4.6. Vista do purgador.



FIGURA 4.7. Vista dos agitadores.



FIGURA 4.8. Detalhe do rolamento no agitador

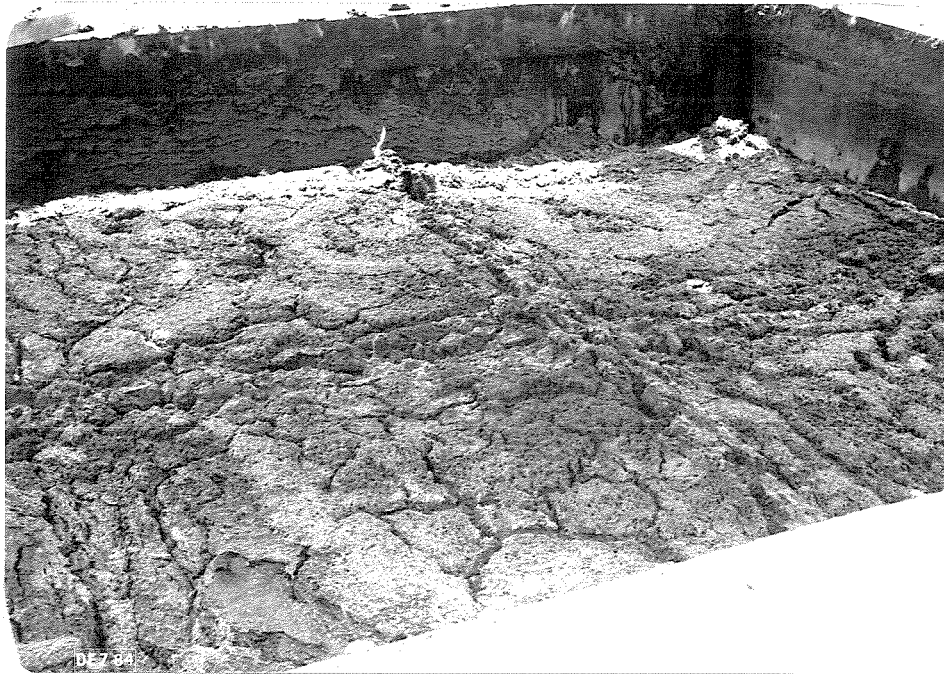


FIGURA 4.9. Vista da espuma encontrada ao abrir o biodigestor para colocar os agitadores.

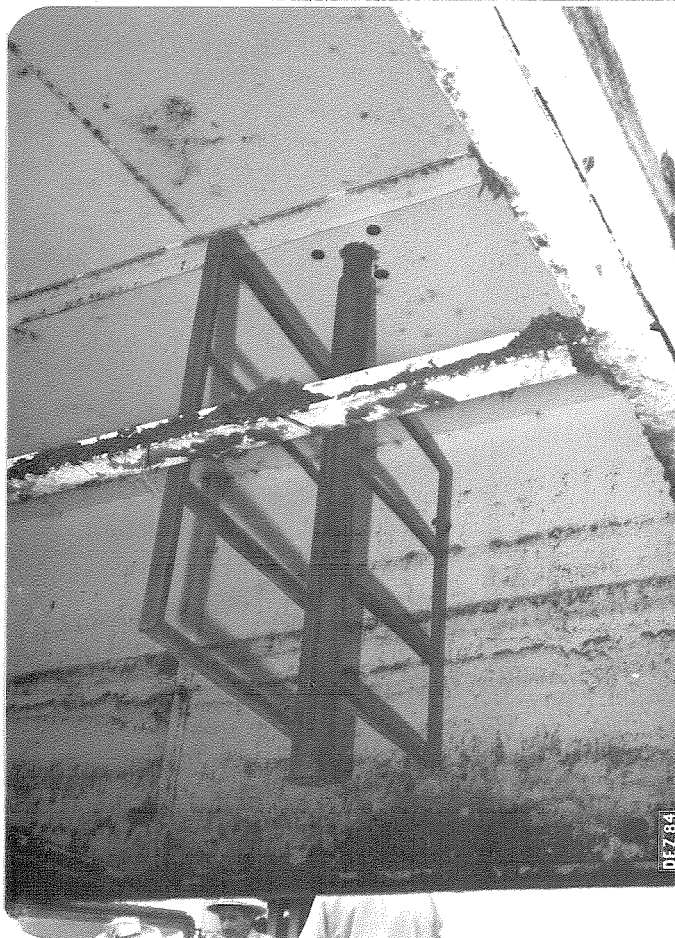


FIGURA 4.10. Posicionamento do agitador. Campânula vista por baixo.

#### 4.2. Cargas

A primeira carga, ou "start up", foi inicialmente realizada, em 02/12/82 e como indica a maioria dos autores consultados, colocando-se esterco e água até que se atingisse o nível projetado para a massa em biodigestão e, então, fechando-se o tanque com a campânula. Após decorrido o período de retenção (30 dias), iniciaram-se as cargas diárias e pôde-se observar que após sete dias já havia evidência de biogás. Mas, no decorrer do segundo mês em operação cessou totalmente a produção gasosa. Aberto o biodigestor encontrou-se uma espessa espuma e decidiu-se descarregá-lo pelos registros de descarga.

A nova carga inicial foi realizada segundo o recomendado pelo BIOMASS ENERGY INSTITUTE (14), ELLSWORTH & ABELES (34) e o IPT (51): o biodigestor foi completado com água até o nível estabelecido para a mistura em biodigestão. Procedeu-se à carga diária imediatamente. Desta forma, evitou-se a pronta formação de espuma.

A carga diária, como foi obtida através da mistura do esterco com água de mina, por estar ausente de cloro, apresentou, como seria de se esperar, temperaturas baixas que foram evitadas, preparando-se cada carga no dia anterior e deixando que ocorresse uma pré-fermentação. Na hora de alimentar o biodigestor, a carga apresentava temperaturas próximas a da massa em biodigestão. Ver Figura 5.3 e Tabela B.1.

#### 4.3. Tomada de dados do biodigestor

A temperatura da massa em biodigestão foi tomada na metade da altura da massa em biodigestão, acima da tubulação de chegada da carga. Foram testadas as temperaturas em todo o contorno do biodigestor e obteve-se valores equivalentes. O termômetro foi introduzido pelo selo de massa existente entre a parede do biodigestor e a campânula através de um arame. Um tubo de 1/2" de

diâmetro foi adaptado para fixar o termômetro de forma a impedir que se quebrasse na movimentação. A temperatura foi sempre tomada às 8 horas. FIGURA 4.11.



FIGURA 4.11. Termômetro no biodigestor.

Antes de soltar a carga para o interior do biodigestor fazia-se, também, uma leitura de temperatura.

Na sala de leite, a tubulação tem um registro de gaveta para regular a utilização do biogás e uma válvula purgadora, própria para gás, para eliminar a água que eventualmente condense após o purgador.

A pressão do biogás foi tomada logo na entrada da tubulação na sala de leite. Foi utilizado um manômetro em U, executado com mangueira cristal de 6 mm de diâmetro, instalada após a válvula purgadora. A escala adotada foi seqüencial de zero a 50 cm a partir da extremidade inferior. Assim, a pressão obtida é a diferença entre os valores lidos.

Em seguida ao manômetro, foi instalado um filtro para remover o sul

feto de hidrogênio ( $H_2S$ ). Consta de uma tubulação de acrílico com diâmetro de  $1\frac{1}{4}$ " e 30 cm de comprimento com reduções rosqueáveis nas duas extremidades para  $3/4$ ". Esta tubulação era preenchida com lã de ferro — Bom Bril —, a qual retém o sulfeto de hidrogênio. Com estas dimensões, houve necessidade de ser trocado o Bom Bril semanalmente.

Após passar pelo filtro, o biogás passava por um medidor volumétrico — MG - 2, do Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo, que tem sensibilidade para leitura de até 1 litro de gás. Saindo do medidor volumétrico, foi instalado um termômetro em um "T" de vidro, para medir a temperatura do biogás. E, o biogás vai até o fogão, com o queimador adaptado onde é queimado.

Na sala de leite, na mesma parede em que estão os demais componentes, foi colocado um termômetro de máximo e mínimo. Desta forma, obteve-se a temperatura ambiente em que o biogás era medido e as temperaturas ambiente máxima e mínima a que esteve submetido. Figura 4.12

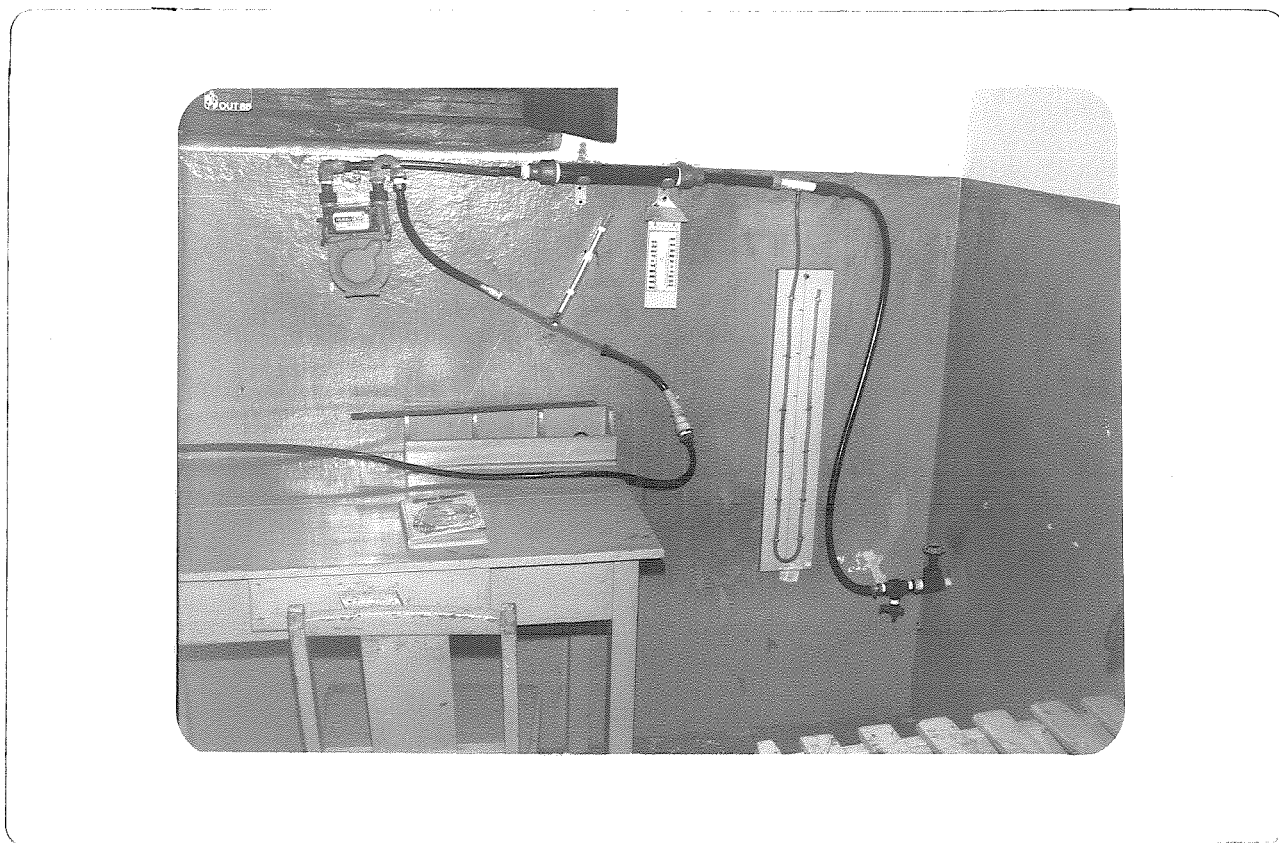


FIGURA 4.12. Vista da sala de leite.

#### 4.4. Análises físico - químico - bacteriológicas

Foram realizadas análises no afluente e no efluente ao biodigestor de: sólidos totais, sólidos voláteis, nitrogênio amoniacal, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, pH, alcalinidade, Coliformes fecais e ácidos voláteis.

As análises de ácidos voláteis foram realizadas, segundo metodologia apresentada no anexo E.

As demais análises foram realizadas pela SANASA — Sociedade de A bastecimento de Água e Saneamento S.A., de Campinas — segundo a metodologia de rotina do laboratório da ETA-1 (Estação de Tratamento de Água - 1).

#### 4.5. Análises do Valor Fertilizante

Foram realizadas análises no afluente e no efluente ao biodigestor de: umidade, nitrogênio total, fósforo total ( $P_2O_5$ ), potássio total ( $K_2O$ ), cálcio ( $CaO$ ), magnésio ( $MgO$ ), fibra bruta, cinzas, matéria orgânica, pH, enxofre e relação carbono/nitrogênio. Estas análises foram realizadas pela CATI — Coordenadoria de Assistência Técnica Integral de Campinas — segundo a metodologia de rotina do laboratório do Serviço de Análises do Centro de Fiscalização de insumos agropecuários.



## 5. RESULTADOS

Os resultados obtidos junto ao biodigestor adaptado estão indicados nas Figuras 5.1 a 5.8 e agrupados na Tabela A.1, anexo A e compilados na Tabela B.1, anexo B.

Os resultados obtidos, através das análises físico-químico-bacteriológicas dos materiais afluente e efluente ao biodigestor adaptado, estão indicados nas Figuras 5.9 a 5.18 e agrupados nas Tabelas C.1 e C.2, anexo C.

Os resultados obtidos, através das análises físico-químicas do valor fertilizante dos materiais afluente e efluente ao biodigestor, estão indicados nas Figuras 5.19 a 5.24 e agrupados nas Tabelas E.1 e E.2, anexo E.

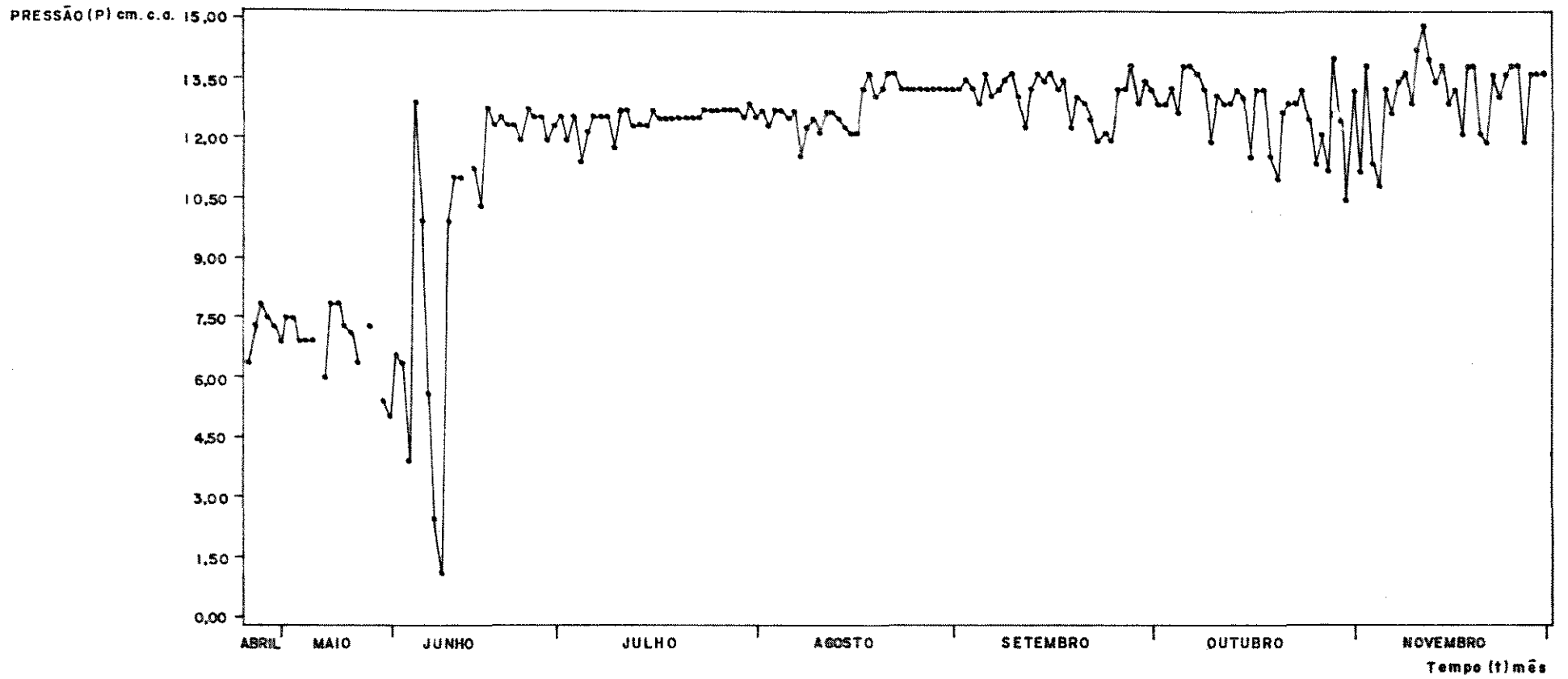


FIGURA 5.1. Pressão do Biogás, Junto ao Medidor Volumétrico.

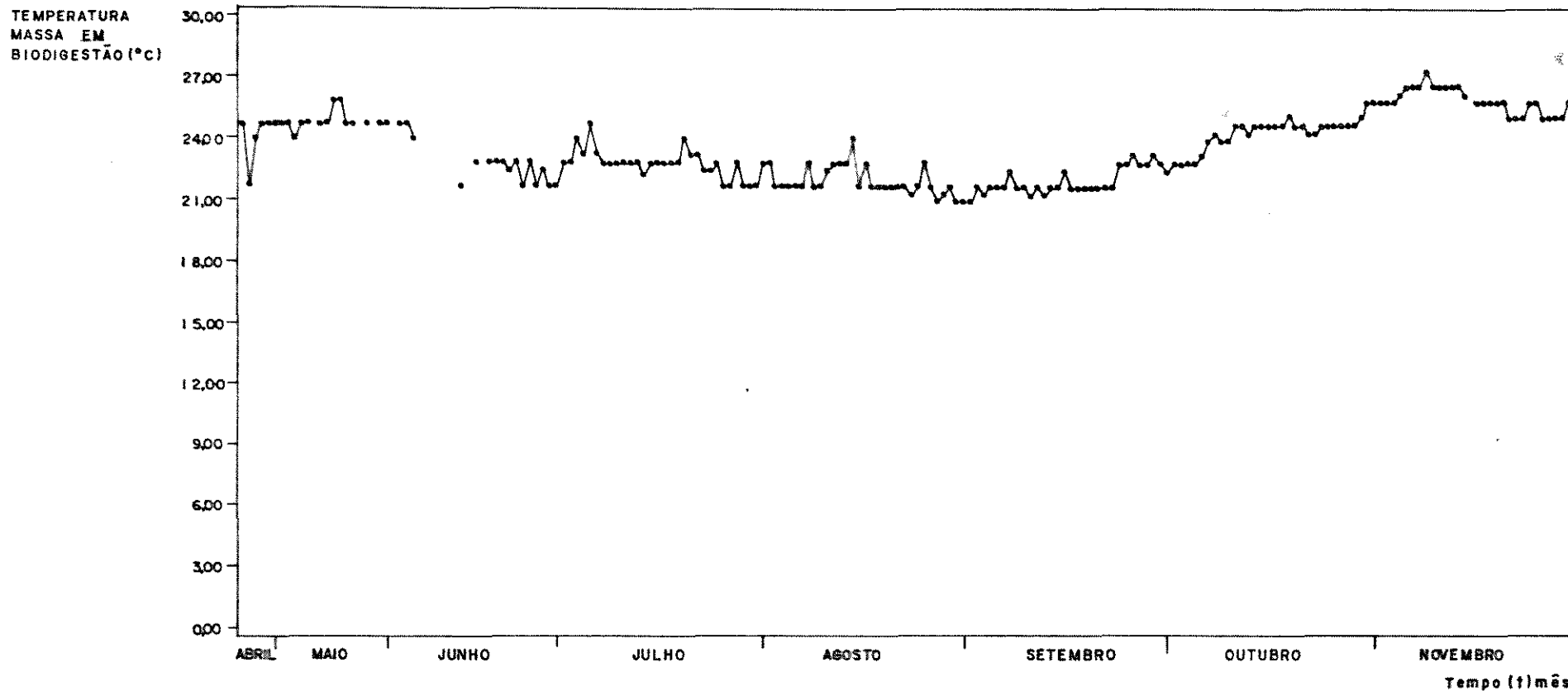


FIGURA 5.2. Temperatura da Massa em Biodigestão.

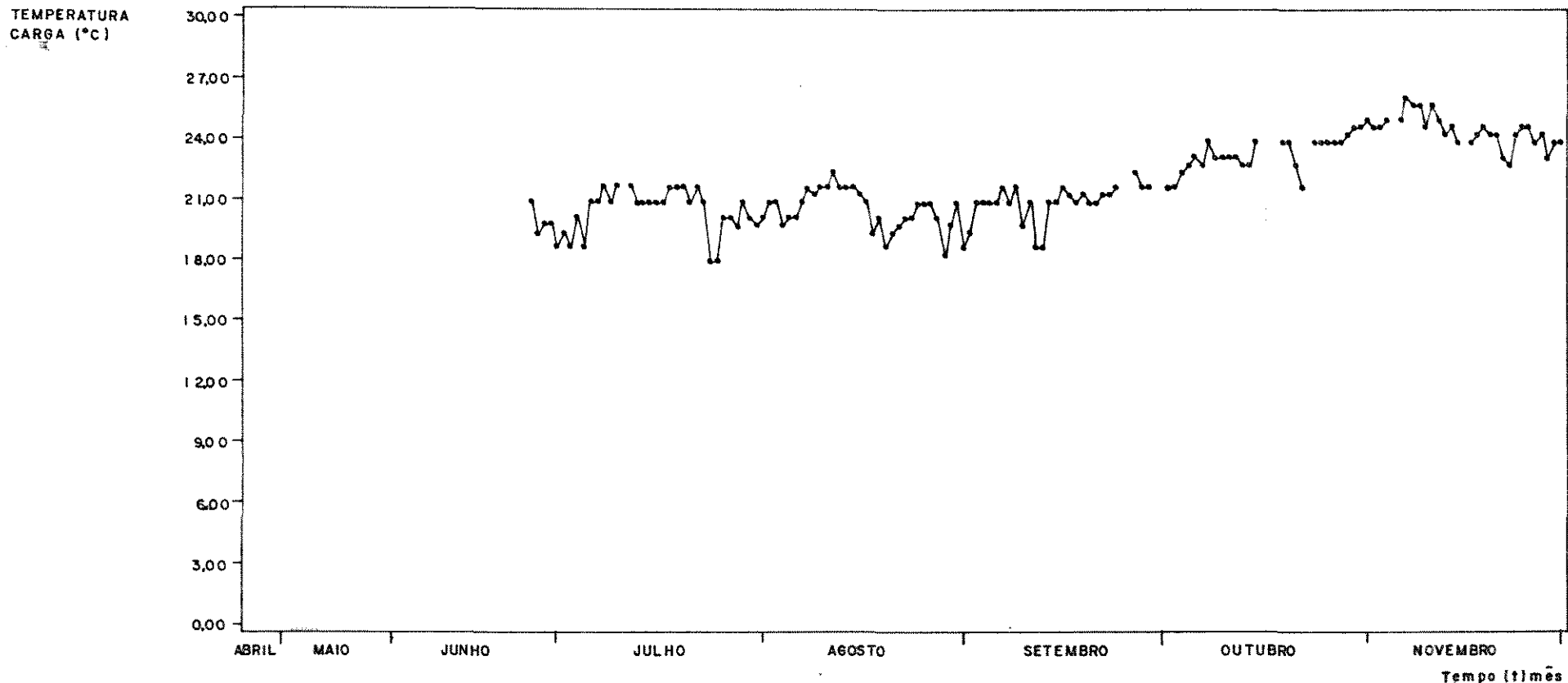


FIGURA 5.3. Temperatura do Material Afluyente — Carga

TEMPERATURA  
AMBIENTE  
MÁXIMA (°C)

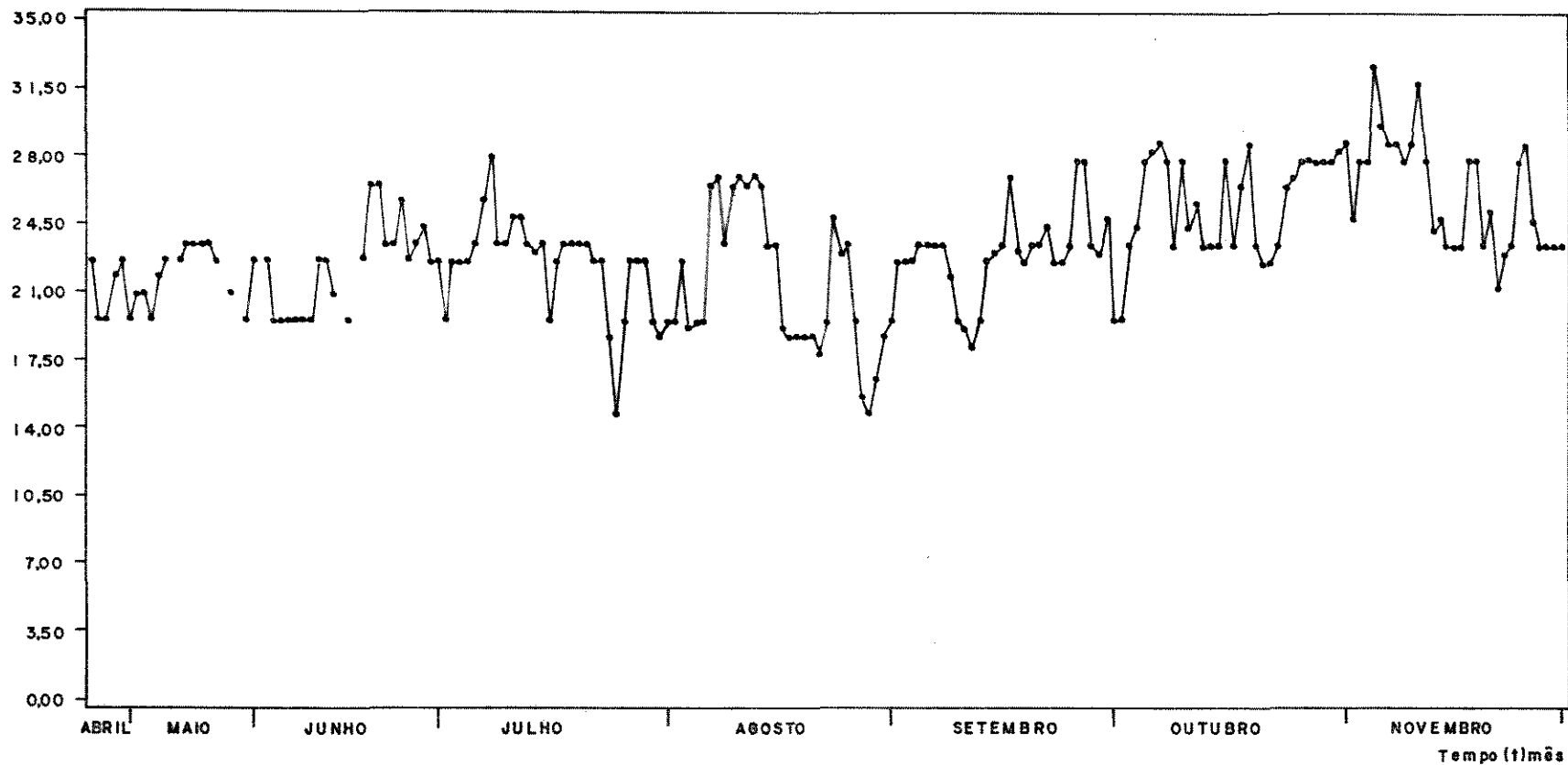


FIGURA 5.4. Temperatura Ambiente Máxima na Sala de Leite.

TEMPERATURA  
AMBIENTE  
MÍNIMA (°C)

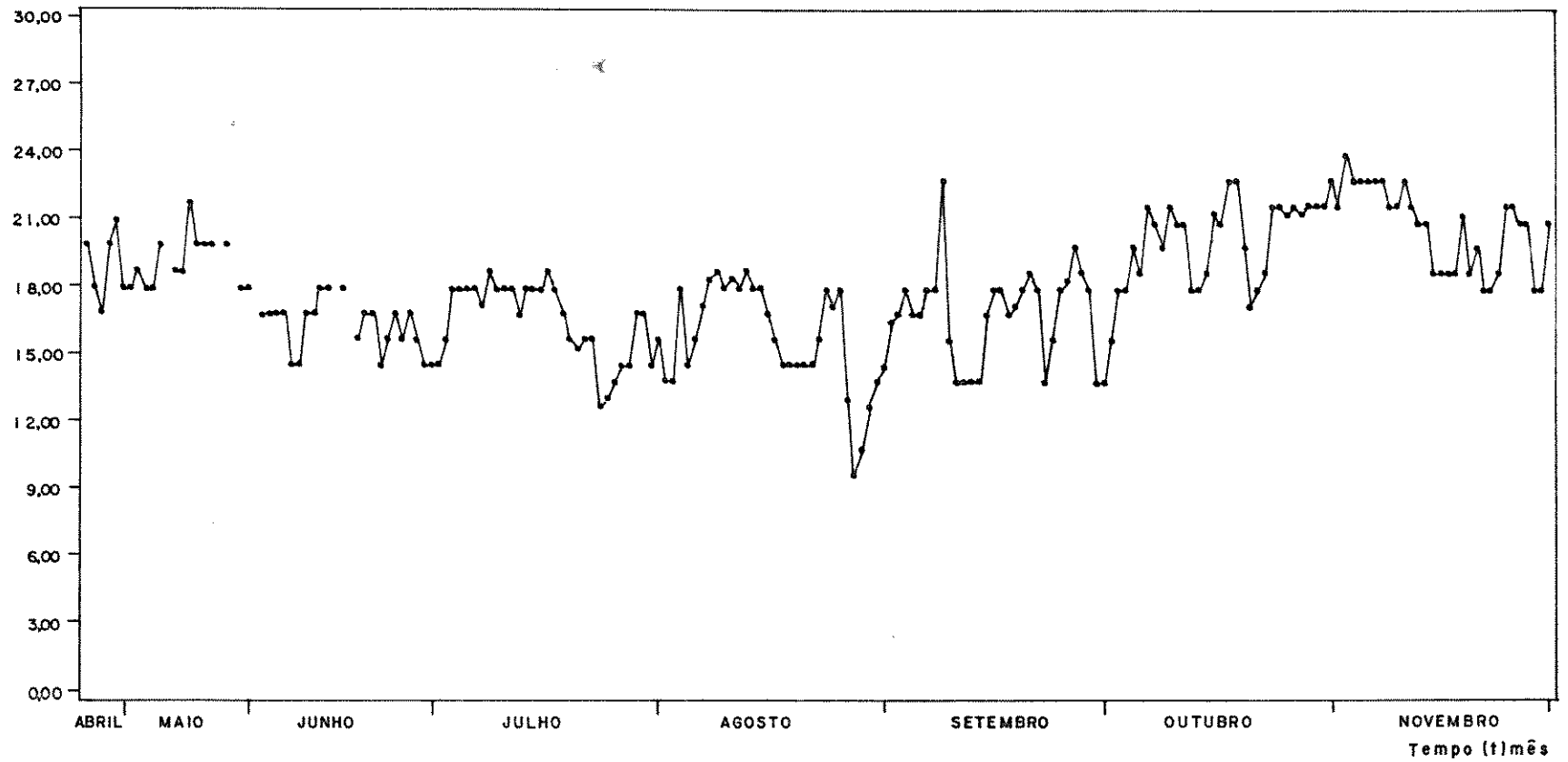


FIGURA 5.5. Temperatura Ambiente Mínima na Sala de Leite.

TEMPERATURA  
AMBIENTE (°C)

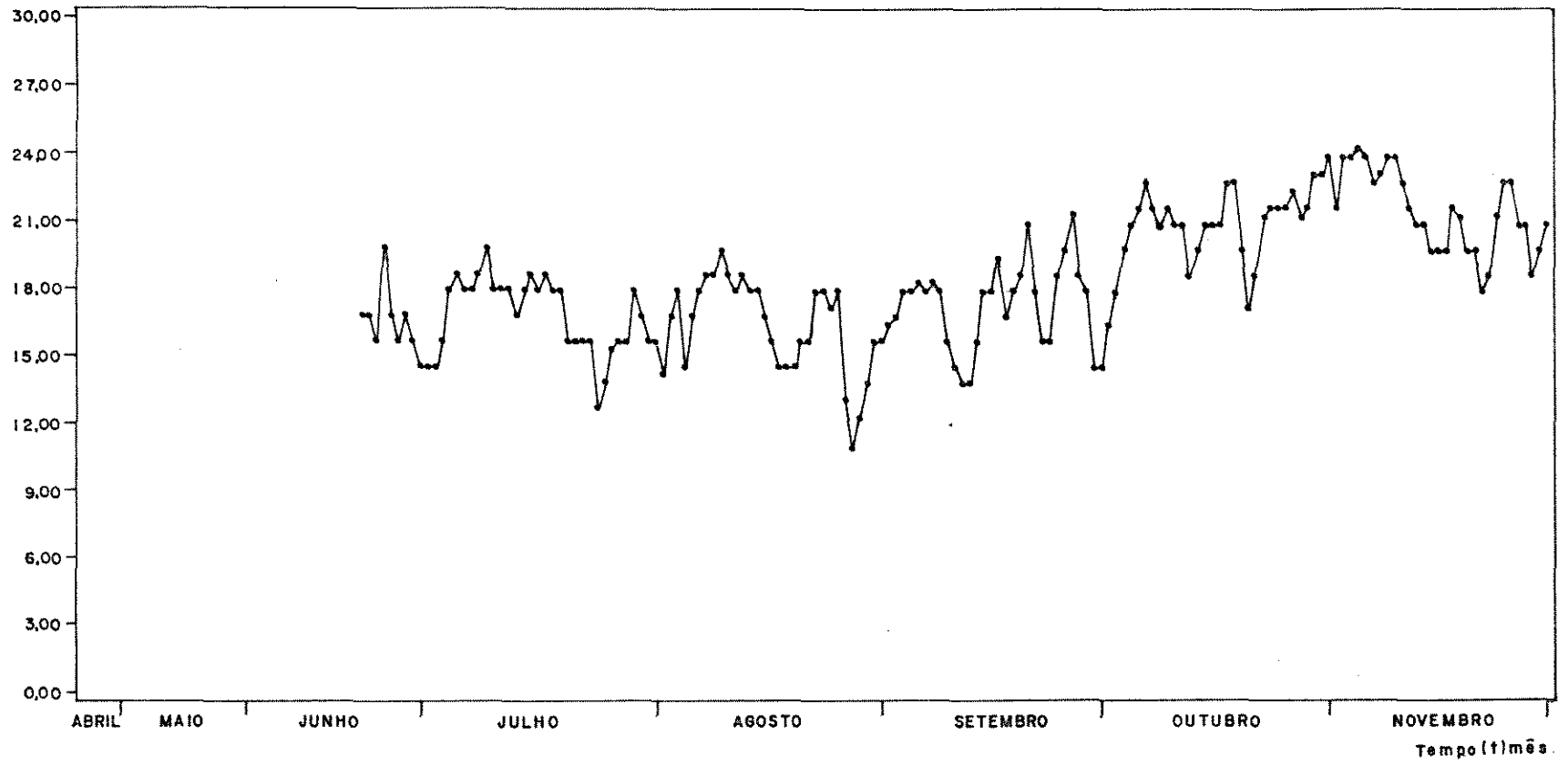


FIGURA 5.6. Temperatura Ambiente na Sala de Leite.

TEMPERATURA  
DO GAS (°C)

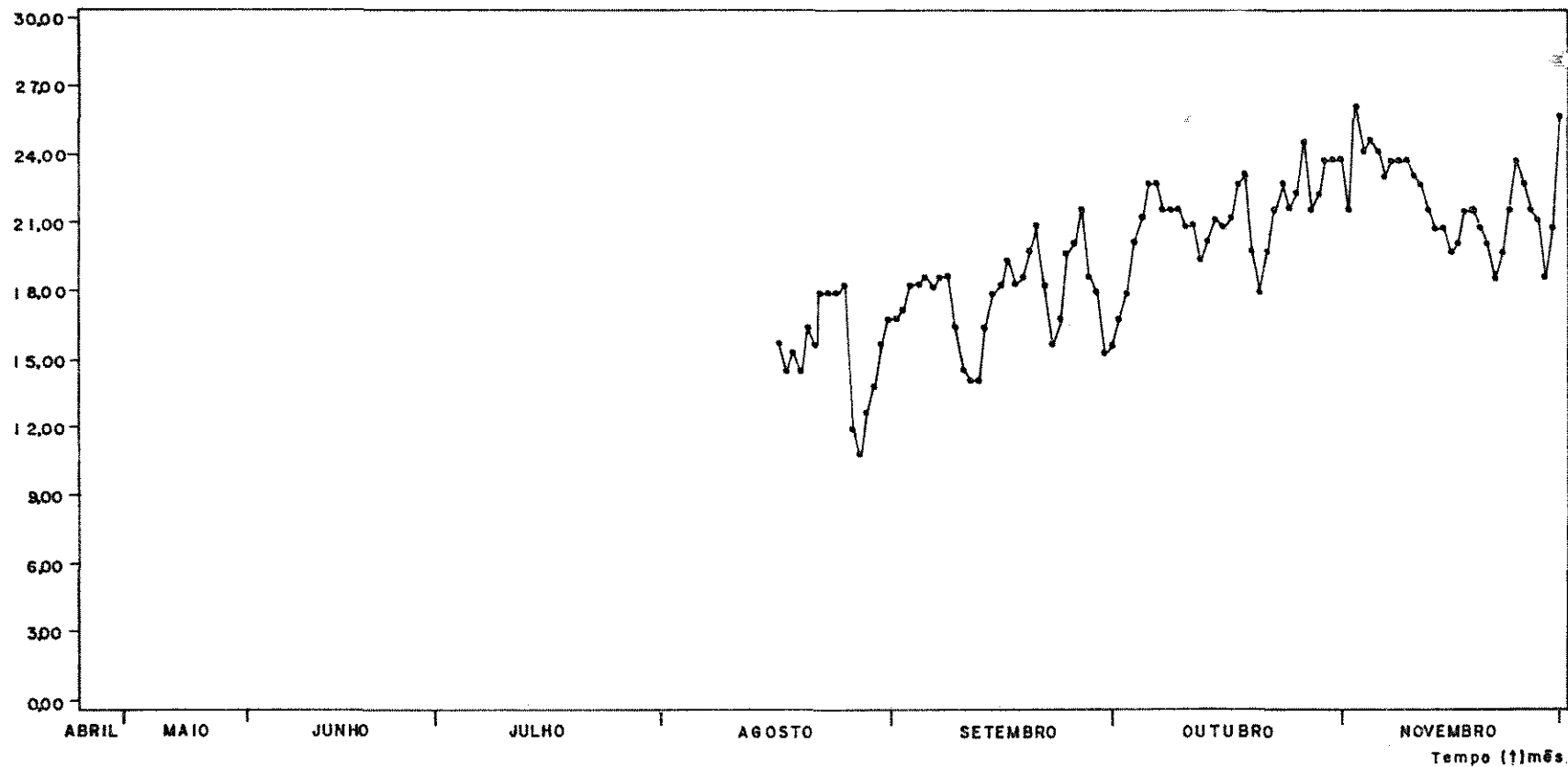


FIGURA 5.7. Temperatura do Biogás, Tomada na Sala de Leite, ao Lado do Medidor Volumétrico.



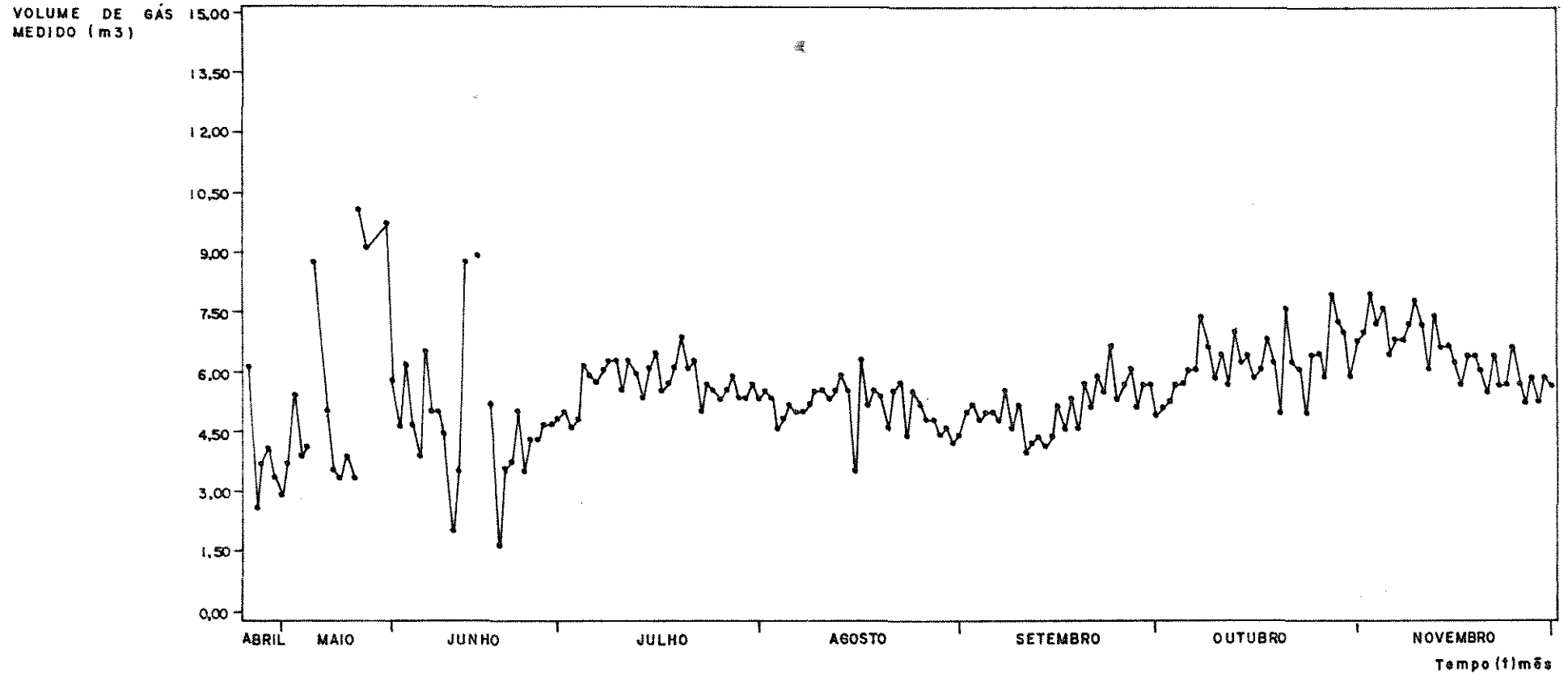


FIGURA 5.8. Volume Medido de Biogás, nas Condições Locais de Pressão e Temperatura.

SÓLIDOS  
TOTAIS (mg/l)

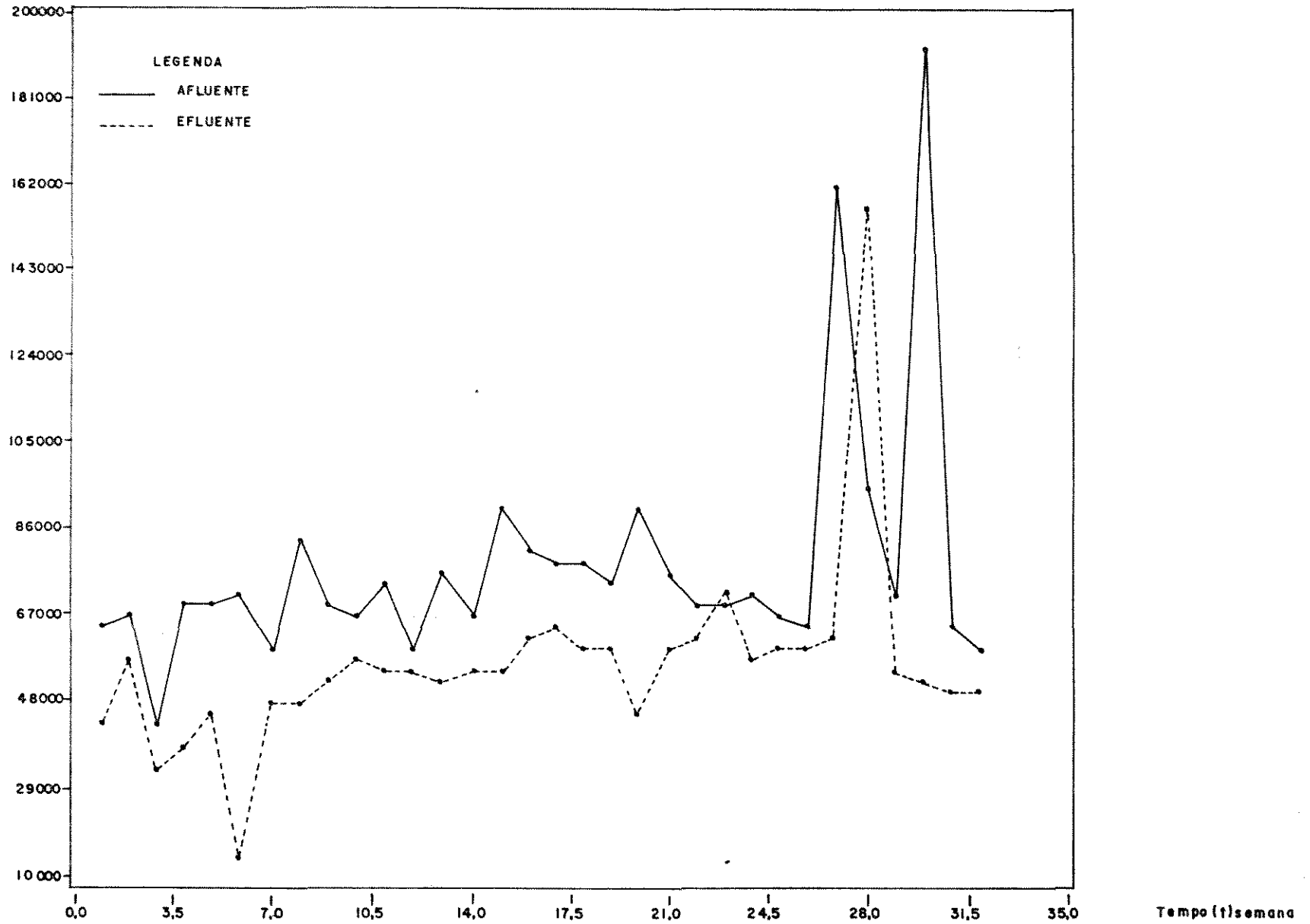


FIGURA 5.9. Sólidos Totais, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

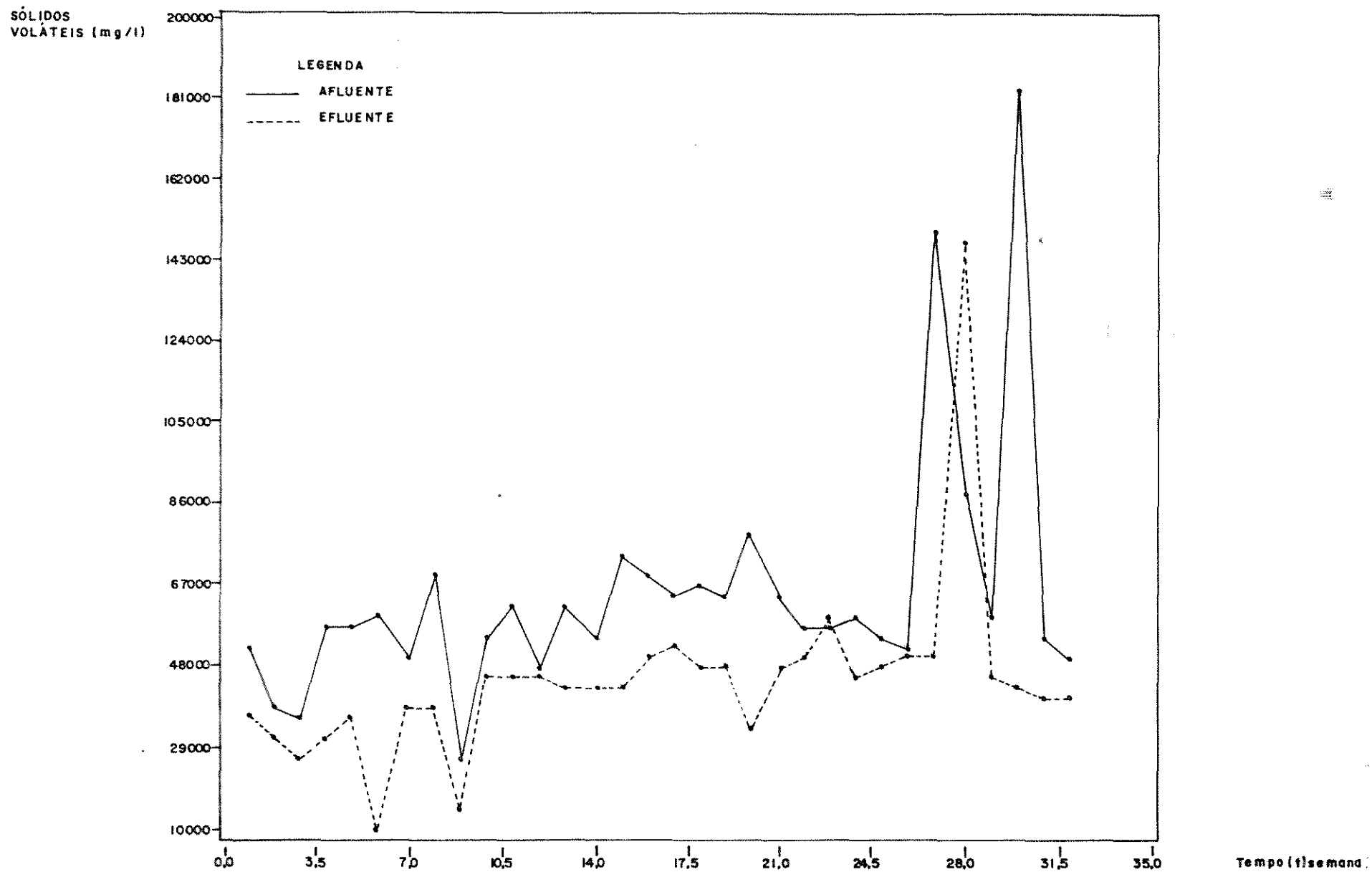


FIGURA 5.10. Sólidos Voláteis, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biogestor.

NITROGÊNIO  
AMONÍACAL  
(N-NH<sub>3</sub>) mg/l

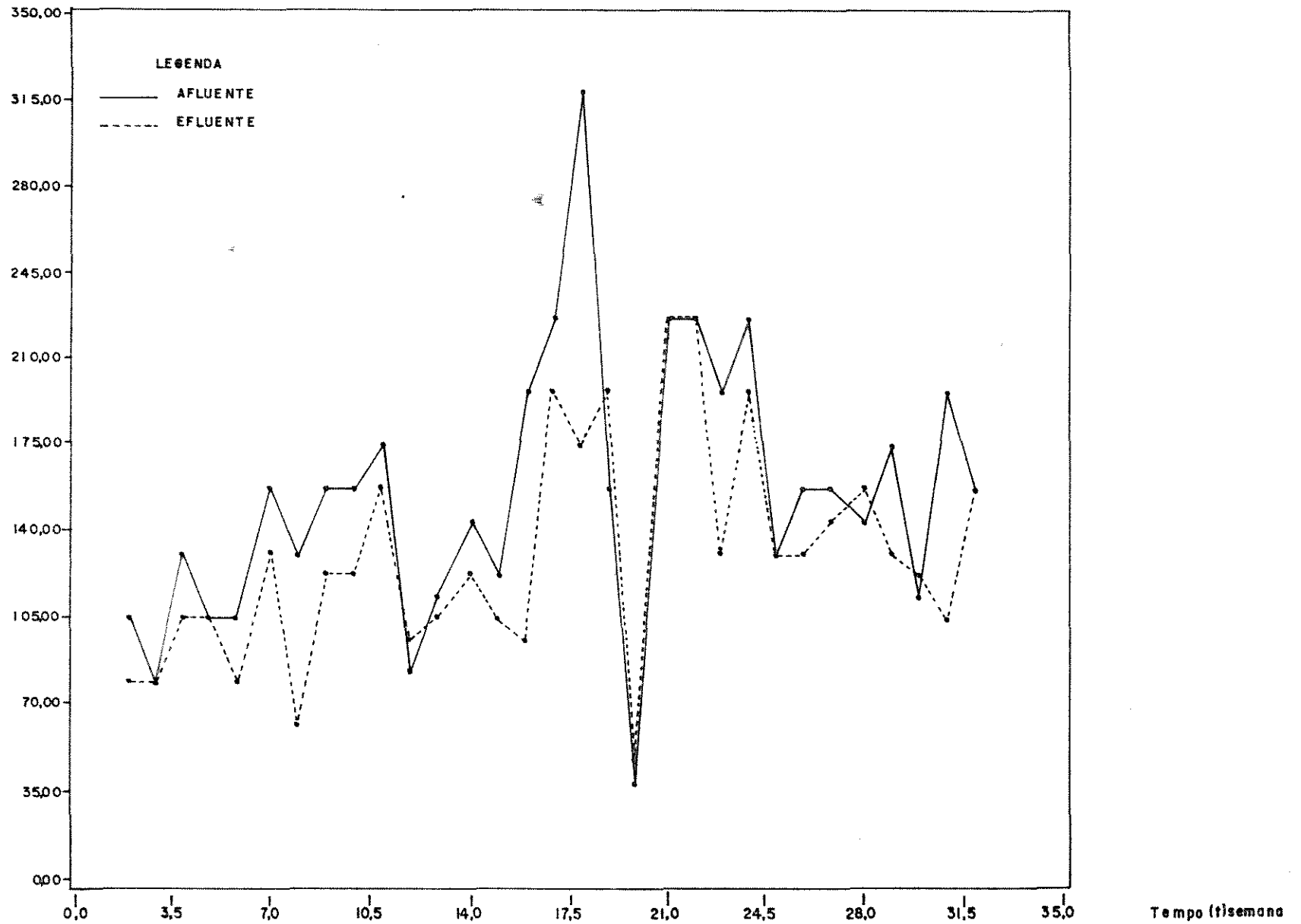


FIGURA 5.II. Nitrogênio Amoniacal, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

DEMANDA  
BIOQUÍMICA  
DE OXIGÊNIO  
(DBO),mg/l

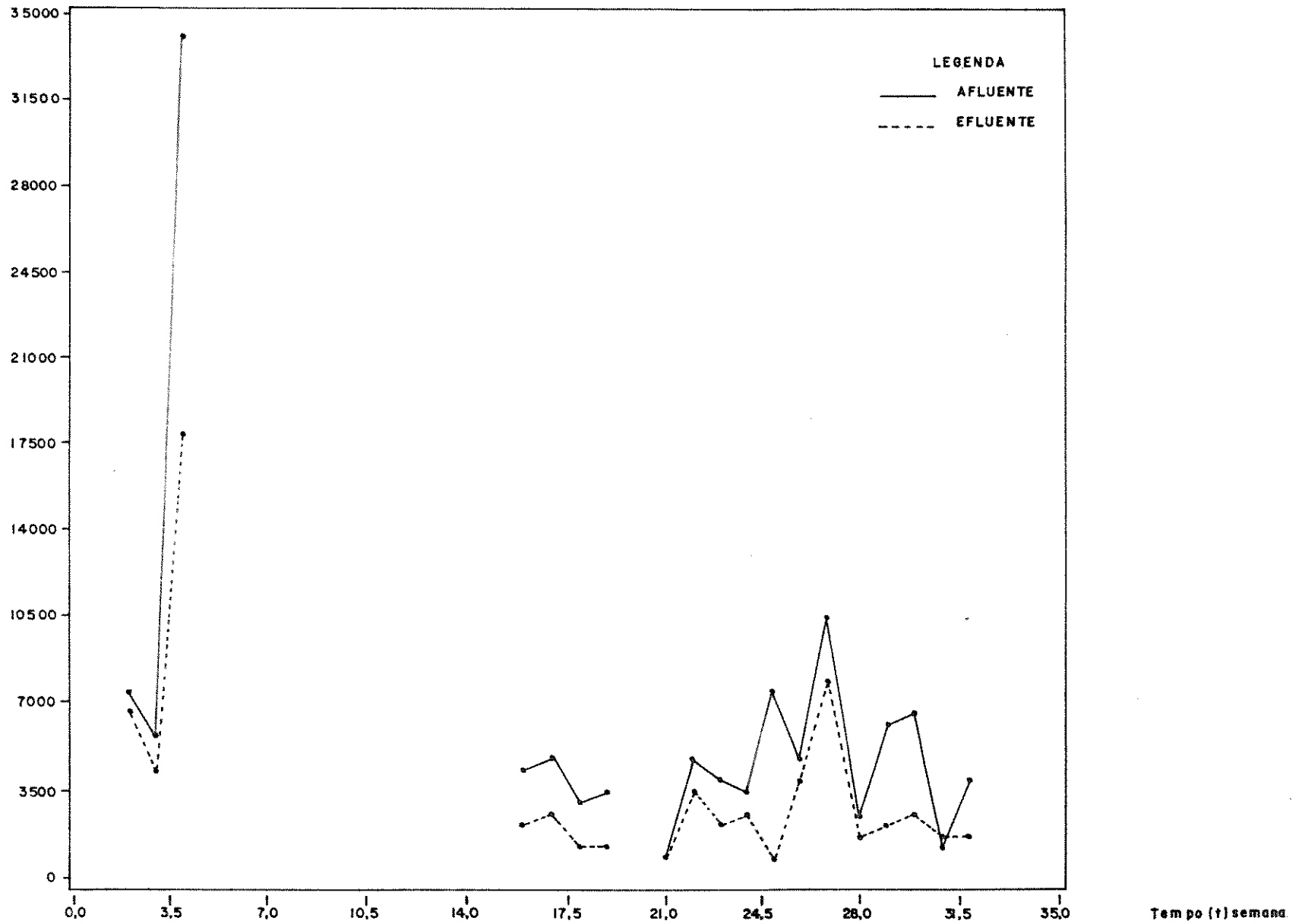


FIGURA 5.12. Demanda Bioquímica de Oxigênio, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

DEMANDA  
QUÍMICA  
DE OXIGÊNIO  
(DQO),mg/l

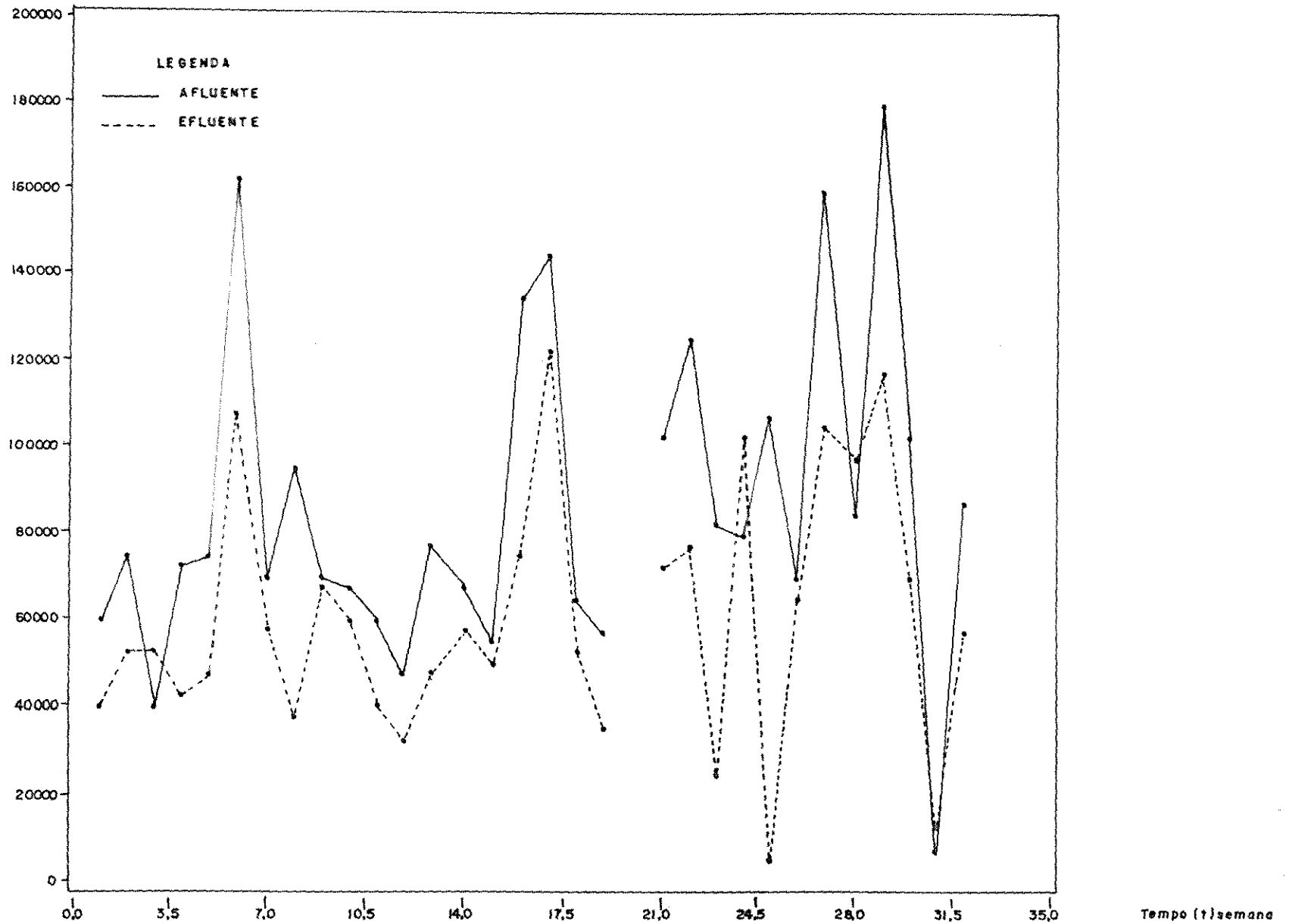


FIGURA 5.13. Demanda Química de Oxigênio, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

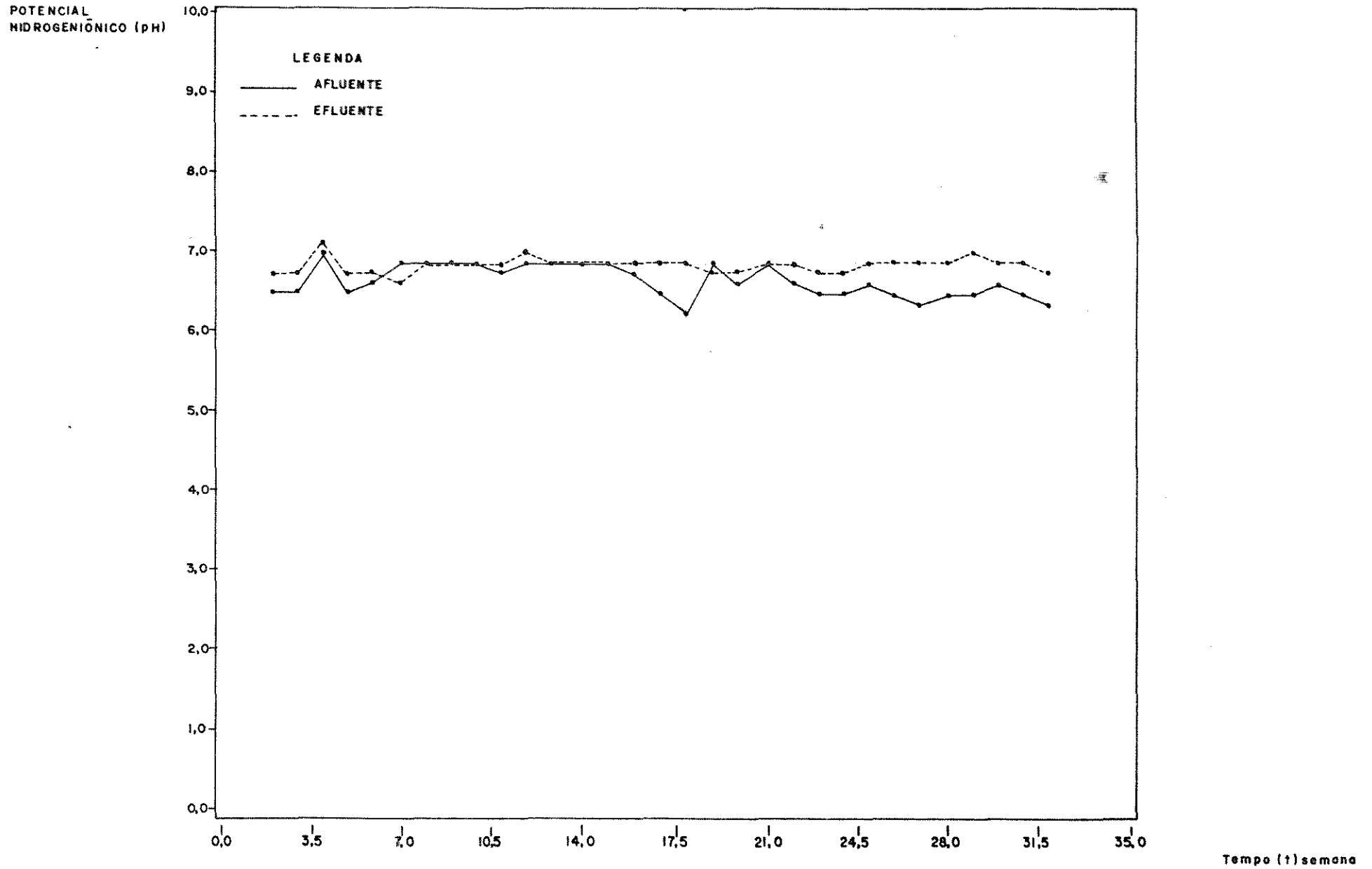


FIGURA 5.14. Potencial Hidrogeniônico, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

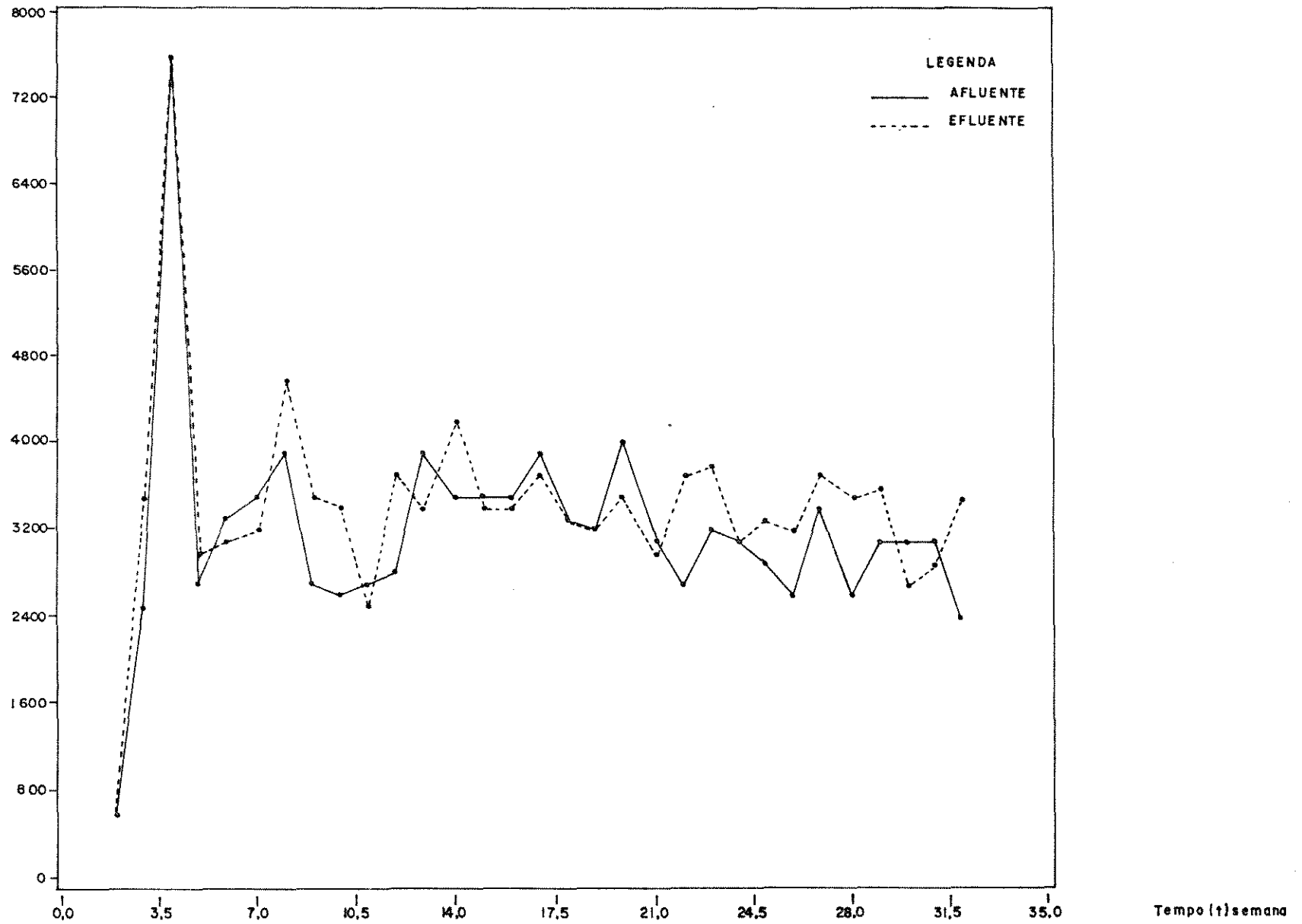
ALCALINIDADE  
(mg CaCO<sub>3</sub>/l)

FIGURA 5.15. Alcalinidade, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.



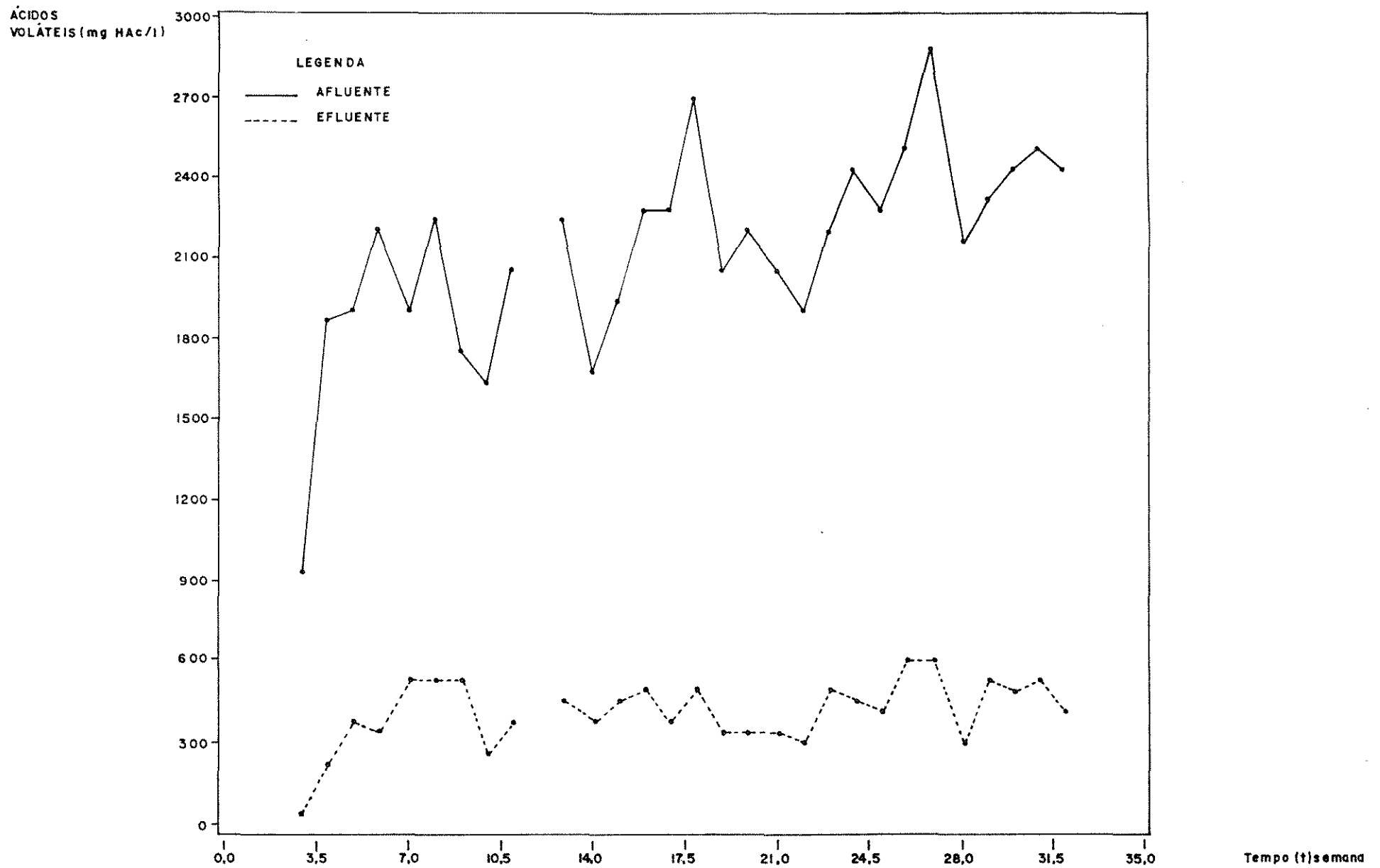


FIGURA 5.16. Ácidos Voláteis, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

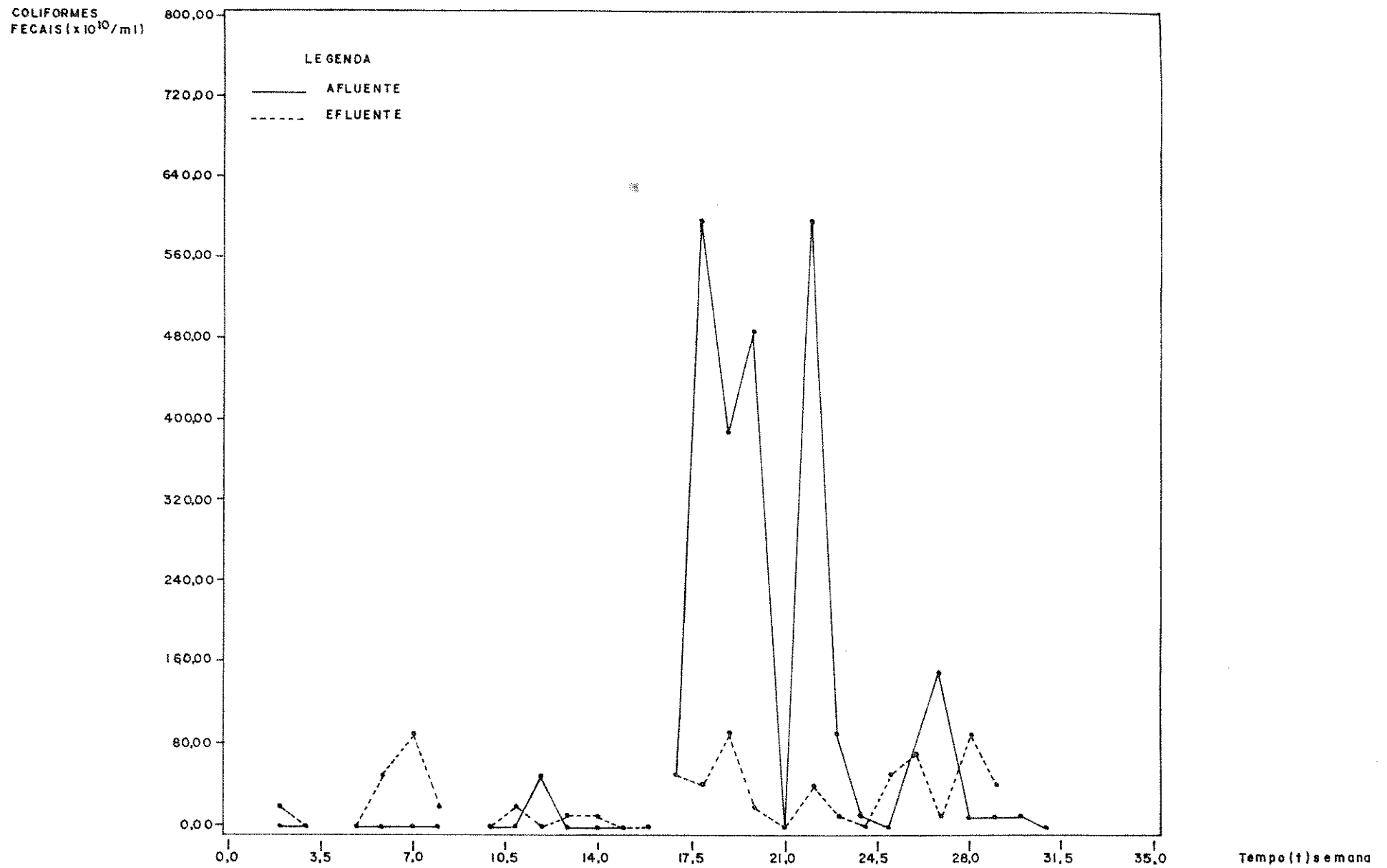


FIGURA 5.17. Coliformes fecais, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

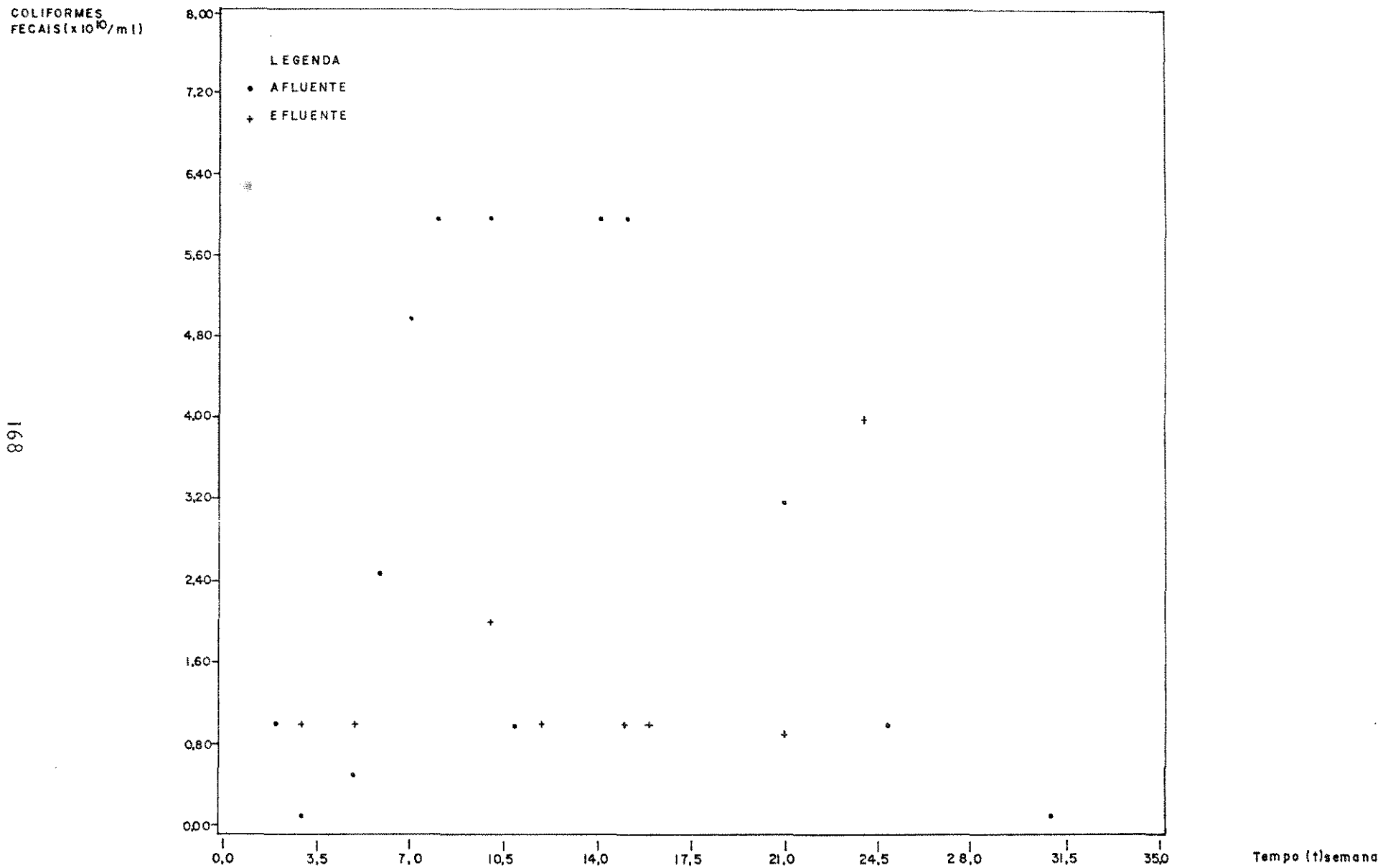


FIGURA 5.18. Coliformes fecais, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

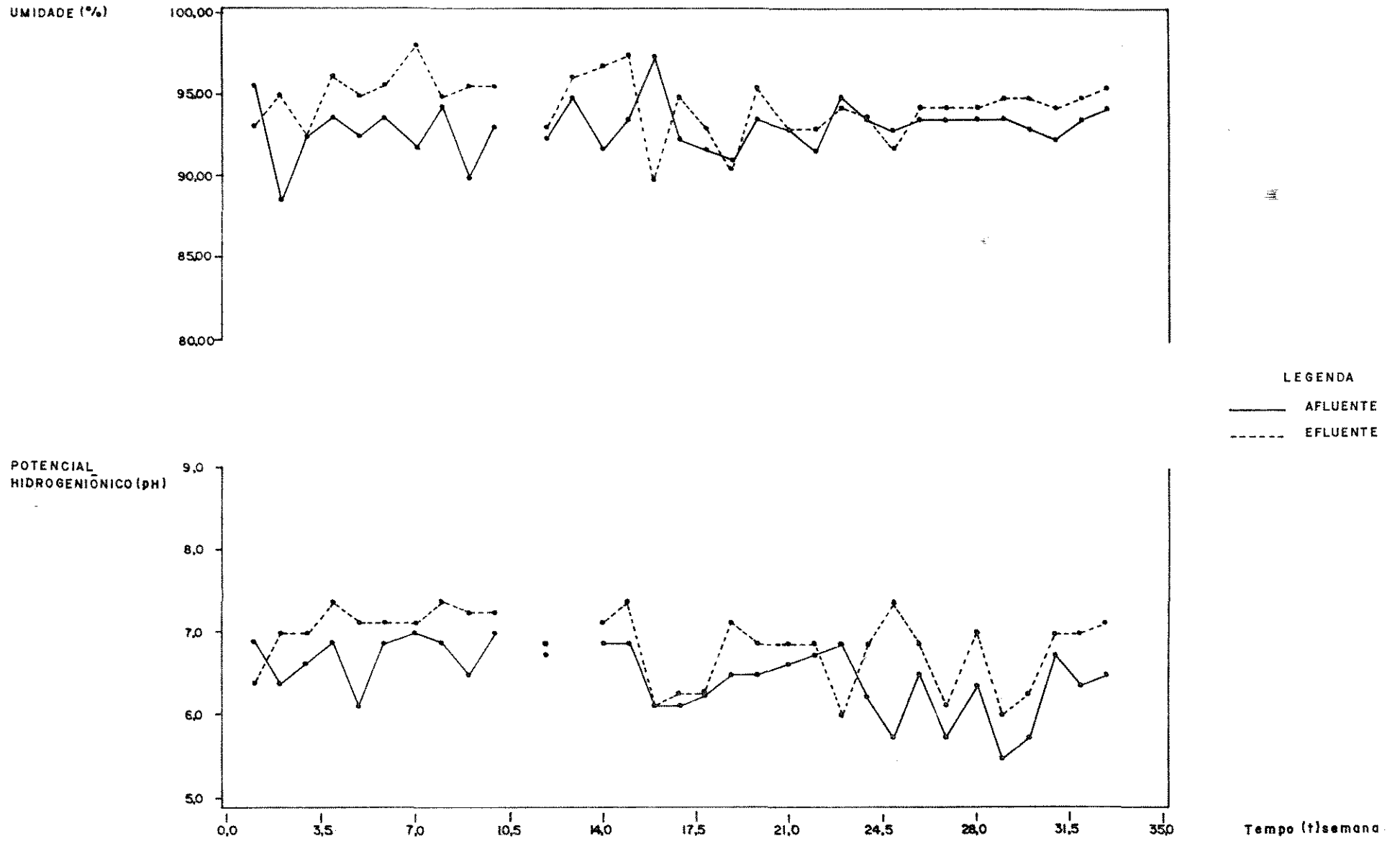


FIGURA 5.19 Umidade e Potencial Hidrogeniônico nos Materiais Afuente e Efluente ao Biodigestor.

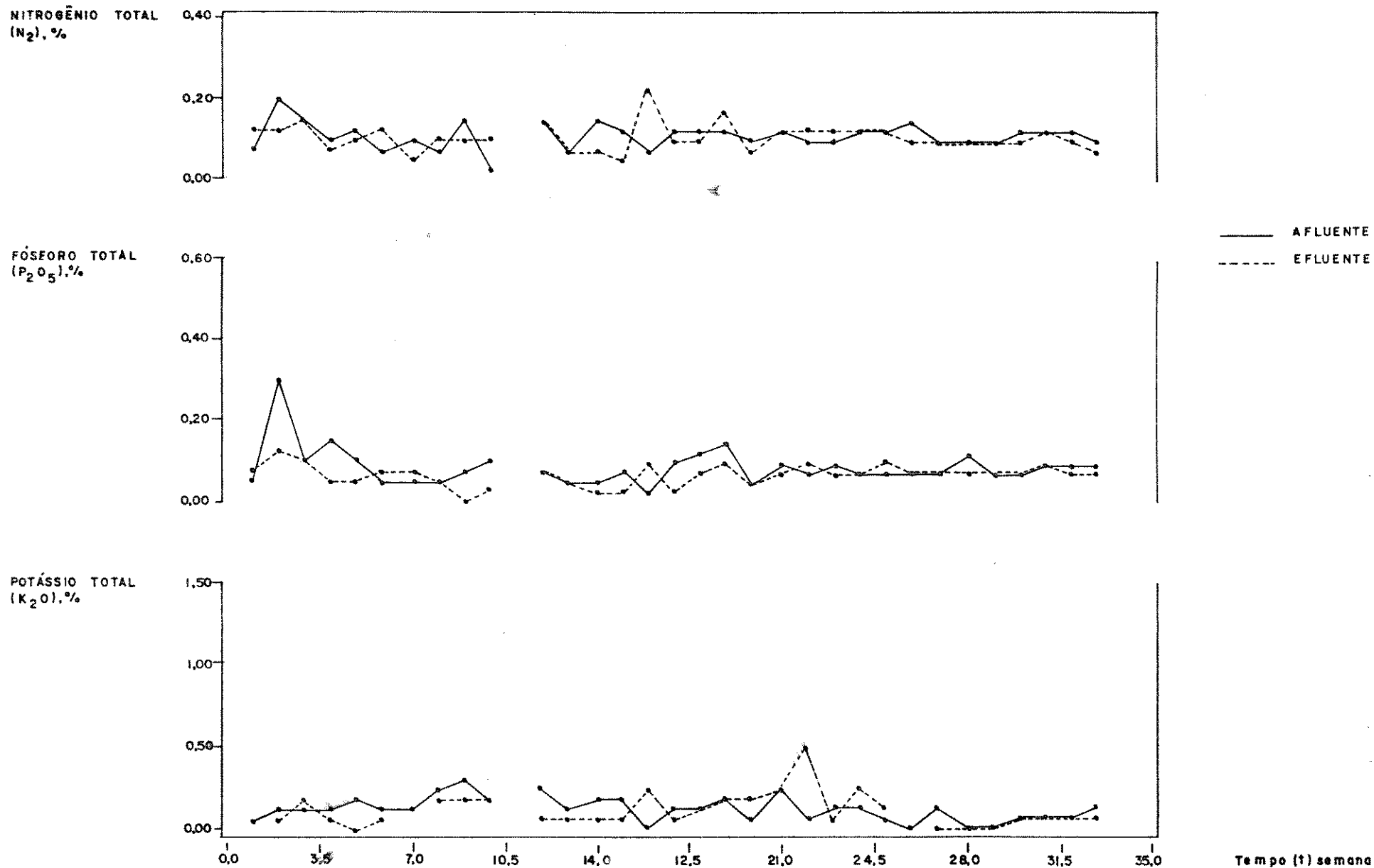


FIGURA 5.20 Nitrogênio, Fósforo e Potássio, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

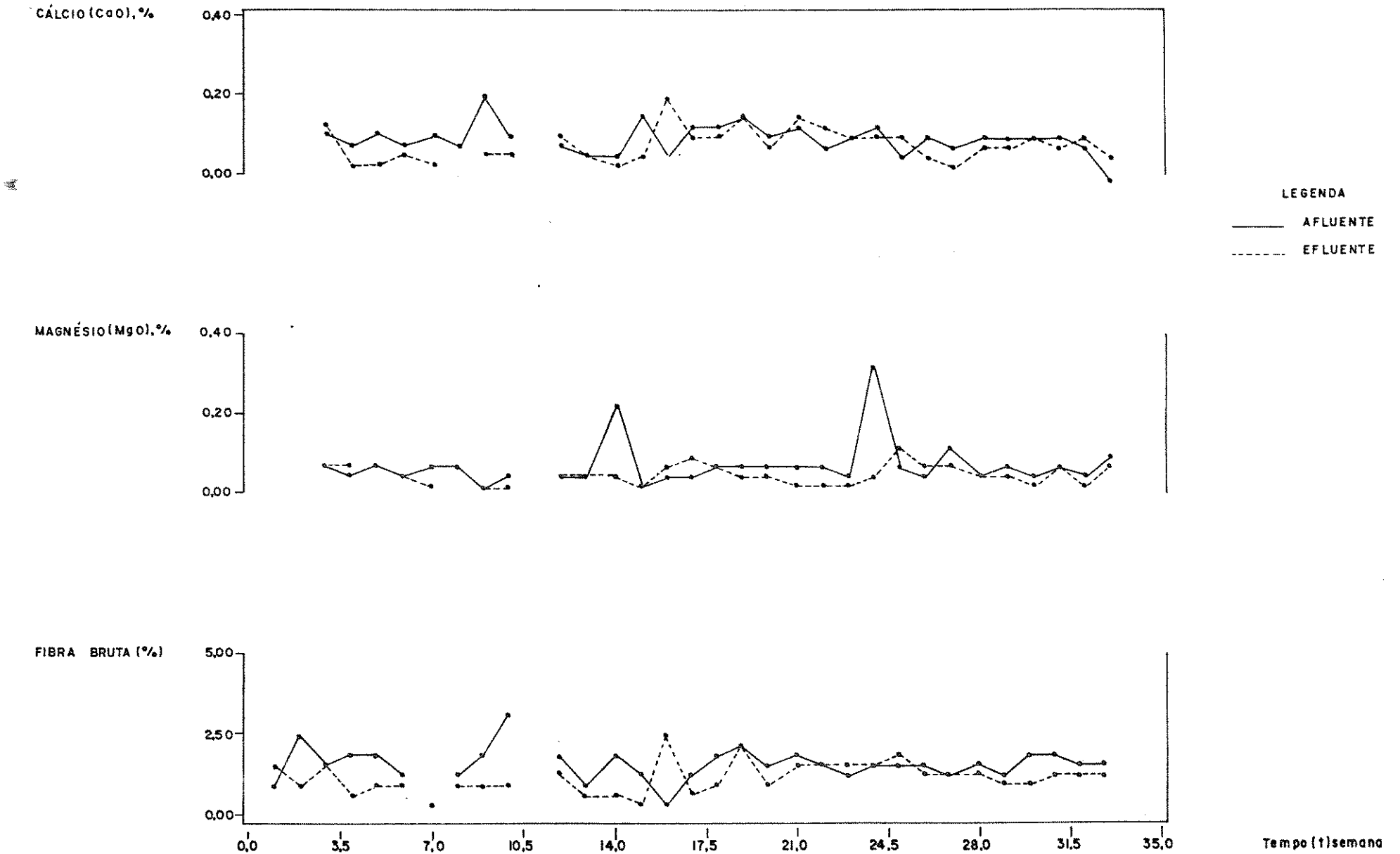


FIGURA 5.21. Cálcio, Magnésio e Fibra Bruta nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

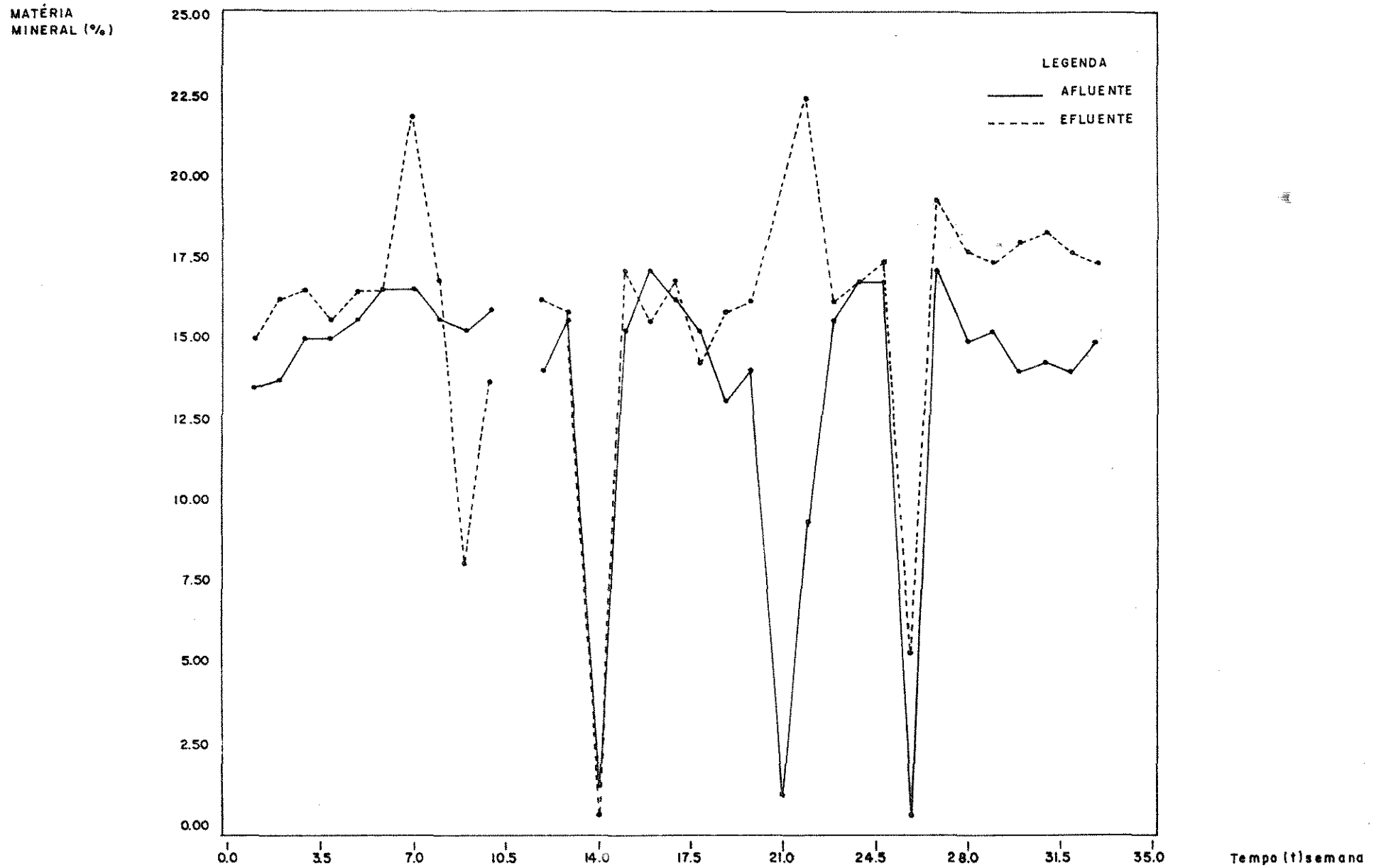


FIGURA 5.22. Matéria Mineral, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

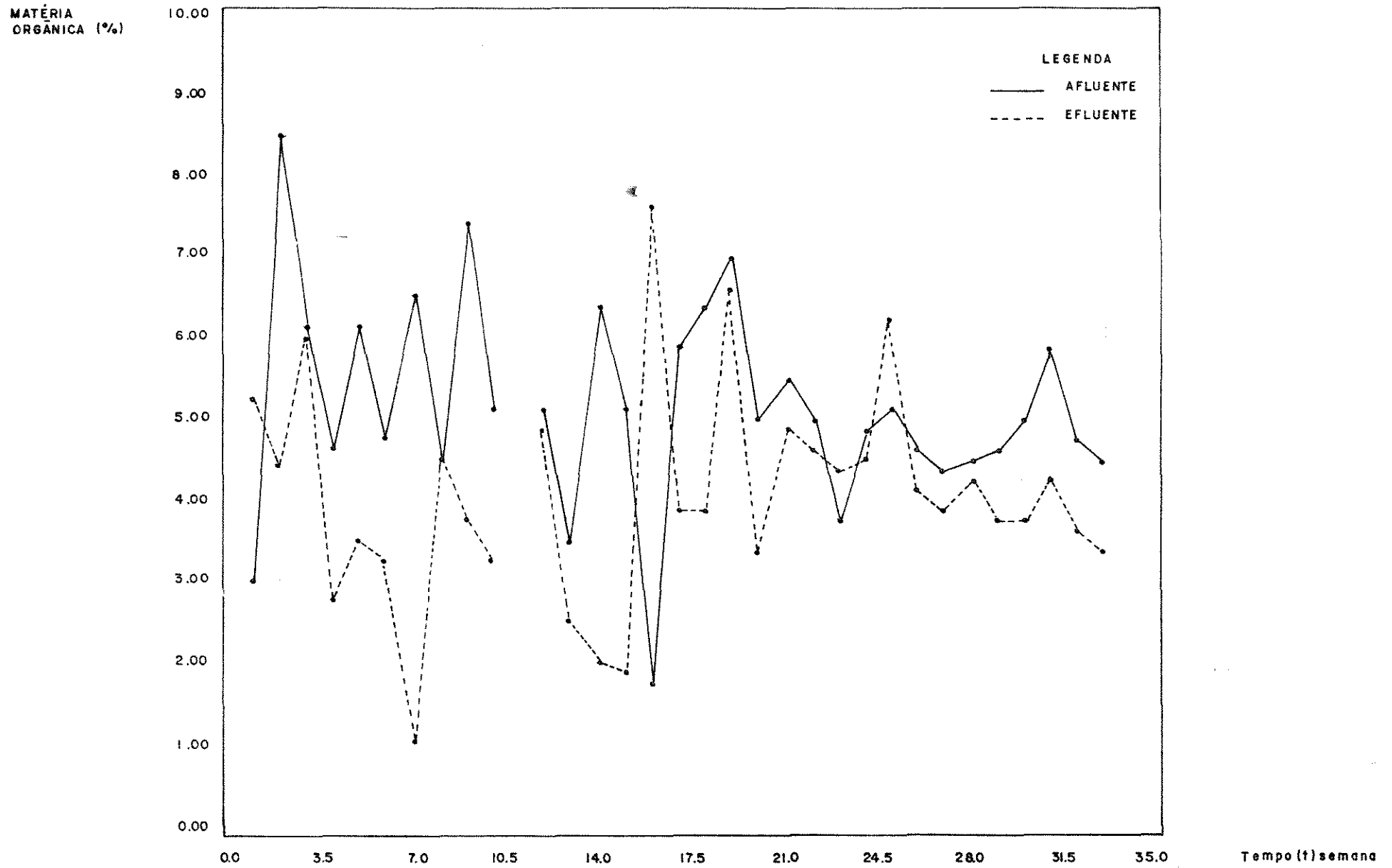


FIGURA 5.23. Matéria Orgânica, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.



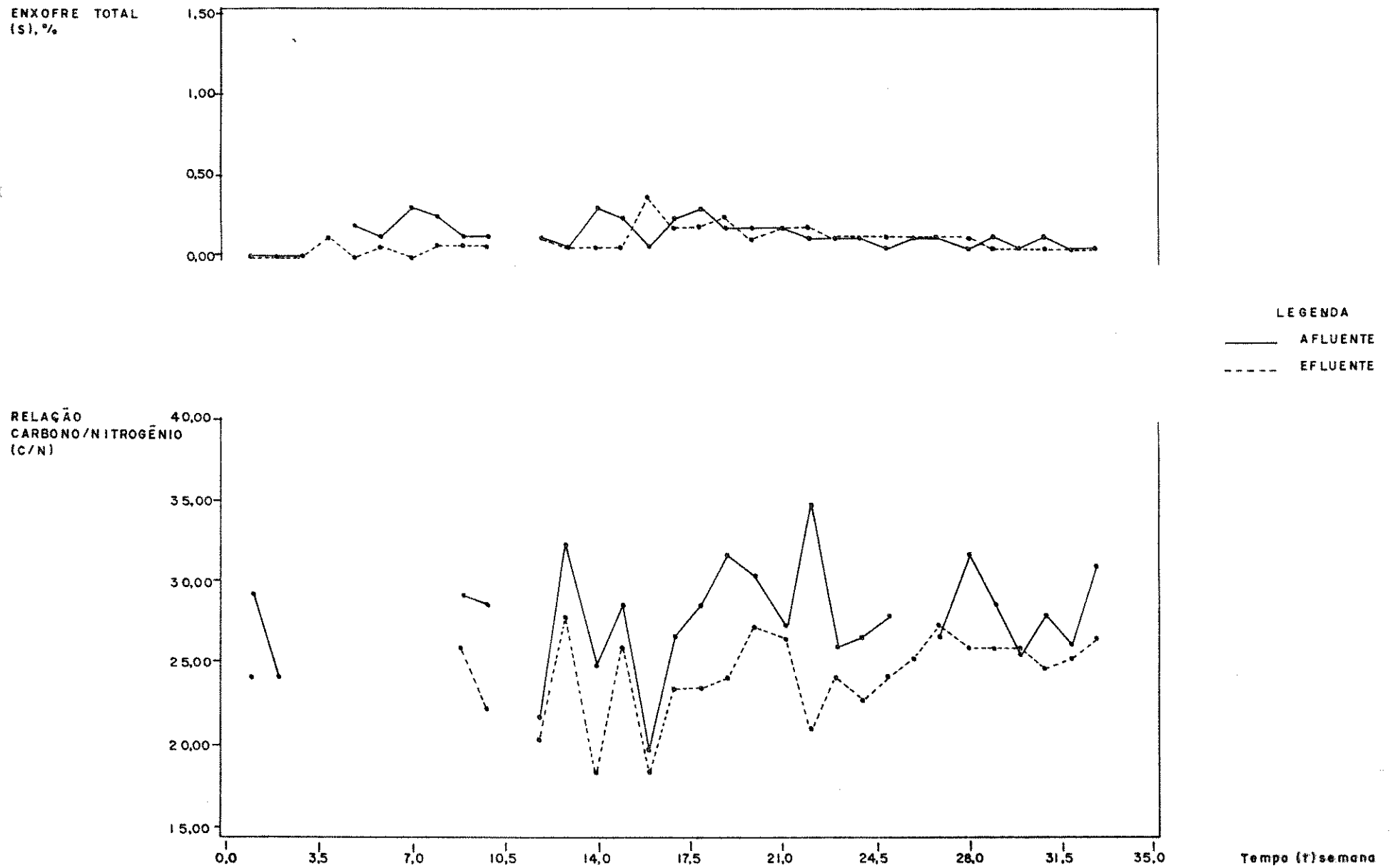


FIGURA 5.24. Enxofre e Relação Carbono/Nitrogênio, nos Materiais Afluente e Efluente ao Biodigestor.

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 6.1. Resultados do biodigestor estudado

A produção de biogás obtida no biodigestor adaptado foi menor que a esperada. Em relação à quantidade de material de alimentação e ao tempo de retenção, a produção esperada deveria estar ao redor de  $10 \text{ m}^3$  de biogás por dia. Este valor só foi atingido um dia fora do padrão de amostragem, quando ainda, não estava fixado os 23 cm para fechar o registro de utilização do biogás.

Estabelecido e fixado um método de coleta, encontrou-se que a produção média de biogás nos meses de inverno (final de junho, julho, agosto e início de setembro) esteve em torno de  $5 \text{ m}^3$  de biogás por dia e nos meses de verão (final de setembro, outubro e novembro) a média esteve em torno de  $6,5 \text{ m}^3$  de biogás por dia. A produção média de todo o intervalo de medições foi de  $5,05 \text{ m}^3$  de biogás por dia. Ver Figura 5.8. Atingiu um pico de máximo, após fixado a metodologia de amostragem, de  $9,171 \text{ m}^3$  de biogás por dia, no dia 18/6, quando a temperatura da massa em biodigestão era de  $22^\circ\text{C}$ , a máxima de  $21^\circ\text{C}$  e a mínima de  $18^\circ\text{C}$ . Alguns dias após, 21/6, atingiu o pico de mínimo, de  $1,802 \text{ m}^3$  de biogás por dia para as temperaturas de  $23^\circ\text{C}$ ,  $27^\circ\text{C}$  e  $17^\circ\text{C}$ , respectivamente.

Em termos de pressão, pode-se observar na Figura 5.1, que até mea

dos de junho o seu valor oscilou, devido à variação de peso sobre a campânula. Em meados de junho foi fixado o peso sobre a campânula (600 kg, distribuídos por quatro tambores com água). Na época das chuvas, de setembro a novembro, o valor oscilou devido à variação do atrito entre a campânula e a massa ao seu redor.

A temperatura da massa em biodigestão não oscilou muito, ficando sempre próxima à média. Esta, no período de inverno foi de 22,5°C e no período de verão, de 25,5°C, Figura 5.2. Observando a Tabela B.1, anexo B, tem-se que ao variar a temperatura da massa em biodigestão, esta ocorreu na proporção de 0,5°C/dia. Tal proporção de variação não afeta às bactérias metanogênicas, uma vez que não se caracteriza como variação brusca e, mesmo assim, ainda estaria numa faixa que não afeta, conforme VAN DUREN (107) e SILVA (97), - 3 - MC INERNEY & BRYANT (67) - 2 - e DOUGLAS (32), MEYNELL (68) e VIEIRA & SOUZA (109) - 1.

A temperatura da massa em biodigestão não se aproximou, em momento algum, à temperatura ótima para a biodigestão, em torno de 35°C, embora tenha estado dentro das faixas de utilização fornecidas por diversos autores - Tabela 3.6. O IPT (51) afirma que, normalmente, os biodigestores rurais não operam dentro da faixa ótima de temperatura. Tal fato ocorreu também com o biodigestor em estudo.

Assim, como comentou GARCIA (40), a temperatura sendo mais baixa não limita a biodigestão e sim, à eficiência da conversão metanogênica. Neste caso, foi afetada, comparando-se com a produção estimada - 10,3 m<sup>3</sup> de biogás/dia - segundo a maioria dos autores (os quais estabelecem que a quantidade de biogás produzida por kg de esterco está em torno de 0,038 m<sup>3</sup>/kg de esterco, Tabela 3.17). Entretanto, ELLSWORTH & ABELES (34) estabelecem que a quantidade de biogás produzida por kg de esterco, para gado leiteiro, é de 0,027 m<sup>3</sup> de biogás/kg de esterco, o que propicia uma produção estimada de biogás de 7,29 m<sup>3</sup> de biogás/dia. A quantidade de biogás produzida por dia, pelo biodigestor adaptado, estaria, assim, muito próxima daquela estimada.

A temperatura externa esteve oscilando na faixa de 22 a 27°C, o que, acredita-se, deva ser responsável pela "baixa" produção de biogás obtida.

O fato de a temperatura da massa em biodigestão ter sido baixa, quando comparada com o valor ótimo - 35°C - deve-se a que as temperaturas da carga (Figura 5.3), máximas (Figura 5.4), mínimas (Figura 5.5) e ambiente (Figura 5.6) terem estado, durante os oito meses de tomada de dados, nas faixas de 18° a 26,5°C, 15° a 33°C, 11 a 24°C e 11 a 24,5°C respectivamente. Todas as curvas (Figuras 5.3 a 5.6) tiveram mesmo comportamento.

O fato do biodigestor não estar enterrado, como recomenda o NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71), influenciou, uma vez que não houve isolamento térmico. As curvas representativas das temperaturas da massa em biodigestão, máxima, mínima e ambiente (Figura 5.2, 5.4 a 5.6) tiveram aproximadamente, o mesmo comportamento.

XU (111) cita que a faixa de temperatura entre 22 e 30°C é a mais adequada para a sobrevivência de ovos de parasitas e que só com dois meses de tempo de retenção se chega à esterilização dos germes patogênicos. A temperatura que o biodigestor em estudo operou está nesta faixa e o tempo de retenção adotado, 30 dias, não favorece à esterilização dos germes patogênicos.

A temperatura do material afluente (carga) esteve sempre próxima (um pouco abaixo) à temperatura da massa em biodigestão, não tendo, em termos práticos, efeitos negativos sobre o valor desta. A primeira esteve sempre acima da temperatura ambiente (em torno de 2°C).

A temperatura do biogás já foi bem mais próxima a ambiente, Figura 5.7, sendo que ao se observar a Tabela A.1, anexo A, onde se tem a variação da temperatura ao longo dos dias, nos horários mais quentes, há uma diferença de até 2°C.

## 6.2. Resultados das análises físico-químico-bacteriológicas

Os sólidos totais (Figura 5.9, Tabelas C.1 e C.2 e, anexo C) obti

dos para o afluente sofreram variações consideráveis, como seria de se esperar, segundo SGANZERLA (95), devido à natureza do material de alimentação. Assim, os esterco animais, não têm uma homogeneidade ao longo do tempo. Na saída do biodigestor os sólidos totais obtidos para o efluente foram mais homogêneos, embora também tenham variações. Tanto para o afluente como para o efluente, foram obtidos na 28<sup>a</sup> semana e na 31<sup>a</sup> semana dois picos sem razão aparente, além do fato dos animais terem produzido um esterco mais denso.

Os sólidos totais, em função do material utilizado - esterco - não foi constante, apesar de oscilar de 4,5 a 9,2%, mas houve duas cargas que apresentaram 16,2 e 19,5% respectivamente. A causa destes valores atípicos é que os animais produziram o esterco mais denso. Os valores médios foram 8,0% para o afluente e 5,7% para o efluente.

LAPP e seus colaboradores (56) dão como faixa ótima para a biodigestão os valores de 7 a 9% em sólidos totais, ou seja, os valores obtidos não estão totalmente dentro desta faixa ótima. HILLS & FAIRBANK (48) dão, para o esterco de gado leiteiro, o valor de 10% ST. HAWES (46) comenta que, normalmente, não se atinge a 9% ST para a biodigestão, sendo 4% um valor típico.

BATISTA (7) apresenta que a biodigestão ocorre com o teor de sólidos totais entre 6 e 8%, enquanto LACAVA (91), entre 6 e 9%. Os dados obtidos para sólidos totais estão mais próximos daqueles fornecidos por HAWES (46), LACAVA (91) e BATISTA (7).

VAN BUREN (107) cita que para a biodigestão com alimentação em teores menores que 10% de sólidos totais resulta em menor produção gasosa por unidade de volume do biodigestor por haver excesso de água.

A remoção, em termos médios, dos sólidos totais foi de 28%.

HAWES (46) fornece que os sólidos voláteis estão entre 90 e 40% dos sólidos totais, com um valor mais razoável de 73%. Foram obtidos valores médios de 82,5% dos sólidos totais para os sólidos voláteis do afluente e 80,7% dos sólidos totais para os do efluente, estando estes valores dentro daqueles recomendados por HAWES (46).

Os sólidos voláteis (Figura 5.10, Tabelas C.1 e C.2, anexo C) tiveram um comportamento semelhante aos totais, tendo tido no efluente uma homogeneidade maior que no afluente, pelos mesmos motivos que os sólidos totais. A remoção média obtida, em termos de sólidos voláteis foi de 30%, estando esta porcentagem muito bem em relação à faixa média de conversão de sólidos voláteis em biogás fornecida pela PENN. ST. UNIV. (78), que é de 20 a 30%. Para TAIGANIDES (104) ficou no limite inferior (30 a 60% de remoção de matéria orgânica).

Como o pH no biodigestor em estudo: fixou sempre abaixo de 7, segundo Mc CARTY (61), o equilíbrio que existe entre o íon amônio e a amônia tende para o íon amônio. Assim, o nitrogênio amoniacal medido está, predominantemente, na forma do íon amônio. Neste trabalho, segundo Mc CARTY (61), o nitrogênio amoniacal não teve efeitos adversos, pois a concentração máxima atingida foi de 320,0 mg/l no afluente, sendo que, a maior parte do tempo, teve efeitos benéficos à biodigestão, com concentrações inferiores a 200 mg/l e superiores a 50 mg/l.

Em termos de nitrogênio amoniacal houve uma remoção média de 16%, o que vem em choque com a maioria das referências consultadas, que pregam um aumento da concentração de nitrogênio amoniacal.

Houve uma remoção de DBO, em termos médios, de 39%, sendo esta a porcentagem de matéria estabilizada no biodigestor, CHANIN (21). Para VIEIRA & SOUZA (109), tanto a DBO como a DQO são testes para se verificar a eficiência da remoção de matéria orgânica do processo.

A remoção de DQO, em termos médios, foi de 29%.

Segundo Mc CARTY (60) o pH é um dos mais importantes requisitos ambientais para as bactérias metanogênicas e na faixa de 6 a 8 é devido ao equilíbrio  $\text{CO}_2 - (\text{HCO}_3^-)$ . O biodigestor em estudo operou com o pH nesta faixa, próximo à sua média, 7. Assim, seu valor foi ditado pelo equilíbrio citado. O teor de bicarbonatos foi responsável pela alcalinidade total obtida. Comparando-se as Figuras 5.14 e 5.15, respectivamente pH e alcalinidade, ape

sar da diferença em escala e significado, pode-se observar que há uma simila ridade no comportamento de ambas, o que vem a comprovar o que foi dito por Mc Carty (60).

Os ácidos voláteis, segundo BUSWELL & MUELLER (15), ao se acumula rem provocam uma queda no pH. Observando-se as Figuras 5.14 e 5.16 tem-se que os ácidos voláteis não sofreram variações sensíveis a ponto de afetarem o pH, embora em termos de afluente, nota-se que quando há picos no teor de ácidos voláteis, há oscilações do pH em torno de seu valor médio (de pequena inten sidade).

Os valores do pH do efluente foram praticamente constantes após a 8ª semana de ensaio, o que se pode concluir de Mc CARTY (60): é um indicativo da existência de um balanceamento entre os microrganismos das diferentes eta pas da biodigestão (ele diz que um pH decrescente é sinal de desequilíbrio). NATIONAL RESEARCH COUNCIL (71) reforça a afirmação acima quando comenta que quando a biodigestão está balanceada, as reações bioquímicas tendem a manter o pH dentro da faixa de utilização automaticamente.

Os dados obtidos questionam TAIGANIDES (104) que afirmou seu impos sível a manutenção do pH na faixa de 6,8 a 7,2 para resíduos animais. TAIGANI DES (104) esperava que se obtivesse pH mais alto, devido à alcalinidade maior dos resíduos animais.

O pH, como era esperado, teve um comportamento no efluente pratica mente constante e mais elevado que no afluente. Em termos médios, passou de 6,7 (no afluente) a 6,9 (no efluente).

A alcalinidade total obtida foi devida exclusivamente aos bicarbona tos.

A alcalinidade total esteve na faixa de 2496 a 4695 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ, o que, segundo Mc CARTY (60), está dentro da faixa recomendável (2500 a 5000 mg/ℓ e proporciona boa capacidade de tamponamento. Concordam com este fa to: KOTZÉ e colaboradores (54) e SOUZA (102). Os valores médios obtidos foram 3245,6 mgCaCO<sub>3</sub>/ℓ para o afluente e 3380,78 mg/CaCO<sub>3</sub>/ℓ para o efluente.

Comparando as Figuras 5.15 e 5.16, respectivamente alcalinidade e ácidos voláteis, observa-se que os valores da primeira não foram ultrapassados pelos da segunda, o que, segundo POHLAND & BLOODWOOD (82), representaria uma inibição à biodigestão.

Os valores dos ácidos voláteis no efluente, embora tendo variações, tiveram um comportamento em torno de um valor médio. Ver Figura 5.16. Isto, segundo Mc CARTY (60), VIEIRA & SOUZA (102) e KOTZÉ e seus colaboradores (54), por não evidenciar um acréscimo nos teores de ácidos voláteis no biodigestor representa condições adequadas à biodigestão.

Em termos de média, houve uma remoção de 80% dos ácidos voláteis.

O valor médio dos ácidos voláteis no efluente, 429,60 mg HAc/l. foi considerado por técnicos da EMBRAPA em julho de 1984 como sendo adequado e que não seria necessário diminuí-lo.

O tempo de retenção (hidráulico igual ao de sólidos) adotado foi de 30 dias, segundo o recomendado por grande parte dos autores consultados. Este valor, com base nos resultados da Figura 5.16, poderia ser aumentado, já que o ideal seria ter-se no efluente os ácidos voláteis nulo, representando que todo o potencial do resíduo havia sido transformado em metano. Tal procedimento coincidiria com HAWES (46), na Tabela 3.8, onde recomenda para a temperatura de biodigestão de 20, 25 e 30°C, os valores de tempo de retenção ótimo de 45, 35 e 30 dias respectivamente. Este procedimento foi sugerido em relatório à EMBRAPA e defendido na reunião dos técnicos em biodigestores da EMBRAPA, pela autora, tendo sido julgado, que o valor obtido pelos ácidos voláteis no efluente eram satisfatórios, não sendo necessário alterar o tempo de retenção.

A contagem de Coliformes fecais (Tabelas C.1 e C.2) mostrou que até 24/7 o número de Coliformes fecais por 100 ml era maior no efluente que no afluente. A partir de 31/7, com exceção de 9/10 e 30/10 a situação inverteu-se. A alimentação dos animais inicialmente era pasto e cana e em 20/6 passou a ser pasto, cana e silagem (sorgo). Com estes dois fatos, tem-se, como supõe



sição, que o grupo das bactérias presentes na massa em biodigestão com o primeiro tipo de alimentação era composto por certo número de bactérias pertencentes ao grupo Coliforme. Com a mudança de alimentação, houve uma seleção e o grupo bacteriano passou a ter menor número de indivíduos do grupo coliforme e, portanto, o número de coliformes no afluente passou a ser maior do que no efluente. Ver Figuras 5.17 e 5.18.

### 6.3. Resultados das análises de valor fertilizante

Os valores de umidade, com exceção de dois pontos, foram maiores no efluente que no afluente, apresentando como média, respectivamente 93,5% e 94,8%. O acréscimo foi de 1,4%.

As análises em termos de nitrogênio, fósforo e potássio totais reduziram em um decréscimo (pequeno) desses teores. O nitrogênio total teve uma remoção de 3%, o fósforo ( $P_{205}$ ) de 19% e o potássio ( $K_{20}$ ) de 16,7%.

As três curvas (Figura 5.20) apresentam um comportamento variando muito pouco em torno da média. Em termos de média, obteve-se para o nitrogênio 0,09%; fósforo 0,08%; e, potássio 0,13%. Estes valores estão muito aquém daqueles constantes na Tabela 3.29. Devem-se, provavelmente, à composição pobre na alimentação dos animais, já que os teores obtidos no afluente foram de 0,098%, 0,096% e 0,16% respectivamente para o nitrogênio, fósforo e potássio.

MEYNELL (68) cita que pelo menos 50% do nitrogênio total do efluente apresenta-se na forma de nitrogênio amoniacal. Obteve-se, no caso em estudo, uma porcentagem das médias de 13,5%, enquanto que para o afluente esta porcentagem foi de 15,5%. Desta forma, pode-se concluir que não houve uma transformação do nitrogênio inicialmente presente no afluente em nitrogênio amoniacal, como afirma o IPT (51), mas uma redução.

Em termos de cálcio ( $CaO$ ), magnésio ( $MgO$ ) e fibra bruta, obteve-se no caso em estudo, também reduções nos teores de 15%, 35,1% e 26,5% respectivamente. Ver Figura 5.21.

Os teores de matéria mineral obtidos oscilaram muito, mas à exceção de três pontos, sempre esteve maior no efluente que no afluente. A média obtida para o afluente foi de 13,9% e para o efluente de 15,5%, havendo um acréscimo de 11,5%, devido à mineralização da matéria orgânica.

A matéria orgânica também teve seus teores oscilando muito, mas à exceção de dois pontos, sempre teve os valores do efluente menores que do afluente. Em termos de média, encontra-se para o afluente 5,22% e para o efluente 4,12%, com 21,1% de redução. Esta redução é devido à mineralização da matéria orgânica e à formação metânica.

Os teores de enxofre não oscilam muito, mantendo-se próximos à média. Os teores médios obtidos foram de 0,17% para o afluente e de 0,14% para o efluente, com uma remoção de 17,6%. Esta remoção deve ter sido devido à formação de sulfeto de hidrogênio que foi liberado no biogás.

A relação carbono/nitrogênio variou bastante, já que os teores de matéria orgânica também o fizeram. No afluente encontrou-se, como teor médio, o valor de 22,6% e para o efluente, o valor de 20,4%. A remoção obtida foi de 9,7%.

Assim, o valor fertilizante do efluente só é melhor que a do afluente (esterco e água) em termos de matéria mineral e nos demais parâmetros analisados estando praticamente em igualdade de condições, já que as reduções obtidas são significativamente pequenas com exceção da matéria orgânica e do enxofre.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1. Conclusões

Baseando-se nos resultados obtidos no experimento realizado na adaptação da esterqueira (célula de fermentação) em biodigestores, chegou-se às seguintes conclusões:

o volume diário de biogás produzido (média de  $6,5 \text{ m}^3/\text{dia}$ , no verão) foi abaixo do estimado, segundo a maioria dos autores consultados (Tabela 3.17), para esterco bovino (ao redor de  $10,8 \text{ m}^3$  de biogás/dia). Ficou relativamente, dentro do previsto para gado leiteiro, de acordo com ELLSWORTH & ABELES (34),  $7,29 \text{ m}^3$  de biogás/dia;

a razão aparente para a produção diária de biogás ter sido menor que a estimada é a temperatura da massa em biodigestão, na faixa de  $11,0$  a  $27,5^\circ\text{C}$  que, em nenhum momento, se aproximou da temperatura ótima ( $35^\circ\text{C}$ ) para as metano-bactérias, tendo oscilado lentamente e o fazendo na proporção de  $0,5^\circ\text{C}/\text{dia}$  (Tabela A.1).

A temperatura da massa em biodigestão foi baixa (na faixa de  $11,0$  a  $27,5^\circ\text{C}$ ) em virtude das temperaturas ambiente, máxima e mínima ambientes terem ficado, durante o período de amostragem, nas faixas

de 11,0 a 24,5°C, 15,0 a 33,0°C e 11,0 a 24,0°C respectivamente;

a biodigestão ocorreu estável durante o período de amostragem, pois houve uma alta conversão de ácidos voláteis (80%) em metano (FISHER, 37). As reduções em termos de sólidos voláteis, demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio foram baixas : 30%, 39% e 29% respectivamente. Tais resultados indicam que seria necessário um aumento do tempo de retenção, o que, baseando-se nos baixos teores de ácidos voláteis do efluente mostrou-se desnecessário. O biodigestor adaptado teve, pode-se dizer, boa eficiência em termos de sólidos voláteis (30%), já que o valor ótimo é de 40%. Em termos de demanda química de oxigênio a eficiência foi baixa (29%), pois o valor ótimo é de 60%. Esta baixa redução é devido provavelmente, ao fato do material de alimentação ser rico em matéria fibrosa;

os parâmetros: nitrogênio amoniacal, pH e alcalinidade variaram pouco e ao redor da média, tanto no afluente como no efluente ao biodigestor e não houve indicação de terem afetado a biodigestão.

Os teores um pouco baixos de nitrogênio podem ser justificados, talvez, devido ao fato da urina não ter sido coletada, pois o piso do estábulo apresentava declividade para removê-la;

o afluente apresentou, quando a alimentação do gado era de pasto e cana, valores do número mais provável de Coliformes fecais maiores que o efluente, sendo que esta relação inverteu-se, após um período de retenção depois da alimentação do gado ter sido mudada para pasto, cana e silagem (sorgo);

o afluente e o efluente apresentam praticamente, o mesmo valor fer

tilizante, com exceção para matéria mineral e pH, nas quais o efluente é mais rico que o afluente e, fibra bruta e enxofre, nas quais o afluente é mais rico que o efluente; e,

pode-se dizer que a produção foi bem sucedida, pois para pequenos e médios proprietários rurais, esta constitui-se uma medida viável para se reduzir os custos de implantação de um biodigestor, pois com a adaptação da esterqueira economiza-se o material de construção do tanque, aliado ao fato de utilizar uma área e uma estrutura que ficariam inativas. A facilidade de remoção do biofertilizante (efluente), quando comparada com a remoção do material fermentado na esterqueira também é um fator a mais para a viabilidade.

## 7.2. Recomendações

Após a execução dos trabalhos, observando-se o comportamento do experimento, chegou-se a que certos cuidados especiais são necessários e assim, recomenda-se:

quando há possibilidade de o biodigestor trocar calor com o meio ambiente, no caso em que o biodigestor tenha contato com o meio externo, que haja um recobrimento das paredes com material isolante térmico, isopor por exemplo; e,

que estudos da variação do número de Coliformes com a alimentação dos animais sejam pesquisados mais a fundo, de forma a se aconselhar ou não o uso do biofertilizante em culturas tipo hortaliças.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

001. ALENCAR, José de. Energia do meio rural para o meio rural. Balde Branco: 21-4, ago. 1981.
002. ALLEY, Rewi. A expansão do biodigestor na China. Energia Fontes Alternativas, São Paulo, 3 (13):28-33, mar./abr. 1981.
003. ANAEROBIC treatment. In: MINER, J.R. & SMITH, R.J. ed. Livestock waste management with pollution control. s. l., North Central Regional Research, 1975. p. 43-58. (MW PS-19).
004. ANIMAL manures into energy. Energy Digest, p. 24-5, oct. 1978.
005. A SOLUÇÃO pode estar na fazenda. Jornal Agroceres. 11 p. 4-5, mar. 1979. Entrevista com o Prof. Pedro Lacava, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal.
006. BAADER, Wolfgang. Design characteristics of anaerobic digestion systems. In. ANAEROBIC digestion 1981. Amsterdam, Elsevier Biomedical Press, 1982. p. 71-87. Proceedings of the 2nd. International Symposium on anaerobic digestion. Travemünd e Alemanha, 6-11 sept. 1981.
007. BATISTA, Laurentino Fernandes. Manual técnico construção e operação de biodigestores. Brasília Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1981. 54 p. il. (Manuais, 24).
008. BENICASA, Mário. Biogás: uma alternativa para independência do homem do campo. Casa da Agricultura, Campinas, maio, 1981, p. 48-54. Edição Es

- pecial. Simpósio sobre produção e uso de energia no meio rural, 1. Campinas, 20 - 3, out. 1980.
009. BENICASA, Mário et alii. Algumas relações climatológicas e de abastecimento diário e semanal com a produção de biogás na Região de Jaboticabal. In: REUNIÃO sobre a influência da temperatura na biodigestão anaeróbia, 1., Santa Maria, 24-27 maio. 1983. Coletânea. Brasília, Embrater, 1983. p. 20-1.
010. BEZERRA, Walmick Mendes. Uma alternativa energética para o produtor rural. Agricultura de Hoje, (66), dez. 1980.
011. BIODIGESTORES. Brasília, Emater, 1981. 11 p. il. (Biodigestor garante o gás).
012. BIOGÁS: uma solução para o problema energético nas zonas rurais. Dirigente Rural, 19 (8):41-2, ago. 1980.
013. BIOGÁS: na sua fazenda a baixo custo. Balde Branco: 20-1, ago. 1981. Dirigente Rural, (7) jul. 1981.
014. BIOMASS ENERGY INSTITUTE. Biogás production from animal manure. Manitoba, 1978. 19 p. il.
015. BUSWELL, A. M. & MUELLER, H. F. Mechanism of Methane fermentation. Industrial and Engineering Chemistry, 44 (3):550-2, mar. 1952.
016. CAMARGO, Eulício B. Aproveitamento do Metano do gás de esgotos em veículos. Revista DAE, São Paulo, 42 (129):56-60, jun. 1982.
017. CARNEIRO, Orlando. Habitações rurais: considerações gerais. In: - . Construções rurais. 9 ed. São Paulo, Nobel, 1981. 719 p., p.106-99.
018. CARVALHO, Antinous de Souza. Informações tecnológicas (2ª parte). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BIOGÁS, 1., Brasília, 23-26. mar. 1981. Anais. Brasília, Embrater, 1981. p. 39-54.
019. CARVALHO, Joaquim Francisco de. Biomassas como fonte de energia. Culturas Energéticas Biomassa, São Paulo, 2 (6):29-40, nov. 1983.
020. CERULLO, Heraldo. Utilização do biogás. s.n.t. 13 p. Biblioteca EMBRATER, 81/867.

021. CHANIN, Gerson. Digestion is not really digestion: Microbiology and Biochemistry of sludge "digestion". Water & Sewage Works:117-21, apr. 1966.
022. CHEN, Ru-Chen. Building rural digesters. In: ANAEROBIC digestion 1981. Amsterdam, Elsevier Biomedical Press, 1982. p. 293-313. Proceedings of the 2nd. International Symposium on Anaerobic Digestion. Travemünde, Alemanha, 6-11 sept. 1981.
023. CHUNG, PO. Bags of energy. Pig International, 10 (5):26-30, may, 1980. Resumos em espanhol, alemão, italiano e francês.
024. COLAÇO, Waldeciro & Filho, Elias S. Desempenho de biodigestores verticais: conteúdo de metano e eficiência térmica. Culturas Energéticas Biomassa. São Paulo 2 (5):49-56, set. 1983.
025. COMPANHIA AUXILIAR DE EMPRESAS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Departamento de Estudos de Novas Fontes Alternativas de Energia. O biogás e sua tecnologia. s. l., 1980. 51 p.
026. COMPANHIA Penha de Máquinas Agrícolas. Divisão de Biodigestores. Biodigestor Penha. Ribeirão Preto, s. d. 23 p. il.
027. CORRÊA, Adolfo Nunes. Evolução do programa de biogás, através do SIBRATER. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BIOGÁS, 1, Brasília, 23-26. mar. 1981. Anais. Brasília, Embrater, 1981. p. 7-10.
028. CRAVEIRO, Américo Martins. Produção de biogás. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, s. d. 43 p. Trab. apres. ao 4º Simpósio Nacional de Fermentação, Recife, 1-5.12. 1980.
029. CRAVEIRO, Américo Martins. Considerações sobre projetos de plantas de biodigestão. São Paulo, IPT, 1982. 39 p. Parte do curso sobre Digestão Anaeróbia: Aspectos Teóricos e Práticos. 1º Simpósio Latino - Americano sobre produção de biogás a partir de Resíduos Orgânicos, 6-10, dez.1982.
030. DANESE, Modesto. Utilizações do biogás. Energia Fontes Alternativas, São Paulo, 3(15):14-9, jul./ago. 1981.
031. DOHNE, E. Biogás storage and utilisation. In: ANAEROBIC digestion 1979.



- London, Applied Science, 1980. p. 429 —. Proceedings of the 1 st. International Anaerobic Digestion . Cardiff, Wales, sept. 1979.
032. DOUGLAS, Ralph W. Synthetic natural gas from animal wastes by anaerobic fermentation. In: Clean Fuels from Biomass, Sewage, Urban Refuse, Agricultural Wastes, Orlando - Florida, 27-30 jan. 1976. Symposium Papers. Chicago-Illinois, Institute of Gas Technology, 1976. p. 183-96.
033. ELETROCAMPO. Biodigestor. São Paulo, 1981. n. p. il.
034. ELLSWORTH, David & ABELES, Tom. Methane Production for your farm. Minneapolis, I.E. Associates, 1981. 76 p. il.
035. FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL. Projeto biogás CNPq/Projeto Rondon. s.n.t.
036. FARRAH, Samuel R. & BITTON, Gabriel. Bacterial survival and association with sludge flocs during aerobic and anaerobic digestion of wastewater sludge under laboratory conditions. Applied and Environmental microbiology, 45(1):174-81, jan. 1983.
037. FISCHER, J. R. et alii. Methane Production Systems for swine manure. Handout only - not for publication. [1979].
038. FOOD, fuel and fertilizer from organic wastes. 2 ed. Washington, National Academic Press, 1982. 159 p. il.
039. GALLINA, Rubens. Metrologia, normalização e qualidade industrial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BIOGÁS, 1., Brasília, 23-26. mar. 1981. Anais. Brasília, Embrater, 1981. p. 113-27.
040. GARCIA, Martin Villaroel. El desarrollo del biogas en Bolivia y sus problemas tecno-socio-ecologico en Zonas Altas. In: REUNIÃO sobre a influência da temperatura na biodigestão anaeróbia, 1., Santa Maria, 24-27. maio. 1983. Coletânea. Brasília, Embrater, 1983. p. 57- .
041. GÁS metano na frota da SABESP. Revista DAE, São Paulo, 42(130):12-3 , set. 1982.
042. GASQUES, Marcus Vinícius. A solução metano. Jornal da Tarde, São Pau

lo, 05 maio 1982, p.5.

043. GOIÁS. Secretaria da Agricultura. Biodigestores para produção de gás metano e fertilizantes. Goiânia, s. ed., 1979. 5 p.
044. GOLUEKE, Clarence G. Basic principles of anaerobic digestion. In: BIO GAS and alcohol fuels production. Emmaus, J G Press, s. d. 120 p. , p. 7-12.
045. GOMES, Celso Savelli. Bioenergia (Agro)-sanitária. In: REUNIÃO ANUAL da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA de ENERGIA SOLAR: Perspectivas Presentes e futuras da utilização e desenvolvimento da Energia Solar no Brasil, 3., Curitiba, 19-21 jul. 1982. Anais. p. 234-54.
046. HAWES, D.L. Factors affecting net energy production from mesophilic anaerobic digestion. In: ANAEROBIC digestion. 1979. London, Applied Science, 1980. p. 131-50. Proceedings of the 1 st. International Symposium on Anaerobic Digestion. Cardiff, Wales, sept. 1979.
047. HESS, Anselmo Antonio. O esterco e o gás metano ou bio-gás. Concórdia, ACARESC, 1979. 23p. il.
048. HILLS, David J. & FAIRBANK, William C. Methane generation from agricultural wastes. Davis, University of California. Department of Agricultural Engineering, 1979. 7p.
049. HUGHES, D. E. What is anaerobic digestion? An overview. In: ANAEROBIC digestion 1979. London, Applied Science, 1980. p. 1-14. Proceedings of the 1 st. International Symposium on Anaerobic Digestion. Cardiff, Wales, sept. 1979.
050. HUNGATE, R. E. The microbiology of bio-digestion. [São Paulo], Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1982. 91 p. il. Curso apres. no 1º Simpósio Latino-Americano sobre Produção de Biogás.
051. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de biodigestores rurais. São Paulo, 1982. 75 p. il.
052. JAIN, Mahendra K. et alii. Biochemical changes during anaerobic digestion of animal wastes. Water Research, Great Britain, 16:411-5, 1982.

053. JORDÃO, Eduardo Pacheco & PESSOA, Constantino Arruda. Digestão Anaeróbia. In: — . Tratamento de Esgotos Domésticos. São Paulo, CETESB, 1975. v. 1., cap. 9. p. 161-83.
054. KOTZÉ, J. P. et alii. Anaerobic digestion: The characterization and control of anaerobic digestion. Water Research, 3:459-94, 1969.
055. LACAIVA, Pedro. Biogás a partir de resíduos agrícolas. s.l., Instituto Brasileiro do gás, s. d. 17 p. il.
056. LAPP, H. M. et alii. Methane production from animal wastes: Fundamental considerations. Canadian Agricultural Engineering, 17(2):97-102, dec. 1975.
057. MAZZUCCHI, Osvaldo A. J. Biodigestor rural. São Paulo, CESP, 1980. 29 p.
058. McCARTY, Perry L. The methane fermentation. New Brunswick, The State University, Department of Sanitation Rutgers, 1963. 30 p. Trab. a pres. ao Rudolfs Research Conference, New Brunswick, 07. jun. 1963.
059. McCARTY, Perry L. Anaerobic waste treatment fundamentals; Part One ; Chemistry and microbiology. Public works: 107-12, sept. 1964.
060. McCARTY, Perry L. Anaerobic waste treatment fundamentals; Part Two ; Environmental requirements and control. Public works: 123-6, oct. 1964.
061. McCARTY, Perry L. Anaerobic waste treatment fundamentals; Part Three ; Toxic materials and their control. Public works: 91-4, nov. 1964.
062. McCARTY, Perry L. Anaerobic waste treatment fundamentals; Part four ; Process design. Public works: 95-9, dec. 1964.
063. McCARTY, Perry L. Anaerobic treatment of soluble wastes. s. l., University of Texas, 1966. 24 p. Trab. apres. ao Special Lectures Series on Advances in Water Quality Improvement, 4-7. apr. 1966.
064. McCARTY, Perry L. Anaerobic process. Birmingham, s. ed., 1974. 28 p. Trab. apres. ao Birmingham Short Course on Design Aspects of Biological Treatment, International Association of Water Pollution Research,

Birmingham, 18. sept. 1974.

065. McCARTY, Perry L. One hundred years of anaerobic digestion. In: ANAEROBIC digestion 1981. Amsterdam, Elsevier Biomedical Press, 1982. p. 3-22. Proceedings of the Second International Symposium on Anaerobic Digestion. Travemünde. Alemanha, 6-11. sept. 1981.
066. McINERNEY, M. J. et alii. Metabolic stages and energetics of microbial anaerobic digestion. In: ANAEROBIC digestion 1979. London, Applied Science, 1980. p. 91-8. Proceedings of the 1st. International Symposium on Anaerobic Digestion. Cardiff, Wales, sept. 1979.
067. McINERNEY, Michael J. & BRYANT, Marvin P. Basic principles of bioconversions in anaerobic digestion and methanogenesis. In: SOFER, S.S. & ZABORSKY, O. R. Biomass Conversion processes for energy & fuels. New York, Plenum Press, 1981. p. 277-98.
068. MEYNELL, Peter John. Methane: planning a digester. s.l. Prism Press, 1976. 150 p. il. (C.T.T. Series, 2).
069. MOURA, José Carlos de. O gás metano para a agricultura e a agroindústria. O Estado de São Paulo, São Paulo, 09 fev. 1983. Suplemento Agrícola, 28 (1436):3, 1983.
070. NAAS, Irenilza de Alencar. Methane Production from livestock Residues. Enciclopedia de Engenharia e Tecnologia, 4:129-38, set. 1979.
071. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Commission on International Relations. Methane Generation from human, animal, and agricultural wastes. Washington D.C., National Academy of Sciences, 1977. p. 3-7, 27-35, 40-3, 48-57, 84-101.
072. NO BIOMÉTANO, a energia para o meio rural. Atualidades do Conselho Nacional do Petróleo, 12(72):29-30, jun./ago. 1980.
073. NYNS, E.J. et alii. Digesters - A worldwide review. In: ANAEROBIC digestion 1979. London, Applied Science; 1980. p. 37-59. Proceedings of the 1st. International Symposium on Anaerobic Digestion. Cardiff, Wales, sept. 1979.

074. OLIVEIRA, Antonio Sérgio de et. alii. Fatores físico-químicos que alteram a digestão anaeróbia em biodigestores rurais. In: REUNIÃO sobre a influência da temperatura na biodigestão anaeróbia, I., Santa Maria, 24-27. maio. 1983. Coletânea. Brasília, Embrater, 1983. p. 30-1.
075. OSTROVSKI, Cristovão Mark. Novas tecnologias em biodigestores. Energia: Fontes Alternativas, São Paulo 3 (13):33-8, mar./abr. 1981.
076. PARCHEN, Carlos Augusto Petersen. Biofertilizante: um alerta. s. l., ACARPA/DEPRO-CORNER/BIOENERGIA, 1980. 3 p.
077. PARCHEN, Carlos A. Manual de biogás. EMATER-PR, DEPRO/CORNER. 26 p.
078. PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY. College of Agriculture Extension Service. Biogás from manure. Pennsylvania, University Park, s. d. n.p. il. (Energy and you. Special Circular, 260).
079. PEREIRA, Milton Fischer. Construções Rurais. Nobel, 1982. p. 171-9.
080. PIRES, Ênio Baldissara. Biogás - Instituto de Pesquisas da Marinha. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BIOGÁS, I., Brasília, 23-26. mar. 1981. Anais. Brasília, Embrater, 1981. p. 101-12.
081. PLANTA de bio-gas en pequeña escala - Índia. In: UN MANUAL DE Tecnologia Apropriada. Ottawa, 1949. 19 p. il. (Caso de estudio, 6).
082. POHLAND, F. G. & BLOODGOOD, D. E.. Laboratory studies on mesophilic and Thermophilic anaerobic sludge digestion. Journal Water Pollution and Control Federation, 35(1):11-42, jan. 1963.
083. QUEIROZ, Edilson Freire. O programa do biogás no Ministério das Minas e Energia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO de BIOGÁS, I., Brasília, 23-26 mar. 1981. Anais. Brasília, Embrater, 1981. p. 87-94.
084. RISCHBIETER, Karl. O biogás e a empresa privada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO de BIOGÁS, I., Brasília, 23-26. mar. 1981. Anais. Brasília, Embrater, 1981. p. 11-23.
085. RODRIGUES, Eduardo Celestino. Gases, do metano aos residuais. O Estado de São Paulo, São Paulo, 15 abr. 1984. p. 44.

086. RODRIGUES, Eduardo Celestino. Substitutos de diesel. Culturas Energéticas Biomassa. São Paulo, 3 (7):38-35, ago. 1984.
087. SALVETTI, Modesto Giovanni. Manual de biodigestor Plastisol. Sapucaia do Sul, Plastisol, s. d. 14 p.
088. SALVETTI, Modesto G. Biodigestor de plástico. Gás à vontade. A granja, Porto Alegre 40(438):48-56, jul. 1984.
089. SANEPAR desenvolve o gás metano como novo combustível veicular. Culturas Energéticas Biomassa, São Paulo, 2(6):4-5, nov. 1983.
090. SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Como construir seu gerador de biogás. Florianópolis, Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina, 1980. 29 p. il.
091. SANTIAGO, Anthero da Costa & CRESTANA, Marcelo de Souza Machado. Biogás; normas técnicas para projetos de biodigestores, Comunicado Técnico CATI, Campinas, 27:13 p., maio 1981.
092. SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Biodigestores. Telecurso Rural, São Paulo, (4):14 p., 1981.
093. SEIXAS, Jorge et alii. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília, EMBRAPA, 1981. 60 p. il. (Circular técnica, 4).
094. SERTÃ, Francisco de Assis Rodrigues & LACERDA Marluce Fernandes de. Utilização de resíduos de favelas na produção de biogás para uso comunitário. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, 22(4):524-7, out./dez. 1983.
095. SGANZERLA, Edílio. Biodigestor; uma solução. Porto Alegre, Agropecuária, 1983. 86 p. il.
096. SILVA, E. J. da. Biogás generation: developments, problems and tasks — an overview. In: THE UNITED NATIONS UNIVERSITY. Bioconversion of organic residues for rural communities. Papers presented at the Conference on the State of the Art of Bioconversion of Organic Residues for Rural communities. Institute of Nutrition of Central América and Panamá, 13-15. nov. 1978.

097. SILVA, Normando Alves da. Manual técnico; construção e operação de biodigestor; modelo chinês. Brasília, Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural. Coordenadoria de Operações, 1981. 66 p. il.
098. SILVA, Normando Alves da. O biogás e o biofertilizante no balanço energético do Brasil. Revista DAE, São Paulo 44(136):22-9, mar. 1984.
099. SILVA, Valderi Vieira da & AZEVEDO, Joaquim Nazário de. Produção e Consumo de biogás a nível de fazenda. Teresina, EMBRAPA-UEPAE, 1981. 21 p. il. (Circular técnica, 1).
100. SILVA, Valderi V. da & AZEVEDO, Joaquim N. de. A produção e consumo de biogás. A Granja:34-8, maio, 1982.
101. SOARES, MÁRIO & JARDIM, Áttila. Aproveitamento de resíduos orgânicos para produção e utilização de biogás e fertilizantes. Goiânia, Núcleo de Pesquisas sobre Biogás da Secretaria da Agricultura do Estado de Goiás, 1980. 21 p. il.
102. SOUZA, Marcos Eduardo de. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. Revista DAE, São Paulo 44(137):88-94, jun. 1984.
103. SPEECE, Richard E. & McCARTY Perry L. Nutrient requirements and biological solids accumulation in anaerobic digestion. London, s. ed., 1962. 27 p. Trab. apres. ao 1º International Conference on water Pollution Research, London, July 1962.
104. TAIGANIDES, E. Paul, ed. Animal wastes. London, Applied Science Publishers, 1977. 429 p. il.
105. TECNOLOGIA alternativa; Programa de utilização do gás metano de esgotos como combustível para veículos na CEDAE. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro 22(4):472-3, out./dez. 1983.
106. TOMELIN, Honorato. Energia no campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BIOGÁS, I., Brasília, 23-26. mar. 1981. Anais. Brasília, Embrater, 1981. p. 129-38.
107. VAN BUREN, Ariane, ed. A chinese biogás manual. Trad. Michael Crook. Londres, Intermediate Technology, 1979. 135 p.

108. VAN VELSEN, A. F. M. & LETTINGA, G. Effect of feed composition on digester performance. In: ANAEROBIC digestion 1979. London, Applied Science, 1980. p. 113-30. Proceedings of the 1st. International Symposium on Anaerobic Digestion. Cardiff, Wales, sept. 1979.
109. VIEIRA, Sonia Maria Manso & SOUZA, Marcos Eduardo de. Métodos analíticos para o acompanhamento da biodigestão. Energia Fontes Alternativas, São Paulo, 3(15):26-36, jul./ago. 1981.
110. VOLKSWAGEN realiza pesquisas com motores movidos a biogás. Energia Fontes Alternativas, São Paulo, 3(15):4-5, jul./ago. 1981.
111. XU, Zeng Fu. Panorama geral do desenvolvimento do biogás na China. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BIOGÁS, I., Brasília, 23-26. mar. 1981. Anais. Brasília, Embrater, 1981. p. 25-32.
112. WHEATLEY, B. I. The gaseous products of Anaerobic digestion - Biogás. In: ANAEROBIC digestion 1979. London, Applied Science, 1980. p. 415-28. Proceedings of the 1st. International Anaerobic Digestion. Cardiff, Wales, sept. 1979.
113. ZEIKUS, J. G. Microbial populations in digesters. In: ANAEROBIC digestion 1979. London, Applied Science, 1980. p. 61-87. Proceedings of the 1st. International Symposium on Anaerobic Digestion. Cardiff, Wales, sept. 1979.



ANEXOS

ANEXO A

Dados coletados junto ao biodigestor

Tabela A.1 . Dados coletados junto ao biodigestor adaptado.

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)					Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	
25/4	7:00	69,097	51,3	57,7	25,0		23,0	20,0				
	15:00	75,312										
26/4	7:00		50,8	58,2	22,0		20,0	18,0				
	9:50	77,990										
27/4	7:00		50,5	58,5	24,0		20,0	17,0				
	10:45	81,918										
28/4	7:00		50,7	58,3	25,0		22,0	20,0				
	11:25	86,204										
29/4	7:00		50,8	58,2	25,0		23,0	21,0				
	10:45	89,593										
30/4	7:00		51,0	58,0	25,0		20,0	18,0				
	9:50	92,692										
01/5	7:00		50,7	58,3	25,0		21,0	18,0				
	10:40	96,614										
02/5	7:15		51,2	58,8	25,0		21,0	19,0				
	12:30	102,193										
03/5	7:00		51,0	58,0	24,0		20,0	18,0				
	10:45	106,147										
04/5	7:15		51,0	58,0	25,0		22,0	18,0				

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm. c. a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
04/5	10:30	110,318												
05/5	7:00		51,0	58,0	25,0		23,0	20,0						24h aberto
06/5	7:00	119,305												24h fechado
07/5	7:00		51,5	57,5	25,0		23,0	19,0						
07/5	16:25	124,486												
08/5	7:00		50,5	58,5	25,0		24,0	19,0						
08/5	11:00	128,129												
09/5	7:00		50,5	58,5	26,0		24,0	22,0						
	11:30	131,683												
10/5	7:00		50,5	58,0	26,0		24,0	20,0						
	11:30	135,678												
11/5	7:00		50,7	58,0	25,0		24,0	20,0						
	11:30	139,119												
12/5	6:30		51,0	57,5	25,0		23,0	20,0						24h aberto
13/5	7:00	149,423												24h aberto
14/5	7:00	158,729	50,5	58,0	25,0		21,0	20,0						24h fechado
15/5	7:00													24h fechado
16/5	7:30													24h aberto
17/5	7:00	168,640	52,0	57,5	25,0		20,0	18,0						24h aberto
06/6	8:00	195,487	50,7	57,3										

continua...



TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē	Gás	Pi so	Massa		
18/6	10:00	252,737												600 Kg sobre a campânula 24h aberto
	11:00	253,313												
	13:00	254,420												
	14:00	254,949												
	15:00	255,547												
16:00	256,172													
19/6	8:00	261,251	49,6	60,0										
20/6	8:00	261,251	48,5	61,3	23,0		23,0	16,0			58,8	71,7		
	11:00	266,663									21,3	48,5		
21/6	8:00		48,7	61,0	23,0		28,0	17,0			48,5	66,5		
	9:00	268,796												
	10:00	270,598									24,3	44,0		
22/6	8:00		48,5	61,1	23,0		27,0	17,0	17,0		53,0	67,5		
	10:00	274,235	48,7	60,6					25,0		27,5	50,0		
23/6	8:03		48,6	61,0	22,5		24,0	15,0	16,0		60,5	78,4	borbulhou	
	10:00	278,122	48,8	60,5					24,0		49,5	31,0	travado	
24/6	7:45		48,5	61,0	23,0		24,0	16,0	20,0		62,3	75,8	vazando gás	
	9:00	280,996												
	10:00	282,293												
	10:15	283,254	48,8	59,5					25,0		22,2	43,5		

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
25/6	8:00		48,7	60,8	22,0		26,0	17,0	17,0		51,2	69,0	carga → 10:00 travado
	10:00	286,824	48,6	61,5					22,0		24,7	48,5	
26/6	8:00		48,3	61,1	23,0	21,0	23,0	16,0	16,0		60,0	74,3	
	9:00	289,085							23,0				
	10:00	291,025							24,0				
27/6	10:06	291,240	48,9	60,0					24,0		23,3	45,5	borbulhando
	8:03		48,3	61,0	22,0	19,5	24,0	17,0	17,0		62,0	72,0	
	9:00	293,297							23,5				
	10:00	295,157							24,0				
28/6	10:15	295,640	48,7	60,3					24,5		23,5	44,0	borbulhando
	7:45		48,3	61,0	22,5	20,0	24,5	16,0	16,0		64,0	73,8	
	8:45	297,671	48,8	60,5					20,0				
	9:45	299,302	48,5	60,5					21,5				
29/6	10:25	300,499	48,5	60,5					23,0		22,5	45,5	borbulhando
	7:15		48,5	60,6	22,0	20,0	23,0	15,0	15,0		62,0	72,0	
	8:15	302,299	48,3	60,8					20,0				
	9:15	304,059	49,9	59,2					21,5				
30/6	9:55	305,250	49,0	60,1					20,0		23,5	60,1	borbulhando
	7:15		48,3	60,8	22,0	19,0	23,0	15,0	15,0		63,0	73,0	
	8:15	307,047	48,7	60,4					20,0		50,6	60,7	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
30/6	9:15	308,878	48,6	59,9					20,5		34,4	51,3	borbulhando
	10:00	310,229	48,7	60,3					21,0		23,0	43,5	
01/7	6:55		48,3	61,0	23,0	19,5	20,0	15,0	15,0		60,3	71,5	
	8:00	311,988	48,5	60,6					17,0		51,0	69,5	
	9:00	313,964	48,8	60,3					20,0		34,5	54,5	
02/7	9:50	315,428	48,0	60,0					22,0		22,0	43,0	
	7:15		48,2	61,0	23,0	19,0	23,0	16,0	16,0		62,3	71,8	
	8:15	317,110	48,4	60,5					21,5		48,2	71,5	
	9:15	318,964	48,5	60,5					20,0		36,0	56,5	
03/7	9:50	320,294	48,8	60,2	11,4				21,0		23,0	43,0	
	7:10		48,2	60,9	24,0	20,5	23,0	18,0	18,0		62,5	70,5	
	8:10	322,141	48,5	60,6					18,0		51,2	69,5	
	9:10	323,944	48,7	60,2					21,0		34,3	55,6	
04/7	10:05	325,337	49,6	59,5					22,5		23,0	50,1	
	7:00	325,337	49,2	60,7	23,5	19,0	23,0	18,0	19,0		62,3	71,8	
	8:00	326,969	48,4	60,4					20,0		47,5	71,8	
	10:00	330,117	48,6	60,2					21,0		22,0	37,8	
05/7	15:00		48,3	60,5					23,0		36,7	48,3	
	15:45	331,672	48,6	60,1					20,0		23,0	54,0	
	8:00		48,8	61,0	25,0	21,0	24,0	18,0	18,0		63,0	78,7	borbulhando continua...



TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
05/7	9:00	333,629	48,3	60,6					21,0		49,0	70,5	borbulhando
	10:00	335,459	48,3	60,5					23,0		32,0	50,0	
	10:40	336,629	48,5	60,3					24,5		23,0	42,6	
	15:00		48,6	60,1					24,5		30,5	47,0	
	15:25	337,717	49,1	59,7					25,0		23,0	43,9	
06/7	8:05		48,0	60,7	23,5	21,0	26,0	18,0	18,0		61,9	73,0	
	9:05	338,505	48,3	60,4					23,0		51,5	68,5	
	10:05	341,400	48,2	60,4					24,5		33,4	51,8	
	10:50	342,787	48,4	60,2					26,0		22,0	43,0	
	15:00		48,3	60,3					26,0		27,0	46,9	
07/7	15:12	343,690	48,5	60,2					27,0		23,0	43,5	
	8:00		48,0	60,6	23,0	22,0	28,0	17,5	19,0		60,0	71,5	
	9:00	345,550	48,1	60,5					21,0		51,0	67,4	
	10:00	347,430	48,4	60,2					24,0		33,0	53,5	
	10:35	348,585	48,3	60,2					24,0		23,0	42,5	
08/7	15:05		48,3	60,3					22,0		35,3	50,0	
	15:50	349,978	48,3	60,3					24,0		23,0	43,0	
	8:00		48,0	60,6	23,0	21,0	24,0	19,0	20,0		62,3	74,8	
	9:00	351,970	48,3	60,2					20,0		50,0	68,5	
	10:00	353,775	48,3	60,2					22,0		32,8	50,0	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
08/7	10:35	354,859	48,5	60,1					23,0		23,0	43,0		
	15:05		48,0	60,4					23,0		39,7	56,3		
	15:55	356,489	48,3	60,2					26,0		23,0	43,0		
09/7	8:00		48,9	60,8	23,0	22,0	24,0	18,0	18,0		63,2	73,0		
	9:00	358,477	48,1	60,4					20,0		51,8	68,0		
	10:00	360,128	48,2	60,3					22,5		37,0	53,0		
	10:35	361,148	48,2	60,2					23,0		23,0	43,0		
	16:00		48,1	60,3					22,0		99,5	55,3		
10/7	16:58	362,889	48,3	60,1					25,0		23,0	43,5		
	8:00		47,9	60,7	23,0		25,0	18,0	18,0		59,5	72,5		carga às 14h
	9:00	364,789	48,2	60,3					20,5		45,0	64,5		
	10:00	366,636	48,2	60,2					21,0		30,4	49,0		
	10:18	367,181	48,2	60,2					21,5		22,5	45,5		
	16:15	367,360	48,2	60,4					19,5		38,0	54,1		
11/7	17:03	368,794	48,3	60,2					19,0		23,0	43,5		
	8:00		47,9	60,7	23,0	22,0	25,0	18,0	18,0		59,5	72,5		
	9:00	370,600	48,1	60,5					18,0		54,0	70,5		
	10:00	372,465	48,2	60,3					21,0		33,6	53,4		
	10:40	373,623	48,4	60,1					21,0		23,0	45,0		
	16:00		48,4	60,2					22,0		39,2	55,8		

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
11/7	16:50	375,293	48,6	59,9					22,0		23,0	45,1	
12/7	8:00		48,0	60,5	23,0	21,0	24,0	17,0	17,0		59,5	73,2	
	9:00	377,238	48,2	60,3					19,0		46,0	65,2	
	10:00	379,026	48,3	60,3					21,0		31,3	51,5	
	10:26	379,705	48,5	60,0					21,5		23,0	46,8	
	16:00		48,4	60,1					23,0		32,5	51,9	
	16:40	381,399	48,3	60,1					23,0		23,0	45,0	
13/7	8:00		48,0	60,5	22,5	21,0	23,5	18,0	18,0		55,5	71,6	
	9:00	382,175	48,4	60,1					19,0		45,0	55,0	
	10:00	384,997	48,3	60,2					20,5		30,3	51,0	
	10:23	385,683	48,4	60,0					21,0		23,0	45,5	
	15:10		48,1	60,1					22,5		39,6	56,5	
	15:53	386,993	48,2	60,0					23,0		23,0	44,0	
14/7	7:50	386,993	47,9	60,3	23,0	21,0	24,0	18,0	19,0		60,0	73,8	
	8:50	388,967	48,2	60,0					20,0		48,0	66,3	
	9:50	390,750	48,2	60,0					20,0		31,5	49,0	
	10:25	391,681	48,4	59,9					21,0		23,0	44,0	
	15:50		48,0	60,2					19,0		39,0	53,5	
	16:40	393,242	48,2	60,0					20,0		23,0	43,0	
15/7	8:00		47,7	60,6	23,0	21,0	20,0	18,0	18,0		60,9	72,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperatura (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
15/7	9:00	395,197	48,0	60,2					20,0		49,7	68,5	
	10:00	396,958	48,0	60,2					22,0		34,5	53,5	
	10:35	397,989	48,3	60,0					21,0		23,0	43,5	
	17:10		48,2	60,0					22,0		43,8	57,3	
	18:20	399,850	48,1	60,0					21,0		23,0	44,0	
16/7	8:00		47,8	60,4	23,0	21,0	23,0	19,0	19,0		56,4	70,5	
	9:00	401,831	48,1	60,2					21,0		42,8	61,0	
	10:00	403,579	48,2	60,1					23,0		29,0	49,0	
	10:16	404,075	48,3	60,0					23,0		23,0	45,6	
	16:05	404,257	47,9	60,2					23,5		39,0	55,3	
	16:57	405,783	48,2	60,0					24,0		23,0	47,0	
17/7	8:00		47,7	60,3	23,0	22,0	24,0	18,0	18,0		58,0	71,8	
	10:00	409,346	48,1	60,1					21,5		33,5	54,8	
	10:38	410,438	48,4	59,9					23,0		23,0	45,1	
	16:15	410,642	47,9	60,1					23,5		34,5	55,5	
	17:00	411,951	48,1	59,9					24,0		23,0	46,0	
18/7	8:05		47,7	60,4	23,0	22,0	24,0	17,0	18,0		57,8	72,6	
	9:05	413,939	47,8	60,2					20,0		48,7	63,5	
	10:05	415,745	48,1	60,1					22,0		30,5	52,0	
	10:37	416,663	48,2	59,9					22,0		23,0	44,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
18/7	16:10		48,4	59,7					23,0		35,4	52,9	
	16:57	418,176	48,2	59,9					23,5		23,0	45,2	
19/7	8:00		47,7	60,4	24,0	22,0	24,0	16,0	16,0		56,3	70,5	
	9:00	419,959	47,9	60,2					20,0		45,0	63,3	
	10:00	421,799	48,1	60,1					21,0		28,8	50,0	
	10:22	422,449	48,2	60,0					21,0		23,0	46,7	
	16:10		48,2	59,9					22,0		40,7	57,0	
	17:10	424,264	48,5	59,0					22,0		23,0	45,7	
20/7	8:00		47,7	60,3	23,5	21,0	24,0	15,5	16,0		57,9	71,8	
	9:00	426,071	48,0	60,2					18,0		47,1	66,2	
	10:00	427,828	48,0	60,1					20,0		30,5	50,3	
	10:35	428,823	48,3	59,9					21,0		23,0	45,0	
	16:05		48,2	59,8					21,5		39,3	57,5	
	17:02	430,513	48,6	59,5					22,0		23,0	45,1	
21/7	8:00		47,7	60,3	23,5	22,0	23,0	16,0	16,0		56,8	72,5	
	9:00	432,294	47,9	60,0					19,5		44,7	61,0	
	10:00	434,131	47,8	60,0					21,5		29,5	47,0	
	10:10	434,568	48,0	59,9					22,0		23,0	43,5	
	16:45		48,7	60,0					21,5		46,5	63,0	
	18:06	436,926	48,0	59,9					23,0		23,0	44,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
22/7	8:00		47,7	60,3	22,5	21,0	23,0	16,0	16,0		54,6	64,6		
	9:00	438,710	47,9	60,3					17,0		39,5	56,3		
	9:56	440,332	48,0	60,0					18,0		23,0	43,5		
	16:00		47,9	60,0					15,0		40,0	61,5		
	16:58	442,053	48,0	60,0					17,0		23,0	45,5		
23/7	8:00		47,5	60,4	22,5	18,0	19,0	13,0	13,0		58,0	73,8		
	9:00	443,799	47,7	60,3					15,0		46,0	64,2		
	10:00	445,620	48,2	60,0					16,0		30,5	52,2		
	10:28	446,357	48,5	59,5					16,0		23,0	45,1		
	16:12		48,6	59,6					16,0		35,0	56,5		
24/7	17:00	447,905	48,3	59,3					16,0		23,0	45,2		
	8:00	447,905	47,5	60,3	23,0	18,0	15,0	13,5	14,0		57,8	75,6		lavagem do material para coleta com água quente
	9:10	450,360	47,8	60,2					16,5		41,2	60,1		
	10:10	451,986	48,0	60,0					17,0		25,0	47,1		
	10:20	452,429	48,0	60,0					17,0		23,0	44,5		
16:05		48,4	59,6					18,5		35,8	55,8			
25/7	16:53	453,721	48,7	59,3					20,0		23,0	45,5		
	8:00		47,5	60,3	22,0	20,5	20,0	14,0	15,5		54,5	71,8	carga + densa	
	9:00	455,538	47,7	60,2					17,0		40,8	58,5		
	10:00	457,220	47,7	60,2					20,0		27,1	46,0		
													continua...	

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm. c. a.)		Temperaturas (°C)					Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Mãx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso		Massa
25/7	10:20	457,753	47,8	60,1					20,0		23,0	45,3	
	16:00		47,5	60,1					21,0		35,8	56,4	
26/7	16:50	459,250	47,6	60,1					21,5		23,0	45,6	
	8:00		47,4	60,3	22,0	20,5	23,0	15,0	16,0		58,0	73,2	
26/7	9:00	460,920	47,7	60,0					18,0		46,5	62,0	
	10:00	462,834	47,8	60,0					19,5		29,4	50,1	
	10:27	463,610	47,8	60,0					19,5		23,0	45,6	
	16:00		47,7	60,1					19,0		33,5	53,2	
	16:35	464,880	47,8	60,0					20,0		23,0	45,7	
27/7	8:00		47,5	60,3	23,0	20,0	23,0	15,0	16,0		58,7	75,5	
	9:00	466,940	47,7	60,1					18,5		44,9	62,2	
	10:00	468,685	48,3	59,5					19,5		30,1	51,8	
	10:26	469,420	48,0	59,8					20,0		23,0	45,2	
	15:55		47,5	60,1					21,5		38,4	57,5	
28/7	16:44	470,982	47,8	59,9					22,0		23,0	45,4	
	7:55		47,3	60,2	22,0	21,0	23,0	17,0	18,0		55,3	72,0	
	8:55	472,843	47,5	60,0					19,0		40,9	60,9	
	9:55	474,748	47,5	60,0					20,0		28,5	44,5	
	10:08	475,153	47,8	60,0					20,0		23,0	42,5	
	16:00		47,8	59,8					20,0		37,5	59,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
28/7	16:50	476,594	47,3	60,4					21,0		23,0	43,5	
29/7	8:00		47,5	60,2	22,0	20,5	20,0	17,0	17,0		59,5	74,0	
	9:00	478,310	47,9	59,9					18,0		42,5	62,0	
	10:00	480,122	47,7	60,0					19,0		28,5	46,6	
	10:20	480,778	47,9	59,8					19,0		23,0	42,5	
	16:10		47,8	59,8					18,0		35,8	54,5	
	16:55	482,100	47,7	59,8					19,0		23,0	43,5	
30/7	8:00		47,3	60,3	22,0	20,5	19,0	15,0	16,0		60,5	77,3	
	9:00	483,936	47,5	60,0					17,5		45,0	62,3	
	10:00	485,755	47,7	60,0					19,0		28,1	51,2	
	10:23	486,423	47,8	59,9					19,0		23,0	44,5	
	16:00		47,6	60,0					20,0		38,3	59,7	
	16:53	488,034	47,8	59,9					20,5		23,0	45,3	
31/7	8:00		47,5	60,2	23,0	20,5	20,0	16,0	16,0		57,5	74,7	
	9:00	489,854	48,1	59,7					16,5		43,3	61,1	
	10:00	491,437	47,8	59,9					17,5		30,1	51,2	
	10:24	492,121	47,8	59,9					18,0		23,0	44,8	
	16:00		47,5	60,0					20,0		35,2	55,8	
	16:43	493,623	47,8	59,8					21,0		23,0	45,5	
01/8	8:00		47,2	60,3	23,0	21,0	20,0	14,0	14,5		60,0	76,2	

continua...



TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
01/8	9:00	495,390	47,5	59,9					18,0		48,1	65,6	
	10:00	497,145	47,7	59,9					19,0		29,4	51,5	
	10:25	497,864	47,8	59,8					19,5		23,0	45,1	
	15:55		47,5	59,9					21,5		35,5	57,3	
	16:40	499,291	47,8	59,7					23,0		23,0	45,1	
02/8	8:00		47,5	60,0	22,0	21,0	23,0	14,0	17,0		57,0	73,2	
	9:00	501,125	47,5	59,9					20,0		42,5	61,9	
	10:00	502,834	47,6	59,8					20,5		26,7	48,8	
	10:17	503,285	47,8	59,7					21,0		23,0	45,6	
	16:00	503,387	47,5	60,0					21,5		37,0	57,7	
03/8	16:51	504,893	47,8	59,7					21,5		23,0	44,6	
	8:00	504,893	47,2	60,0	22,0	20,0	19,5	18,0	18,0		53,0	74,0	choveu à noite
	9:00	506,726	47,3	60,0					19,0		35,6	54,6	gareando
	9:55	508,145	48,0	59,5					19,5		23,0	43,2	fechado 10 min
	15:55		47,4	60,1					17,5		35,2	56,3	para coleta gás
04/8	16:39	509,644	47,5	60,0					18,0		23,0	44,9	
	8:00		47,3	60,1	22,0	20,5	20,0	15,0	15,0		52,5	74,0	
	9:00	511,501	47,3	60,0					17,0		37,5	58,0	
	9:50	512,997	47,5	60,0					18,0		23,0	43,5	
	16:30		47,4	59,8					19,0		40,5	62,1	
													continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
04/8	17:20	514,628	47,3	59,9						21,0		23,0	43,1	
05/8	8:00		47,4	60,0	22,0	20,5	20,0	16,0		17,0				
	9:00	516,646	47,4	60,0						19,0		38,5	58,0	
	9:55	518,365	47,5	58,0						21,0		23,0	41,5	
	16:30		47,3	59,7						23,5		40,3	59,3	
	17:27	520,020	47,2	59,8						25,0		23,0	42,5	
06/8	8:00		47,2	60,0	22,0	21,0	27,0	17,5		18,0		53,5	70,5	impossível nivelar
	9:00	521,813	47,2	59,8						19,0		40,0	58,1	
	9:57	523,646	47,4	59,9						22,5		23,0	44,5	
	15:50		47,3	59,6						25,0		40,3	60,0	
	16:36	525,137	47,2	59,7						27,0		25,0	44,0	
07/8	8:00		47,2	59,9	23,0	22,0	27,5	18,5		19,0		54,8	74,0	colif. afl. → não realizado
	10:35	529,746	50,1	57,1						23,0		20,7	43,1	
	16:00	529,866	47,4	59,7						24,0		29,5	48,6	
	16:20	530,378	47,6	59,5						24,5		23,0	45,3	
08/8	8:00		47,3	59,8	22,0	21,5	24,0	19,0		19,0		52,5	71,8	
	9:00	532,290	47,3	59,9						21,0		37,5	57,4	
	9:55	533,996	47,5	59,7						21,5		23,0	45,3	
	15:50		47,4	59,6						25,5		40,5	62,3	
	16:46	535,793	47,4	59,5						27,0		23,0	44,0	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi ente	Gás	Piso	Massa	
09/8	8:00		47,2	59,8	22,0	22,0	27,0	18,0	20,0		56,7	74,0	
	9:00	537,707	47,5	59,5					22,5		40,2	59,8	
	10:00	539,563	47,5	59,5					23,5		25,0	45,9	
	10:09	539,769	47,5	59,5					23,5		22,5	43,4	
	15:25		47,6	59,4					25,0		36,5	57,4	
16:14	541,461	47,2	59,7					26,5		23,0	44,5		
10/8	8:00		47,3	59,6	22,5	22,0	27,5	18,5	19,0		52,4	70,8	
	9:00	543,414	47,2	59,7					23,0		39,5	57,4	
	10:00	545,140	47,4	59,5					24,0		23,0	45,7	
	15:45		47,0	59,8					25,0		41,0	62,5	
	16:45	546,964	47,6	59,7					28,0		25,0	46,4	
16:51	547,116	47,6	59,7					28,0		23,0	45,3		
11/8	8:00		47,0	59,9	23,0	22,5	27,0	18,0	18,0		54,4	73,0	
	9:00	548,986	47,0	59,9					22,0		40,0	64,0	
	10:00	550,795	47,2	59,6					24,0		27,0	46,0	
	10:05	550,960	47,2	59,6					24,0		23,0	44,0	
	16:30		47,2	59,5					25,0		40,7	59,6	
17:28	552,699	47,2	59,5					27,0		23,0	45,0		
12/8	8:00		47,0	59,9	23,0	22,0	27,5	19,0	19,0		48,3	68,7	
	9:00	554,556	47,1	59,8					21,0		35,0	57,0	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- ente	Gás	Piso	Massa		
12/8	9:57	556,227	47,1	59,7						24,0		23,0	44,0	
	16:30	556,227	47,0	59,6						24,0		43,1	60,1	
	17:43	558,398	47,2	60,2						24,5		23,0	46,2	
13/8	8:00		47,0	59,7	23,0	22,0	27,0	18,0	18,0			54,0	74,0	
	9:00	560,250	47,1	59,7						21,0		45,3	62,9	
	10:00	561,940	50,5	56,5						22,0				não nivelado
	10:05	562,062										41,2	63,2	
	16:05		47,2	59,4			33,0	23,0	23,0					
	17:05	564,007	47,2	59,5						24,0		25,0	49,5	
14/8	17:20	564,454	47,2	59,5						24,0		23,0	45,4	
	8:00	564,454	47,2	59,6	24,0	22,0	24,0	18,0	18,0			52,5	73,0	esterilizou mate- rial para coleta
	9:00	566,230	47,3	59,5						19,5		39,3	59,4	de amostras
	10:00	568,010	47,4	59,4						20,5		25,7	47,7	
	10:12	568,286	47,4	59,4						20,5		23,0	45,1	
	16:05		47,6	59,0						21,5		37,5	59,0	
	17:05	570,130	47,3	59,4						22,5		23,6	46,0	
	17:10	570,252	47,3	59,4						22,5		23,0	44,2	
15/8	8:00		47,3	59,6	22,0	21,5	24,0	17,0	17,0			53,0	71,5	
	9:00	572,321	47,2	59,5						19,0		38,5	58,6	
	9:55	573,830	47,3	59,5						19,5		23,0	43,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
16/8	8:00		47,7	60,0	23,0	21,0	19,5	16,0	16,0	16,0	60,0	79,8	borbulhando
	9:00	575,569	47,8	60,0					17,0	18,0	47,9	77,6	
	10:00	577,040	47,3	59,5					18,0	19,0	35,3	57,0	
	11:57	578,320	47,1	59,7					18,0	18,0	25,0	48,1	
	15:50		47,1	59,8					17,0		37,6	58,5	
	16:50	579,823	47,0	59,9					18,0	19,5	26,5	48,0	
17/8	17:10	580,255	47,0	59,9					18,0	19,5	23,0	45,3	
	8:00		46,6	60,1	22,0	19,5	19,0	15,0	15,0	15,0	54,4	71,5	
	9:00	581,657	46,2	60,1					17,0	18,0	45,6	63,2	
	10:00	583,075	47,0	59,8					18,0	19,5	31,8	52,5	
	10:45	584,104	46,9	59,9					18,0	19,5	23,0	45,0	
	16:05		47,5	59,3					18,0	19,5	35,3	56,1	
17:05	585,528	47,7	59,0	18,0					19,0	24,0	46,6		
18/8	17:10	585,631	47,0	59,8					18,0	19,0	23,0	44,8	
	8:00		46,5	60,2	22,0	20,5	19,0	15,0	15,0	15,5	55,3	72,5	
	9:00	587,281	46,7	60,2					17,5	18,0	42,9	61,0	
	10:00	588,730	46,7	60,0					18,0	19,0	30,2	49,0	
	10:30	589,470	46,8	59,9					19,0	19,5	23,0	44,0	
	16:22		46,8	59,9					17,5	18,0	39,5	58,3	
17:40	591,332	46,2	59,5	19,0					20,0	23,0	43,5		

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
19/8	8:00		46,8	60,0	22,0	19,0	19,0	15,0	15,0	15,0	52,0	69,7	
	9:00	592,926	46,0	59,7					17,0	17,5	38,8	59,8	
	10:00	594,322	46,0	59,6					18,0	20,0	30,8	48,0	
	10:35	595,121	47,5	60,0					19,0	20,5	23,0	45,5	
	16:45		46,7	60,0					18,0	19,0	39,8	57,8	
	17:45	596,500	46,7	60,0					19,5	20,0	27,2	47,4	
	18:00	596,940	46,8	60,0					20,0	20,5	23,0	43,5	
20/8	8:00		46,6	60,0	22,0	19,5	19,0	15,0	16,0	16,5	48,5	69,5	
	9:00	598,523	46,5	60,0					18,0	18,5	40,6	59,5	
	10:00	599,976	46,6	60,0					18,0	18,5	25,2	45,3	
	10:07	600,141	46,8	59,8					18,0	18,5	23,0	44,4	
	16:08		46,6	60,1					17,0	17,0	37,5	58,5	
	17:08	601,613	46,7	59,9					18,0	18,5	25,2	47,0	
21/8	17:17	601,811	46,7	59,9	22,0	20,0	18,0	15,0	18,0	18,5	23,0	45,2	
	8:00		46,5	60,2					16,0	16,0	56,4	75,7	
	10:00	604,907	46,6	60,0					19,0	21,0	35,3	55,2	
	10:55	606,150	46,6	59,9					20,0	21,0	23,0	44,7	
	16:00		46,7	59,9					19,0	20,5	32,6	55,6	
22/8	16:55	607,443	46,7	59,9	22,0	20,5	20,0	16,0	20,5	21,0	23,0	46,2	choveu continua...
	8:00		46,3	60,1					18,0	18,0	57,5	78,8	

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
22/8	9:00	608,995	46,4	60,0					19,0	19,5	51,5	69,5		
	10:00	610,417	46,5	60,0					20,0	21,0	32,2	54,6		
	10:52	611,618	46,6	59,9					20,5	21,5	23,0	44,5		
	15:50		46,5	60,0					19,5	20,0	34,4	55,2		
	16:52	613,222	46,7	59,8					20,5	21,0	23,8	45,7		
	17:00	613,356	46,7	59,8					20,5	21,0	23,0	44,0		
23/8	8:00	613,356	46,5	60,0	21,5	20,5	25,0	18,0	18,0	18,0	58,0	73,8		choveu
	9:05	614,952	46,5	60,0					18,5	19,0	42,6	62,0		
	10:05	616,400	46,5	60,0					20,0	21,0	27,8	50,5		
	10:35	617,106	46,6	59,9					20,5	21,0	22,5	43,4		
	15:55		46,6	59,9					20,5	21,5	31,1	52,6		
	16:32	618,045	46,7	59,8					22,0	22,0	23,0	44,5		
24/8	8:05		46,5	60,0	22,0	21,0	23,5	17,5	17,5	18,0	59,3	79,8	difícil nivelar	
	9:05	619,580	46,5	60,0					19,0	19,0	46,0	56,5		
	10:05	620,925	46,5	59,9					20,0	23,0	37,0	59,9		
	10:50	622,095	46,5	59,8					22,0	23,0	23,0	45,0		
	15:55		46,4	59,9					24,0	25,5	36,5	60,0		
	16:58	623,713	46,6	59,8					24,5	26,5	22,5	44,4		
25/8	8:00		46,5	59,9	23,0	21,0	24,0	18,0	18,0	18,5	54,5	75,7	difícil nivelar	
	9:00	625,388	46,5	59,8					19,0	19,0	42,3	62,3		

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
25/8	10:00	626,810	46,6	59,7					20,0	20,5	27,5	47,8	choveu	
	10:20	627,275	46,5	59,9					21,0	21,0	23,0	43,0		
	17:15		46,4	59,8					18,0	18,5	43,8	56,6		
	18:28	629,054	46,4	59,8					18,0	18,5	26,0	48,9		
26/8	8:00		46,5	60,0	22,0	21,0	20,0	13,5	13,5	12,0	51,5	74,0		
	9:00	630,570	46,5	60,0					14,0	14,0	43,5	63,8		
	10:00	632,054	46,6	60,0					14,0	14,0	29,5	50,0		
	10:25	632,614	46,6	60,0					15,5	15,0	23,0	43,5		
	15:35		46,6	59,9					14,0	14,5				
27/8	16:33	633,940	46,8	59,8					16,0	16,0	23,0	44,0		
	8:00		46,6	60,0	21,0	20,5	16,0	10,0	11,0	11,2	51,8	75,7		choveu
	9:00	635,470	46,6	60,0					12,5	13,0	49,5	69,8		
	10:00	636,881	46,6	60,0					13,5	15,0	30,0	51,1		
	10:45	637,922	46,9	59,8					14,5	16,5	21,6	42,4		
	15:00		46,7	59,8					14,5	14,5	37,2	61,8		
15:53	638,966	46,5	59,9					17,5	17,0	23,0	44,5			
28/8	8:00		46,5	60,0	21,5	18,5	15,0	11,0	12,5	13,0	52,0	73,2	continua...	
	9:00	640,466	46,5	60,0					14,0	15,0	39,7	60,5		
	10:00	641,884	46,8	59,7					15,5	17,0	29,2	50,1		
	10:33	642,535	47,0	59,5					16,0	17,0	23,0	44,1		



TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- ente	Gás	Piso	Massa		
28/8	15:55		46,6	59,9					16,0	17,0	33,6	55,5		
	16:41	643,629	46,7	59,8					17,0	17,5	23,0	44,7		
29/8	8:00		46,5	60,0	22,0	20,0	17,0	13,0	14,0	14,0	53,0	73,2		
	9:00	645,137	46,5	59,9					17,0	17,5	42,2	64,3		
	10:00	646,520	46,6	59,9					18,0	19,5	28,9	50,0		
	10:28	647,159	46,6	59,8					18,5	20,0	23,0	44,3		
	15:40		47,0	59,5					18,0	19,0	33,2	55,4		
30/8	16:30	648,383	46,6	59,8					19,0	20,5	22,0	44,2		
	8:00		46,4	59,9	21,0	21,0	19,0	16,0	16,0	16,0	51,2	72,4		difícil nivelar
	9:00	649,908	46,4	59,8					18,0	19,0	43,2	64,2		
	10:00	651,286	46,5	59,7					19,0	21,0	28,6	50,0		
	10:25	651,834	46,5	59,8					20,0	22,0	23,0	43,7		
	15:56		46,4	59,9					19,0	19,5	31,7	53,5		
16:36	652,859	46,5	59,7					19,5	20,0	23,0	44,7			
31/8	8:00		46,5	59,9	21,0	19,0	20,0	15,0	16,0	17,0	48,0	70,5		
	9:05	654,566	46,5	59,7					18,5	20,0	36,6	58,2		
	10:05	656,000	46,4	59,8					19,5	21,0	25,1	47,3		
	10:17	656,248	46,4	59,8					20,5	21,5	22,5	43,4		
	15:40		46,3	59,9					20,0	21,5	34,1	56,8		
	16:32	657,539	46,6	59,7					22,0	23,0	23,0	44,6		

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx..	Mín.	Ambi ente	Gás	Piso	Massa	
01/9	8:00		46,4	59,9	21,0	19,5	23,0	16,5	16,5	17,0	52,5	74,8	
	9:00	659,081	46,4	59,8					18,0	19,5	43,5	64,8	
	10:00	660,468	46,9	59,3					20,0	22,0	29,5	50,0	
	10:33	661,243	46,5	59,6					21,0	22,0	25,0	43,5	
	16:35		46,5	59,7					20,0	21,0			
	17:40	662,743	46,3	59,8					22,0	23,0	22,5	43,6	
02/9	8:00		46,3	59,9	22,0	21,0	23,0	17,0	27,0	17,5	52,0	74,0	
	9:00	664,290	46,5	59,7					20,0	21,0	42,0	64,0	
	10:00	665,688	46,5	59,7					21,0	22,0	28,5	52,5	
	10:26	666,297	46,5	59,7					21,5	23,0	23,0	44,0	
	16:15		46,3	59,7					21,0	23,0	37,8	59,7	
	17:35	668,018	46,4	59,8					23,0	24,0	23,0	44,0	
03/9	8:00		46,4	59,8	21,5	21,0	23,0	18,0	18,0	18,5	49,0	71,4	
	9:00	668,970	46,3	59,7					19,0	19,5	44,9	65,7	ficou desligado
	10:00	670,360	46,4	59,8					21,0	22,5	32,0	53,4	30 min.
	10:54	671,556	46,4	59,8					22,0	23,0	24,5	45,2	
	15:57		46,3	59,7					21,5	23,0	34,7	57,1	
	16:57	672,952	46,5	59,6					23,5	25,0	23,0	45,1	
04/9	8:00		46,2	59,3	22,0	21,0	24,0	17,0	18,0	18,5	52,8	73,5	
	9:00	674,418	46,2	59,8					19,5	20,5	40,2	60,8	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
04/9	10:05	675,886	46,3	59,7					22,5	24,0	29,1	50,0		
	10:34	676,535	46,0	59,2					23,0	24,5	23,0	43,7		
	15:22	676,704	46,4	59,5					23,0	25,5	39,6	61,0		
	16:33	678,183	46,4	59,8					24,0	26,0	22,0	44,7		
05/9	8:00		46,2	59,9	22,0	21,0	24,0	17,0	18,5	19,0	50,0	73,3		travado
	9:00	679,465	46,2	59,2					20,0	21,0	44,5	65,6		
	10:05	680,927	46,3	59,5					22,0	23,5	32,5	53,7		
	10:57	682,077	47,0	59,0					23,0	25,0	23,0	44,1		
06/9	16:20		46,2	59,5					24,0	25,0	39,3	62,3		difícil nivelamento
	17:15	683,295	46,4	59,4					24,5	26,0	23,0	44,4		
	8:00		46,3	59,6	22,0	22,0	24,0	18,0	18,0	18,5	53,5	76,7		
	9:00	684,825	46,3	59,6					20,0	20,5	46,5	67,1		
	10:00	686,144	46,3	59,5					21,0	22,0	30,0	51,2		
	10:35	687,019	46,4	59,4					22,0	23,0	23,0	44,0		
07/9	14:55		46,4	59,4					23,5	25,0	32,6	54,2	continua...	
	16:45	688,259	46,5	59,3					24,0	26,0	23,0	44,6		
	8:00		46,2	59,6	22,5	21,0	24,0	18,0	18,5	19,0	57,0	79,8		
	10:00	691,063	46,2	59,5					19,5	20,0	33,0	54,0		
	10:34	691,859	46,2	59,5					20,0	21,0	23,0	44,0		
	16:20		46,2	59,5					20,0	21,0	43,4	56,0		

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
07/9	17:55	693,969	46,2	59,5					21,5	22,0	23,0	45,0	
08/7	8:00		46,1	59,7	22,0	22,0	23,0	18,0	18,0	19,0	53,5	74,8	
	9:00	695,575	46,1	59,7					20,0	20,5	46,5	65,0	
	10:00	696,912	46,1	59,6					20,0	21,0	28,0	50,0	
	10:20	697,369	46,1	59,6					20,0	21,0	23,0	44,5	
	15:50		46,1	59,7					18,0	18,5	-	-	
	16:55	698,803	46,1	59,7					18,0	19,0	23,0	44,5	
09/9	8:00		46,1	59,8	22,0	20,0	20,0	16,0	16,0	16,5	52,0	74,8	
	9:00	700,415	46,1	59,8					17,0	17,5	44,6	66,5	
	10:00	701,804	46,1	59,7					18,5	19,5	29,5	50,0	
	10:34	702,638	46,2	59,5					19,0	20,0	23,0	44,0	
	16:35		46,3	59,3					18,0	19,0	34,2	58,3	
	18:45	704,227	46,2	59,6					19,5	20,0	23,0	43,2	
10/9	8:00		46,3	59,6	21,5	21,0	19,5	14,0	15,0	15,0	45,6	68,6	
	9:00	705,722	46,2	59,7					16,5	18,0	36,7	57,3	
	9:57	706,947	46,3	59,7					17,0	18,5	23,0	44,1	
	16:00		46,2	59,7					17,0	19,0	36,8	58,5	
	17:00	708,350	46,7	59,3					18,5	19,5	24,1	46,3	
11/9	17:10	708,496	46,7	59,3					18,5	19,5	23,0	44,2	
	8:00		46,7	59,2	22,0	19,0	18,5	14,0	14,0	14,5	52,0	72,5	
													continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
11/9	9:05	710,090	46,2	59,7					15,5	17,0	39,3	59,0	
	10:05	711,410	46,2	59,7					18,0	19,5	26,5	46,2	
	10:16	711,643	46,8	59,2					18,0	19,5	23,0	43,9	
	15:43		47,5	58,5					19,0	21,0	35,7	58,3	
	16:40	712,877	47,5	58,6					20,0	22,0	23,0	44,3	difficil nivelar
12/9	8:00		46,2	59,7	21,5	19,0	20,0	14,0	14,0	14,5	46,0	69,0	difficil nivelar
	9:00	714,480	46,2	59,7					17,0	19,0	38,5	58,2	
	10:05	715,950	46,2	59,7					19,0	21,0	24,5	45,3	
	10:17	716,140	46,5	59,4					19,0	21,0	23,0	44,1	
	15:20		46,2	59,7					21,5	24,0	35,3	47,5	
	16:20	717,495	46,0	59,7					23,0	25,0	23,0	46,3	
13/9	8:00	717,495	46,0	59,7	22,0	21,0	23,0	14,0	16,0	16,5	48,2	69,8	
	9:00	718,130	46,0	59,7					18,0	19,0	37,5	59,3	
	10:10	720,610	48,5	57,2					20,0	21,0			travado
	16:07		46,0	59,5					22,5	23,0	38,5	61,1	conserto do re
14/9	17:06	721,984	47,0	59,7					23,0	25,0	23,0	44,8	gistro
	8:00		46,0	59,6	22,0	21,0	23,5	17,0	18,0	18,0	43,5	69,7	
	10:00	724,817	46,0	59,5					21,0	22,5	24,5	46,1	
	10:15	725,128	46,0	59,5					21,0	22,5	23,0	43,8	
	16:43		46,0	59,5					23,0	24,5	37,5	58,8	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi ente	Gás	Piso	Massa	
14/9	10:45	726,625	46,0	59,5					22,5	23,5	23,0	44,1	
15/9	8:00		45,9	59,7	22,5	22,0	24,0	18,0	18,0	18,5	49,8	71,8	
	9:00	727,952	46,0	59,6					19,0	20,5	45,5	66,7	travado
	10:00	729,313	46,0	59,3					21,0	22,0	30,0	53,0	
	10:27	729,948	46,0	59,5					22,0	23,0	23,0	43,5	
	16:15		46,1	59,2					23,0	23,0	42,0	65,6	5h - 28°C (730932)
	17:50	732,055	46,2	59,0					26,0	28,0	23,0	45,0	
16/9	8:00		45,9	59,4	22,0	21,5	27,5	18,0	19,5	19,5	47,5	71,8	
	9:00	733,453	45,9	59,4					21,0	22,0	40,2	61,0	
	10:00	734,823	45,9	59,4					22,5	24,0	33,5	51,8	
	10:30	735,483	46,0	59,4					23,0	25,0	23,0	44,0	
	15:00		46,0	59,5					21,0	22,0			
	16:12	736,837	46,0	59,3					23,0	24,5	23,0	44,5	
17/9	8:00		45,9	59,5	22,0	21,0	23,5	17,0	17,0	18,5	57,0	72,3	fechado 1h até às 9 h
	9:00	737,490								20,0			
	10:05	739,010	46,0	59,5					20,5	22,0	42,5	64,3	
	10:50	740,109	46,2	59,2					21,5	23,0	32,3	53,7	
	15:54		46,0	59,5					21,0	22,5	48,2	70,2	
	16:55	741,580	46,2	59,0					22,0	23,0	30,9	54,0	
	17:37	742,521	46,1	59,1					22,0	23,0	23,0	44,1	
18/9	8:00		46,9	59,3	22,0	21,5	23,0	17,5	18,0	19,0	54,6	74,1	material para continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm.)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- entē	Gás	Piso	Massa	
18/9	9:00	744,116	46,3	59,2					19,0	20,0	49,0	69,0	análise → fervido
	10:00	745,510	46,3	59,2					21,0	23,0	35,8	57,1	
	10:53	746,564	46,3	59,0					22,0	24,0	26,4	45,6	
	16:05		46,4	58,8					22,5	24,5	40,2	61,8	
	17:05	747,793	46,7	58,5					23,5	25,0	27,0	50,2	
	17:22	748,245	46,8	58,4					23,5	25,0	23,0	44,2	
19/9	8:00		46,0	59,3	22,0	21,0	24,0	18,0	19,0	20,0	54,6	77,7	
	9:00	749,672	47,2	58,0					22,0	24,0	48,3	58,1	
	10:00	750,858	47,2	58,0					22,0	24,0	36,0	57,4	
	10:50	751,848	47,4	57,9					23,5	24,5	30,2	51,4	
	15:45		47,3	57,8					23,5	25,0	46,1	69,5	
	16:45	753,103	47,4	57,9					25,0	27,0	31,7	53,3	
20/9	17:36	754,081	47,4	57,9					25,0	27,0	26,7	47,3	
	7:25		46,5	59,5	22,0	21,0	24,0	19,0	21,0	21,0	53,0	74,0	
	8:25		46,4	58,7					21,0	22,0	45,2	65,4	
	9:25	756,751	46,5	58,8					21,0	21,0	34,5	66,3	
	10:25	758,120	46,5	58,5					23,0	24,0	24,6	45,7	
	10:35	758,301	46,5	58,5					23,0	24,5	23,0	43,3	
	15:00		46,5	58,5					20,0	21,0	37,0	57,0	
15:51	759,481	46,5	48,5					21,5	23,0	23,0	43,3		

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
21/9	7:30		46,3	58,9	22,0	21,5	24,5	18,0	18,0	58,5	56,8	77,8	travado
	8:30	760,739	46,5	58,8					18,0	19,0	50,0	74,8	
	9:30	762,060	46,4	58,7					19,0	20,0	36,9	56,5	
	10:30	763,276	46,5	58,6					19,5	20,5	28,2	48,0	
	10:55	763,780	46,8	58,4					19,5	21,0	23,0	44,2	
	15:12		46,5	58,5					20,0	22,5	37,0	58,1	
	16:20	765,141	46,5	58,5					22,0	24,0	26,7	47,8	
	16:43	765,590	46,5	58,5					22,0	24,0	23,0	44,0	
22/9	7:30		46,5	58,5	22,0	21,5	23,0	14,0	16,0	16,0	52,5	74,8	
	8:30	767,032	46,5	58,5					18,0	18,5	45,3	64,3	
	9:30	768,260	46,4	58,7					19,0	21,0	37,5	60,2	
	10:30	769,554	46,5	58,6					20,0	22,0	25,5	47,0	
	10:38	769,733	46,5	58,5					20,0	22,0	23,0	44,0	
	15:25		46,5	58,5					20,0	25,0			
	16:50	771,320	46,6	58,4					22,0	24,0	23,0	44,5	
23/9	7:30		46,1	58,5	23,0	22,0	23,0	16,0	16,0	17,0	49,5	76,7	
	8:35	772,821	46,8	58,4					18,5	19,5	42,7	64,0	
	9:30	773,951	46,8	58,4					20,0	21,0	34,0	56,0	
	10:27	775,148	46,8	58,3					21,5	23,0	25,0	43,5	
	16:13		46,8	58,3					21,0	22,5	47,5	70,2	

continua...



TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações				
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē	Gás	Piso	Massa					
23/9	17:13	776,436	46,5	58,0					23,5	24,5	38,4	51,5					
	18:00	777,240	47,0	58,0					23,5	25,0	23,0	43,8					
24/9	7:30		46,5	59,5	23,0		24,0	18,0	19,0	20,0	46,5	69,8	30min parado até 8:30 trocou H <sub>2</sub> O no ma nômetro				
	8:30	778,200												22,0			
	9:30																
	10:30	780,945	38,0	51,0										24,0	26,0	27,0	47,5
	10:47	781,304	38,1	50,8				24,0	26,0	23,0	43,9						
	15:05		38,8	50,5				24,0	25,0	38,0	61,9						
	16:05	782,727	38,9	51,7				26,0	28,5	23,0	44,4						
25/9	7:30		39,0	52,4	23,5		28,0	18,5	20,0	20,5	55,7	75,0	termômetro que brado				
	8:30	784,823	39,8	52,0										23,0	23,5	46,5	68,5
	9:30	785,550	39,7	52,4										23,0	25,0	31,5	53,1
	10:27	786,741	39,9	52,2										25,0	26,5	23,0	43,9
	15:50		39,7	52,3										26,5	18,0	38,3	60,8
	16:50		39,8	52,2				27,5	29,5	27,2	50,0						
	17:17	788,632	39,6	52,4				28,0	29,5	23,0	44,4						
26/9	7:30		39,3	52,7	23,0	22,5	28,0	20,0	21,5	22,0	55,5	76,8					
	8:30	789,986	39,3	52,7										23,0	23,5	49,8	69,8
	9:35	791,510	39,4	52,7										23,0	24,5	33,4	54,4
	10:28	792,679	39,5	52,7										24,0	25,0	23,0	43,2

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperatura (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
26/9	15:10		39,3	52,5					23,0	24,0	37,5	62,0	choveu
	16:49	794,889	39,6	52,6					24,0	23,0	19,9	41,0	
27/9	7:35		39,0	55,0	23,0	22,0	24,0	19,0	19,0	19,0	46,6	69,7	
	8:35	796,233	39,0	53,0					20,0	21,0	40,0	63,0	
	9:35	797,484	39,1	52,8					22,0	23,5	32,6	54,5	
	10:20	798,529	39,3	52,8					22,0	23,0	23,0	43,5	
	15:10		39,2	52,8					21,5	22,0	38,5	61,0	
	16:10	799,840	39,3	52,7					23,0	25,0	27,8	50,0	
28/9	16:31	800,309	39,3	52,7					23,0	25,0	23,0	44,0	
	7:30		39,0	52,0	23,5	22,0	23,5	18,0	18,0	18,0	54,6	71,7	
	8:30	801,820	39,2	52,8					19,0	20,0	47,8	67,4	
	9:30	803,000	39,2	52,8					19,0	20,0	41,1	60,0	
	10:33	804,005	39,3	52,8					19,5	20,5	28,7	48,0	
	10:55	804,438	39,3	52,8					20,0	21,0	25,6	45,7	
29/9	15:35		39,2	52,9					20,0	21,0	28,4	61,0	
	17:03	806,161	39,3	52,6					22,0	22,5	23,0	45,5	
	7:30		39,3	52,9	23,0		25,0	14,0	15,0	15,5	51,5	74,5	
	8:30	807,444	39,3	52,9					16,0	17,0	49,5	69,8	
	9:30	808,632	39,2	52,9					17,5	19,0	37,0	58,7	
	10:30	809758	39,3	52,8					18,5	20,0	30,5	53,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperatura (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Pico	Massa	
29/9	10:50	810,153	39,4	52,7					19,0	20,5	23,0	44,5	
	16:04		39,3	52,7					19,0	20,0	41,1	63,2	
	18:00	811,984	39,2	52,8					20,0	21,0	22,5	45,0	
30/9	7:30		39,4	52,8	22,5		20,0	14,0	15,0	16,0	47,0	71,8	
	8:30	813,329	39,5	52,5					17,0	18,0	41,5	61,8	
	9:30	814,605	39,4	52,6					18,5	19,5	30,5	52,8	
	10:10	815,178	39,5	52,5					19,0	20,0	23,0	44,0	
01/10	15:35		39,4	52,5					19,0	20,0	42,5	66,0	
	17:15	817,080	39,4	52,5					21,0	22,0	22,5	43,5	
	7:30		39,5	52,5	23,0	22,0	20,0	16,0	16,5	17,0	48,0	74,8	
	10:30	820,660	40,1	52,0					20,5	23,0	27,5	49,0	
	10:49	820,945	40,2	52,0					21,0	23,0	25,0	46,1	
	16:00		40,3	51,7					22,0	25,0	38,7	61,8	
	17:00	822,017	40,1	51,9					23,0	25,0	30,1	53,9	
02/10	17:36	822,548	40,2	51,8					23,0	24,5	23,0	44,6	
	7:30		39,5	52,5	23,0	22,0	24,0	28,0	18,0	18,0	46,0	69,0	
	8:30	823,667	39,3	52,5					19,0	20,5	44,7	66,0	
	9:30	824,875	39,5	52,5					20,5	23,0	32,6	53,9	
	10:30	825,965	39,8	52,3					21,5	23,5	25,5	48,5	
	10:55	826,400	40,0	52,1					22,0	24,0	23,0	44,1	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperatura (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
02/10	14:55		39,9	52,1					23,5	25,5	40,4	62,1	
	15:55	827,550	40,0	51,9					25,5	28,0	27,8	50,4	
	16:20	828,006	40,2	51,7					25,5	28,0	23,0	44,0	
03/10	7:30		39,1	52,6	23,0	22,5	24,5	18,0	20,0	20,5	53,5	74,6	
	8:30	829,170	39,2	52,5					21,0	22,0	46,2	67,4	
	9:30	830,270	39,3	52,7					23,0	24,5	39,8	61,1	
	10:35	831,355	39,3	52,5					24,0	26,0	34,3	56,5	
	10:55	831,715	39,3	52,5					25,0	26,5	29,4	51,0	
	14:57		39,3	52,5					26,0	29,0	41,7	63,3	
	16:10	833,130	39,5	52,3					27,0	29,5	30,3	52,7	
	16:57	834,017	39,5	52,3					27,0	29,0	21,5	43,5	
04/10	7:30		38,9	52,7	23,0	23,0	28,0	20,0	21,0	21,5	51,5	72,5	
	8:30	835,318	39,4	52,4					23,0	24,0	45,4	67,1	
	9:35	836,623	39,2	52,5					25,0	27,0	32,5	54,4	
	10:37	837,850	39,2	52,5					26,0	28,5	24,5	46,0	
	10:54	838,151	39,3	52,5					26,5	29,0	23,0	43,5	
	15:11		39,0	52,7					27,0	30,0	36,3	57,8	
	16:13	839,338	39,0	52,7					29,0	31,5	26,7	59,8	
	16:40	839,838	39,0	52,7					29,0	31,5	23,0	44,5	
05/10	7:35		38,7	52,7	23,5	23,5	28,5	19,0	22,0	23,0	52,6	75,6	35min desligado continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- entē	Gás	Piso	Massa	
05/10	8:35	840,528	38,1	52,4					24,0	25,0	50,5	69,1	
	9:45	841,950	39,0	52,6					26,0	28,5	41,0	62,2	
	10:45	843,208	39,0	52,6					28,0	29,5	31,2	53,3	
	10:55	843,395	39,0	52,6					28,0	29,5	30,5	52,7	
	15:22		39,0	52,6					27,0	29,0	47,0	70,2	
	16:34	844,924	38,9	52,7					29,0	31,0	36,0	59,6	
06/10	17:35	846,228	39,0	52,5					28,0	29,5	23,0	44,0	
	7:35		38,7	52,8	24,0	23,0	29,0	22,0	23,0	23,0	54,4	77,2	
	8:35	847,515	38,9	52,6					25,0	27,0	49,3	70,4	
	9:35	848,682	38,9	52,6					27,0	29,0	41,4	60,3	
	10:35	849,915	38,8	52,5					28,0	30,0	31,2	52,8	
	11:45	851,248	38,7	52,4					28,0	30,5	23,0	45,1	
07/10	15:10		39,0	52,5					26,5	27,0			
	16:15	852,539	39,0	52,5					25,0	26,0	23,0	44,0	
	7:30		38,9	52,7	24,5	24,0	28,0	21,0	22,0	22,0	54,5	77,8	
	8:30	853,822	38,7	52,8					22,5	23,0	51,5	69,7	
	9:30	854,820	38,8	52,8					23,5	24,5	47,0	67,6	
	10:30	855,877	39,0	52,5					24,0	25,5	39,0	61,0	troca do filtro - 5 min
11:30	857,126	39,1	52,3					25,0	26,5	28,5	50,0		
12:12	858,012	39,4	52,1					25,0	27,0	23,0	44,2		

continua ...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi ente	Gás	Piso	Massa		
07/10	16:15		39,2	52,2					24,0	24,6				
	17:08	859,024	39,2	52,2					24,0	25,0	23,0	45,0		
08/10	7:30		39,0	52,4	24,0	23,5	24,0	20,0	21,0	22,0	57,4	85,0	vazando gás -	
	8:30	860,375	39,3	52,0					23,0	24,0	54,4	73,8	"bastante"	
	9:30	861,640	39,6	51,7					24,0	26,0	46,5	66,8		
	10:37	862,780	40,5	51,5					25,0	27,0	34,5	55,6		
	10:55	863,117	40,0	51,5					25,0	27,0	33,7	53,4		
	14:25		40,0	51,5					25,0	26,5	45,0	64,5		
	15:25	864,362	40,0	51,5					26,0	28,0	36,2	57,5		
	16:20	865,494	40,0	51,5					25,0	27,0	27,5	48,5		
	16:55	865,928	40,2	51,3					25,0	26,5	23,0	43,9		
09/10	7:35		39,2	51,2	24,0	23,5	28,0	22,0	22,0	22,0	55,5	78,8		
	8:35	867,221	39,3	51,1					23,0	23,0	47,5	68,7		
	10:36	869,646	39,3	52,3					24,0	24,0	27,8	50,0		
	10:56	870,018	39,3	52,3					23,0	24,0	23,0	43,5		
	14:55		39,1	52,4					24,0	24,0	38,3	58,6		
	15:55	871,359	39,3	52,2					24,5	26,0	30,3	51,5		
	16:37	872,135	39,3	52,2					24,5	26,0	23,0	44,0		
10/10	7:30		39,1	52,3	25,0	23,5	24,5	21,0	21,0	21,0	59,5	80,5	vazando gás -	
	8:30	873,490	39,2	52,2					23,0	24,5	53,0	72,0	"bastante"	
													continua...	

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
10/10	9:30	874,643	39,1	52,2					24,0	28,0	47,2	65,6	
	10:30	875,816	40,0	51,5					24,5	26,0	37,7	57,5	
	10:55	876,228	40,0	51,5					24,5	26,0	34,0	57,2	
	14:15		40,2	51,2					25,0	26,5	42,7	65,0	
	15:33	877,861	39,7	51,7					26,0	27,5	32,4	54,5	
	16:30	878,861	40,0	51,5					25,0	27,0	23,0	44,5	
11/10	7:30		39,2	52,2	25,0	23,5	26,0	21,0	21,0	21,0	58,5	78,5	
	8:30	880,294	39,3	52,0					22,0	22,5	47,0	69,8	
	9:40	881,610	40,0	51,5					23,5	25,0	38,5	58,5	
	10:40	882,690	40,0	51,5					24,0	25,5	30,8	51,5	
	10:55	882,954	40,1	51,4					24,0	25,5	29,8	51,0	
	13:40		40,0	51,5					24,0	25,5	39,7	58,7	
	14:40	884,190	40,5	51,0					25,0	29,0	32,6	53,0	
	15:40	885,140	41,0	50,0					25,0	28,0	26,0	47,0	
12/10	16:00	885,467	40,5	50,6					25,0	27,0	23,0	43,9	
	7:30		39,2	52,2	24,5	23,0	24,0	18,0	19,0	19,5	55,3	74,7	
	8:30	886,842	39,5	52,0					21,0	22,0	49,5	63,0	
	9:30	887,981	39,7	51,6					22,0	24,0	42,0	69,5	
	10:30	889,093	39,7	51,6					23,0	24,5	34,6	54,5	
	11:30	890,153	39,2	51,1					24,0	25,0	27,5	47,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (°C)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
12/10	12:35	891,174	39,2	51,0					24,0	27,0	23,0	43,5	travado
	16:20		39,5	51,6					23,5	25,0	35,3	56,3	
	17:20	892,253	39,3	51,8					25,0	26,0	26,2	46,5	
13/10	17:40	892,611	39,2	51,7					25,0	26,0	21,3	43,0	
	7:30		39,0	52,4	25,0	23,0	24,0	18,5	20,0	20,5	48,5	69,8	
	8:30	893,998	39,0	52,2					21,0	23,0	45,5	64,0	
	9:30	895,197	39,2	52,1					23,0	24,0	35,5	56,3	
	10:30	896,366	39,3	52,0					23,5	25,0	27,5	47,5	
	11:00	896,958	39,4	51,9					24,0	25,0	23,0	43,0	
	16:30		39,6	51,5					24,0	26,0	43,5	64,0	
14/10	17:30	898,100	39,5	51,6					25,0	27,5	33,4	56,3	
	18:15	899,035	39,4	51,7					25,0	25,0	23,0	43,5	
	7:30		39,0	52,2	25,0	24,0	24,0	19,0	21,0	21,5	49,5	70,5	
	8:30	900,428	39,1	52,1					23,0	25,0	45,5	66,5	
	9:30	901,808	39,2	52,0					25,0	26,0	41,0	59,7	
	10:30	902,827	39,4	51,8					25,5	27,0	31,0	51,0	
	11:32	904,056	39,5	51,5					26,0	28,0	23,0	43,0	
	15:55		39,7	51,4					25,0	27,0	37,3	55,7	
	16:55	905,240	39,7	51,4					27,0	29,0	27,0	48,4	
	17:15	905,645	39,8	51,3					28,0	29,0	23,0	45,3	

continua...



TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (°C)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
15/10	7:30		39,6	51,4	25,0		28,0	21,5	21,6	21,0	52,6	71,4	vazou a carga toda durante a noite
	8:30	906,972	39,9	51,2					22,0	23,0	46,0	56,6	
	9:30	908,169	40,1	51,2					23,0	24,0	38,5	58,4	
	10:35	909,240	41,5	49,8					23,5	24,5	29,5	50,0	
	10:50	909,558	40,2	51,0					24,0	25,0	28,0	48,0	
	15:10		39,8	51,5					23,0	24,0	44,0	63,0	
	16:10	910,762	39,3	52,0					23,5	24,5	33,7	52,0	
	17:10	911,887	39,4	51,9					23,0	24,0	23,0	44,0	
16/10	7:30		38,9	52,4	25,0		24,0	21,0	21,0	21,5	61,0	80,5	
	8:30	913,155	39,1	52,0					23,0	24,5	56,5	74,7	
	9:35	914,500	39,1	51,8					24,0	26,0	47,5	67,7	
	10:35	915,720	39,3	52,0					25,0	27,0	33,5	54,4	
	10:50	916,037	39,4	51,9					25,0	27,0	32,5	53,0	
	13:30		39,1	52,0					25,0	26,0	45,5	64,0	
	14:30	917,297	39,3	51,7					27,0	29,0	31,5	55,0	
15:22	918,242	39,5	51,5					27,0	28,5	23,0	45,0		
17/10	7:30		38,8	52,3	25,0		27,0	23,0	23,0	23,0	57,5	76,5	
	8:30	919,560	39,1	52,0					24,0	26,0	52,0	69,9	
	10:30	921,664	39,7	51,3					26,0	28,0	36,5	57,4	
	10:45	921,943	39,7	51,3					26,0	28,0	35,5	53,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Mãx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
17/10	14:00		40,0	51,0					27,0	28,0	51,5	71,7	choveu
	16:00	924,068	40,3	50,7					28,5	30,5	32,0	54,2	
	17:00	925,032	39,5	51,5					28,5	30,0	26,0	49,9	
	17:15	925,233	39,5	51,5					28,0	29,5	23,0	46,0	
18/10	7:30		39,6	51,4	25,5	24,0	29,0	23,0	23,0	23,5	55,3	76,6	
	8:30	926,471	39,9	51,0					23,5	24,0	49,4	69,6	
	9:40	927,790	40,0	51,0					23,0	23,5	34,5	55,5	
	10:30	928,730	39,9	51,1					23,5	24,0	30,0	52,0	
	10:45	929,054	39,9	51,1					24,0	24,5	29,0	48,9	
	14:20		40,2	50,8					23,0	23,5	45,5	65,5	
	15:20	930,146	40,1	50,8					23,0	24,0	38,3	58,5	
	16:20	931,280	40,0	51,0					24,0	25,0	25,7	46,5	
16:45	931,725	40,0	51,0					24,0	25,0	23,0	44,0		
19/10	7:30		39,1	51,9	25,0	24,0	24,0	20,0	20,0	20,0	56,8	77,5	choveu
	8:30	933,190	39,8	51,2					21,0	21,5	47,1	68,6	15 min desligado
	9:40	933,960	39,7	51,3					21,0	22,0	45,5	66,0	
	10:40	934,987	40,9	50,1					21,5	22,0	36,0	53,3	
	13:40		40,0	51,3					20,0	20,5	47,7	67,8	
	14:40	936,063	40,0	51,2					21,0	22,0	40,0	51,5	
	15:40	937,016	40,0	51,2					21,0	21,5	33,5	55,0	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm. c. a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações		
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē	Gás	Piso	Massa			
19/10	16:40	937,055	40,0	51,2						21,0	21,0	23,0	44,0		
20/10	7:30		39,1	52,0	25,0	23,0	23,0	17,5	17,5	18,0	56,8	77,8			
	8:30	939,320	39,7	51,2					19,0	20,0	53,3	73,3			
	9:30	940,278	39,2	51,8					20,0	21,5	46,5	69,0			
	10:30	941,280	39,4	51,6					20,0	22,0	38,5	51,0			
	11:30	942,371	39,6	51,5					20,0	22,0	32,5	52,0			
	16:15		38,4	52,2					19,0	21,0					
	17:03	944,784	39,5	51,5					22,0	23,0	23,0	45,0			
21/10	7:30		39,0	52,1	24,5	22,0	23,0	18,0	19,0	20,0	54,5	78,2			
	8:30	946,045	39,2	51,8					21,0	22,0	46,5	67,5			
	9:30	947,100	39,2	51,7					23,0	25,0	42,5	63,5			
	10:30	948,182	40,3	50,6					24,0	26,0	33,5	54,8			
	11:30	949,184	39,9	50,1					24,0	26,0	30,5	49,0			
	15:30		39,5	51,3					23,0	24,0	44,4	64,2			
	16:30	950,270	39,4	51,4					25,0	27,0	34,1	55,5			
22/10	17:30	951,266	39,4	51,4					25,0	27,0	24,3	45,0			
	17:35	951,360	39,4	51,4					25,0	27,0	23,0	43,5			
	7:30		39,5	52,5	24,5		24,0	19,0	21,5	22,0	54,5	73,3			
	8:30	952,750	39,6	51,4					23,0	24,5	42,7	64,3			
	9:30	953,748	39,0	52,0					24,0	25,0	36,5	58,3			

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
22/10	10:30	954,812	39,1	51,9						25,0	26,0	31,3	51,5	
	10:45	955,084	39,1	51,9						25,0	26,0	29,5	49,5	
	14:05		39,7	51,0						25,0	26,5	46,5	77,3	
	16:35	957,603	39,5	51,5						27,0	28,5	23,0	43,0	
23/10	7:30		38,7	52,2	25,0	24,0	27,0	22,0	22,0	23,0	54,0	75,8		
	8:30	958,983	39,5	51,3						23,5	25,0	45,4	68,8	
	10:45	961,245	39,0	52,0						26,0	28,0	30,0	50,5	
	16:05		38,5	52,3						26,0	28,0	47,5	65,0	
24/10	17:15	962,756	38,5	52,3						27,0	29,0	36,0	57,5	
	7:30		39,6	52,2	25,0	24,0	27,5	22,0	22,0	22,0	58,8	78,0		borbulhando
	8:30	963,940	39,5	51,3						23,0	24,0	53,0	72,5	
	9:30	965,000	38,8	52,2						24,0	25,5	47,5	56,0	
	10:30	966,125	39,1	51,7						25,0	27,0	40,5	60,0	
	10:45	966,398	40,3	50,5						25,0	27,5	38,0	56,0	
	13:45		39,0	51,6						25,0	27,0	48,7	69,0	
	14:45	967,424	40,5	51,3						26,0	28,0	41,0	61,5	
	15:45	968,321	39,4	50,2						26,5	28,0	33,0	56,3	
	16:45	969,120	39,9	51,0						25,0	26,0	26,5	47,3	
25/10	17:06	969,420	39,9	51,0						25,0	26,0	23,0	43,9	
	7:30		39,6	51,1	25,0	24,0	28,0	21,5	22,0	22,5	56,2	76,5		continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
25/10	8:30	970,680	40,1	50,6					23,0	24,0	52,4	71,1	borbulhando - "muito"
	9:30	971,740	39,4	51,2					24,0	25,0	43,5	63,5	
	10:30	972,884	39,8	52,0					24,0	25,5	33,5	54,0	
	10:45	973,190	40,2	51,6					24,0	26,0	32,5	53,0	
	13:30		39,0	51,6					25,0	26,0	46,5	66,7	
	14:30	974,350	39,5	51,2					26,6	28,0	38,7	59,5	
	16:10	976,107	39,9	50,9					27,0	28,5	23,0	45,0	
26/10	7:30		38,5	51,8	25,0	24,0	28,0	22,0	22,5	23,0	57,4	79,6	
	8:30	977,375	38,8	51,8					24,0	26,0	52,5	73,3	
	9:30	978,603	39,0	51,8					25,0	26,5	41,4	59,5	
	10:33	979,788	39,1	51,7					25,0	27,0	34,2	54,0	
	13:30		39,0	51,5					24,0	26,0	47,5	69,8	
	14:30	980,938	46,0	50,5					25,0	27,5	43,6	66,0	
	15:30	981,806	40,5	50,5					26,0	27,5	33,5	54,0	
	16:30	981,980	40,5	50,0					26,0	28,0	27,4	50,2	
	16:57	982,126	40,5	50,0					26,0	28,0	23,0	45,0	
27/10	7:30	982,126	39,6	50,9	25,0	24,0	28,0	26,5	21,5	22,0	56,8	73,9	
	8:30	984,357	40,0	50,5					23,0	24,0	52,4	70,8	
	9:30	985,504	38,8	51,7					24,5	26,0	44,1	64,8	
	10:30	986,983	38,5	51,4					25,0	27,0	35,7	56,3	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm. c. a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- entē	Gás	Piso	Massa	
27/10	11:30	987,783	38,6	51,3					26,0	28,0	30,2	48,4	
	12:25	988,829	38,3	51,9					26,0	28,0	23,0	45,0	
	15:30		38,3	51,9					26,0	28,0	34,0	52,4	
	16:30	990,133	38,7	51,5					27,0	29,0	24,4	45,7	
	16:35	990,216	38,7	51,5					27,0	29,0	22,5	44,0	
28/10	7:30		38,2	52,3	25,0	24,5	28,0	22,0	22,0	22,5	57,0	76,2	
	8:30	991,360	39,6	50,6					24,0	25,0	55,2	72,4	
	9:30	992,313	40,3	50,2					25,0	27,0	47,3	63,4	
	10:35	993,505	38,8	51,6					26,0	28,0	41,1	63,2	
	11:30	994,500	38,8	51,5					27,0	29,0	36,4	57,0	
	12:30	995,677	39,0	51,3					27,5	30,0	28,3	49,4	
	13:05	996,323	38,6	51,7					27,5	30,0	23,0	44,5	
	16:00		38,5	51,8					27,0	29,0	32,1	50,0	
	16:30	996,992	38,5	51,8					28,0	30,0	27,5	47,5	
	17:00	997,542	38,4	51,7					28,0	30,0	23,0	44,0	
29/10	7:30		39,3	52,0	25,5	25,0	28,0	22,0	23,5	24,0	56,2	75,0	
	8:30	999,014	38,6	51,8					26,0	28,0	49,7	69,5	
	10:30	1001,222	38,5	51,8					28,0	30,0	56,0	56,0	
	13:20		39,5	50,7					27,0	29,0	49,5	75,0	
	15:20	1001,384	40,2	50,3					29,5	32,0	35,0	58,0	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
29/10	16:39	1004,714	39,1	51,4						29,5	31,5	23,0	45,0	
30/10	7:30		39,9	50,4	26,0	25,0	28,5	22,0	23,5	24,0	61,0	77,4		
	9:30	1006,481	41,5	49,2										
	10:30	1007,360	39,9	51,6										
	13:25		39,7	51,8										
	14:25	1008,480	40,6	49,8										
	15:25	1008,354	40,2	50,2										
31/10	17:25	1010,797	39,9	50,5	26,0	25,5	29,0	23,0	28,5	30,0	34,7	56,5		
	7:30		38,3	51,8										
	8:30	1012,032	40,5	49,6										
	10:30	1013,690	42,2	48,3										
	13:10		38,6	51,6										
	16:10	1016,516	40,7	49,6										
	17:10	1017,460	39,9	49,5										
	17:30	1017,760	41,0	49,4										
01/11	7:30		39,4	50,7	26,0	25,0	25,0	22,0	22,0	22,0	62,5	77,5		
	9:30	1020,160	39,3	51,0										
	10:50	1021,460	40,5	49,8										
	13:34		41,3	49,0										
	17:45	1024,927												

continua...

TABELA A.1. continua

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
02/11	7:30		38,1	52,1	26,0	25,0	28,0	24,0	24,0	26,5	60,8	75,0	
	8:30	1026,058	38,5	51,2					25,0	26,0	56,2	73,8	
	9:30	1027,128	39,4	50,6					26,0	28,0	46,5	66,5	
	10:30	1027,998	39,5	51,5					27,0	28,5	44,5	63,5	
	12:55	1030,151	40,3	50,0					29,0	31,0	35,5	56,5	
	15:45		40,4	49,7					27,5	29,0	46,2	65,5	
	16:45	1031,108	38,4	51,7					29,0	30,0	38,0	60,7	
	17:45	1032,189	38,4	51,7					29,0	30,0	29,0	53,8	
	18:30	1033,035	38,5	51,6					27,0	28,0	23,0	49,5	
03/11	7:30		38,9	50,4	26,0	25,5	28,0	23,0	24,0	24,5	54,5	68,5	
	8:30	1034,298	38,5	51,8					26,0	27,0	52,0	66,5	
	9:50	1035,374	40,1	50,0					27,0	28,5	41,0	62,0	
	10:30	1036,264	38,5	51,7					28,0	29,0	38,3	58,5	
	12:30	1038,445	38,5	51,7					31,0	32,0	28,0	53,5	
	13:25	1039,384	39,2	50,9					31,0	32,0	23,0	50,0	
	16:00		39,9	50,3					29,0	29,5	30,0	49,5	
16:55	1040,388	38,5	51,5					31,0	32,0	28,0	47,5		
04/11	7:30		30,9	41,9	26,5		33,0	23,0	24,5	25,0	57,5	70,5	troca de água do manômetro
	8:30	1041,759	29,7	43,2					25,0	26,0	50,5	68,5	
	9:30	1042,894	29,8	43,0					26,5	27,5	43,0	63,0	

continua...



TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manómetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
04/11	10:30	1044,043	29,8	43,0					28,0	29,0	37,5	59,3	
	12:30	1046,233	30,0	46,6					30,0	31,0	26,5	50,0	
	15:30		30,7	42,0					28,0	30,0	40,3	55,7	
	16:30	1047,333	30,6	42,1					30,0	31,0	30,5	50,0	
	17:15	1048,139	30,7	42,0					28,0	29,0	23,0	47,3	
05/11	7:30		29,7	43,2	27,0	25,5	30,0	23,0	24,0	24,5	58,0	78,0	
	8:30	1049,653	30,3	42,6					26,0	27,0	53,4	70,4	
	10:30	1051,806	30,2	42,7					27,5	28,5	40,5	59,5	
06/11	13:28	1054,866	31,4	41,3					29,0	30,5	23,0	50,0	
	7:15		30,1	43,0	27,0	26,5	29,0	23,0	23,0	23,5	64,0	77,8	
	8:15	1056,368	30,3	42,8					25,0	26,0	59,3	77,5	
	10:15	1058,506	30,1	43,0					28,0	28,5	42,8	53,0	
	13:15	1061,564	31,0	42,0					28,5	30,0	25,0	53,0	
07/11	13:35	1061,010	31,3	41,8					29,0	30,0	23,0	50,0	
	7:15		29,9	43,5	27,0	26,0	29,0	23,0	23,5	24,0	62,5	78,0	
	8:15	1063,194	30,2	43,2					24,0	25,0	58,5	76,5	
	10:15	1065,422	30,7	42,2					26,0	27,0	44,5	63,0	
	13:15	1068,620	30,5	42,8					28,0	29,0	27,5	48,0	
08/11	13:43	1068,927	30,8	42,7					28,0	29,0	23,0	47,5	
	7:15		35,0	43,7	27,5	26,0	28,0	22,0	24,0	24,0	62,5	75,0	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm. c. a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- entē	Gás	Piso	Massa	
08/11	8:15	1070,110	30,5	43,4					25,0	26,0	60,0	77,2	
	9:15	1071,299	31,1	42,8					25,0	26,0	52,7	72,5	
	10:15	1072,351	30,4	43,4					27,0	28,0	44,5	64,0	
	13:15	1075,489	30,7	43,0					29,0	30,5	30,0	53,5	
	14:05	1076,431	31,3	42,4					29,5	31,0	23,0	49,0	
09/11	7:25		30,6	43,6	27,0	25,0	29,0	22,0	24,0	24,0	62,4	76,5	vazou 10cm da car- ga
	8:25	1077,394	31,2	43,0					25,0	26,0	62,2	76,4	
	9:25	1078,220	32,6	41,6					27,0	28,0	59,2	75,5	
	10:25	1079,022	33,7	40,3					29,0	30,5	55,3	74,0	
	13:25	1082,257	30,5	42,6					32,0	33,5	39,5	56,5	
	14:25	1083,343	30,5	42,7					32,0	33,5	29,5	54,5	
	15:15	1084,350	30,7	43,4					32,0	33,5	22,5	49,5	
10/11	7:15		30,0	44,3	27,0	26,0	32,0	23,0	23,0	23,5	59,0	72,5	
	9:15	1086,901	30,5	43,8					26,0	26,0	42,5	63,0	
	10:15	1088,083	30,5	43,8					26,0	27,0	39,5	58,5	
	12:15	1090,375	30,7	43,6					28,0	29,0	26,0	48,5	
	12:30	1090,670	30,6	43,6					28,0	29,0	23,0	48,0	
	15:45		30,3	43,9					26,0	27,0	35,0	52,5	
	16:45	1091,828	30,5	43,5					26,0	27,0	25,5	48,0	
16:55	1092,032	30,6	43,4					26,0	27,0	23,0	47,0		

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
11/11	7:30		29,6	44,5	27,0	25,5	28,0	22,0	22,0	23,0	58,0	77,5	choveu
	8:30	1093,250	30,3	43,8					23,0	24,0	54,0	71,5	
	9:30	1094,405	30,2	43,9					24,0	25,0	42,0	62,5	
	10:30	1095,690	30,4	43,8					24,0	25,0	34,6	56,8	
	11:30	1096,770	30,4	43,8					24,5	25,0	31,8	53,0	
	12:30	1097,832	30,8	43,6					24,5	25,0	24,8	34,2	
	12:57	1098,351	30,6	43,4					24,5	26,0	23,0	47,2	
12/11	6:50		30,0	44,1	27,0	24,5	24,5	21,0	21,0	22,0	63,5	77,5	borbulhando
	7:50	1099,662	30,2	43,9					23,0	24,0	56,4	78,1	
	8:50	1100,835	30,2	43,9					23,0	24,0	48,6	66,2	
	9:50	1101,985	31,0	43,4					24,0	25,5	37,5	57,0	
	10:50	1103,075	30,3	43,8					24,0	26,0	32,5	53,0	
	12:10	1104,597	30,5	43,8					24,0	24,5	23,0	45,0	
	15:05		30,3	43,8					23,0	24,0	34,5	54,5	
16:05	1105,778	30,5	43,5					25,0	26,0	24,0	49,0		
16:10	1105,871	30,5	43,5					25,0	26,0	23,0	48,5		
13/11	7:30		30,3	43,9	27,0	25,0	25,0	21,0	21,0	21,0	59,3	73,3	
	8:30	1107,237	30,3	43,9					22,0	22,0	48,4	68,2	
	9:30	1108,526	30,4	43,8					22,5	23,5	38,5	58,5	
	10:30	1109,780	30,5	43,7					23,0	24,5	32,5	53,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm. c. a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- ente	Gás	Piso	Massa		
13/11	11:47	1111,319	30,8	43,3						23,0	25,0	22,5	48,0	
	15:05		30,4	43,7						23,0	24,0	33,5	49,5	
	16:10	1112,683	30,7	43,4						24,0	25,0	23,0	47,0	
14/11	7:30		30,1	44,0	26,5	24,0	24,0	19,0	20,0	21,0	54,0	70,0		
	8:30	1114,058	30,5	43,7					21,0	22,0	46,5	64,0		
	9:30	1105,238	30,6	43,6					22,0	23,5	40,0	57,0		
	10:30	1116,471	30,7	43,5					23,0	24,0	34,5	56,8		
	12:00	1118,092	31,0	43,2					24,0	25,0	23,0	45,0		
	15:05		30,5	43,5					24,0	24,5	34,5	52,5		
	16:06	1119,209	31,5	43,0					24,0	25,0	24,4	48,6		
	16:23	1119,571	32,0	42,5					24,0	25,0	23,0	44,5		
15/11	7:30		30,7	43,8			24,0	19,0	20,0	20,0	48,6	69,8		
	8:30	1120,790	30,0	43,6					21,0	22,0	43,0	64,0		
	9:30	1121,899	30,2	43,4					22,0	23,6	36,0	58,0		
	10:30	1123,029	30,5	43,2					22,5	24,0	29,5	54,5		
	11:20	1123,897	31,8	42,8					23,0	25,0	23,0	48,5		
	15:50		31,2	43,2					22,0	23,0	41,1	51,1		
	16:50	1124,995	32,5	43,3					24,0	25,0	31,0	54,5		
17:50	1126,075	33,0	43,0					24,0	25,0	23,0	48,0			
16/11	7:30		31,8	45,3	26,0	24,0	24,0	29,0	25,0	20,5	48,0	67,0		

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē	Gás	Piso	Massa	
16/11	8:30	1127,356	32,2	44,7					22,0	23,0	42,3	53,2	
	9:30	1128,438	32,3	44,8					23,0	24,5	35,5	58,5	
	10:30	1129,526	33,0	44,2					24,0	25,0	28,5	54,0	
	10:50	1129,854	32,7	44,5					24,0	26,0	23,0	48,0	
	15:15		32,0	45,4					25,0	26,0	39,5	59,0	
	16:48	1131,948	32,5	45,0					27,0	27,5	23,0	48,0	
17/11	7:30		33,5	45,5	26,0	24,5	28,0	19,0	22,0	22,0	54,0	71,0	
	8:30	1133,216	34,2	44,7					23,0	24,5	52,0	68,5	
	9:30	1134,205	34,2	44,8					24,0	26,0	44,5	61,0	
	10:30	1135,173	33,0	46,0					25,0	26,0	37,5	59,0	
	11:30	1136,326	34,8	44,2					25,0	26,0	29,0	53,0	
	12:00	1136,782	35,8	43,2					25,0	26,0	25,5	48,0	
	15:35		33,2	46,3					25,0	27,0	40,2	58,5	
	16:35	1137,866	33,5	46,0					27,0	28,0	30,6	53,2	
17:15	1138,570	33,6	45,9					27,0	28,0	23,0	43,3		
18/11	7:30		33,5	47,5	26,0	25,0	28,0	21,5	21,5	22,0	49,0	66,5	
	8:30	1139,978	33,7	47,4					22,0	22,0	45,5	63,5	
	9:30	1141,151	33,9	47,3					23,0	23,5	34,0	56,0	
	10:30	1142,314	34,0	47,0					24,0	25,0	26,0	48,0	
	11:09	1143,057	34,0	46,9					24,0	25,5	23,0	46,0	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações	
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa		
18/11	16:00		33,8	47,1					23,0	24,0	42,2	59,5		
	17:00	1144,251	34,1	47,4					24,0	24,5	30,3	56,1		
	18:00	1145,301	34,5	47,0					23,0	24,0	23,0	48,3		
19/11	7:30		34,0	47,9	26,0	24,5	24,0	19,0	20,0	21,0	52,8	73,4		
	8:30	1146,644	34,2	47,7					22,0	23,0	46,1	57,2		
	10:30	1148,698	34,7	47,4					23,5	25,0	35,0	58,0		
	12:15	1150,308	35,6	46,6					24,5	26,0	25,0	50,0		
	15:05		35,0	47,2					24,0	25,0	34,5	54,0		
	16:05	1151,324	35,2	47,5					25,5	27,0	28,0	47,0		
20/11	16:23	1151,649	35,1	47,6					26,0	27,0	23,0	46,0		
	7:30		36,6	48,8	26,0	24,5	25,5	20,0	20,0	20,5	53,8	72,0		choveu
	8:30	1152,824	37,0	48,5					21,0	21,0	44,1	53,6		
	10:30	1154,890	37,0	48,9					20,5	20,5	20,2	46,5		
	11:07	1155,578	37,0	48,7					21,0	21,0	22,5	44,5		
	15:05		37,3	48,3					20,0	20,5	35,5	55,6		
	16:05	1157,103	36,2	49,5					21,0	22,0	29,5	52,5		
16:40	1157,315	36,0	49,4					21,5	22,0	23,0	44,5			
21/11	7:30		36,7	48,8	25,5	23,5	21,5	18,0	18,0	19,0	55,0	72,5		
	8:30	1158,641	35,8	49,8					19,0	25,0	48,5	65,5		
	9:30	1159,831	36,9	49,7					21,5	22,0	37,5	58,8		

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
21/11	10:30	1160,882	36,0	49,5					21,0	23,0	32,5	54,0	
	12:05	1162,367	36,4	49,2					21,5	23,0	23,0	46,0	
	15:25		36,5	49,2					22,0	23,0	33,0	55,0	
	16:48	1163,939	37,0	48,7					23,0	24,0	23,0	45,0	
22/11	7:30		36,5	50,2	25,5	23,0	23,5	18,0	19,0	20,0	49,3	67,2	
	8:30	1165,185	36,1	49,8					21,0	22,0	44,1	63,2	
	9:30	1166,103	40,0	47,0					22,0	23,0	34,3	55,5	
	10:30	1166,870	40,4	46,8					23,0	24,0	29,5	51,5	
	11:50		39,5	48,3					23,0	24,0	32,5	53,5	
	13:20	1167,260	38,7	48,6					23,0	24,5	39,0	60,0	
	14:20	1168,188	38,8	48,4					24,5	26,0	31,2	54,3	
	15:20	1169,108	38,3	49,0					25,0	27,0	27,0	50,5	
	16:05	1169,858	38,2	49,2					25,0	27,0	22,0	45,3	
23/11	7:30		37,1	50,4	25,5	24,5	24,0	19,0	21,5	22,0	47,6	67,1	ficou 25' desligado
	8:30	1170,734	36,9	50,5					22,0	23,0	46,2	63,5	
	9:30	1171,691	36,7	50,5					23,0	24,5	40,0	60,0	
	10:30	1172,603	37,3	50,3					23,5	25,0	34,0	54,6	
	12:10	1174,380	38,2	49,2					25,0	26,5	23,0	45,0	
	15:05		39,2	49,5					25,0	26,0	35,0	65,7	
	16:25	1175,783	38,5	49,3					27,0	28,0	23,0	44,0	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás	Piso	Massa	
24/11	7:30		37,0	50,8	26,0	25,0	28,0	22,0	23,0	24,0	54,5	72,3	
	8:30	1177,521	37,1	50,7					25,0	26,0	48,0	66,7	
	9:30	1178,225	37,1	50,7					27,0	28,0	37,0	66,7	
	10:30	1179,258	37,1	50,7					27,0	28,0	31,0	52,5	
	11:30	1180,412	37,4	50,8					26,5	28,0	23,0	44,0	
	16:30		37,4	50,8					26,0	27,0	41,0	59,3	
	17:30	1181,628	37,5	50,7					28,0	29,0	32,5	52,4	
	18:24	1182,656	38,0	50,2					28,0	29,0	23,0	46,9	
25/11	7:30		37,0	51,0	26,0	25,0	29,0	22,0	23,0	23,0	44,0	62,0	choveu
	8:30	1183,988	37,1	50,9					24,0	25,0	38,5	59,0	
	9:30	1185,175	37,8	50,2					24,0	24,0			
	10:07	1185,931	37,3	50,7					24,0	24,0	23,0	45,0	
	15:50		38,9	48,2					24,0	25,0	45,0	64,8	
	16:50	1187,030	37,2	50,9					24,5	25,5	38,4	58,0	
	17:50	1188,100	37,8	50,3					25,0	26,0	26,5	49,8	
26/11	18:10	1188,568	37,8	50,3					25,0	26,0	23,0	45,1	choveu à noite
	7:30		37,1	51,0	25,5	24,0	25,0	21,0	21,0	22,0	51,0	67,5	
	8:30	1189,932	37,2	50,8					22,0	23,0	38,7	59,6	
	9:30	1191,086	37,3	50,7					23,0	24,0	38,0	51,3	
	10:23	1192,167	37,5	50,5					23,0	24,0	21,0	43,0	continua...



TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm. c. a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi ente	Gás	Piso	Massa	
26/11	15:05		39,0	49,0					24,0	25,0	48,5	67,0	ficou 15' desli gado
	16:05	1193,436	37,3	50,6					25,0	26,0	31,0	56,5	
	16:35	1194,023	37,2	50,7					25,0	26,0	23,0	44,4	
27/11	7:30		37,9	50,0	25,5	24,5	24,0	21,0	21,0	21,5	56,3	75,0	
	8:30	1195,154	37,7	50,2					21,0	22,0	50,0	70,8	
	9:30	1196,295	37,0	51,0					22,0	22,5	44,5	65,0	
	11:20	1198,494	37,8	50,3					23,0	25,0	23,0	43,0	
	15:00		37,0	50,8					23,0	24,0	44,5	64,0	
28/11	16:27	1200,169	37,3	60,7					24,0	25,5	23,0	43,5	
	7:30		37,2	51,0	25,5	23,5	24,0	18,0	19,0	19,0	55,7	75,2	
	8:30	1201,530	37,3	50,8					21,0	23,0	48,0	68,8	
	9:30	1202,718	37,4	50,7					22,0	23,0	36,5	59,3	
	11:00	1204,408	37,9	50,1					22,5	24,5	23,0	44,0	
	14:05		37,7	50,5					23,0	25,0	38,5	59,6	
	15:05	1205,609	38,0	50,0					24,5	26,0	28,0	50,0	
29/11	15:20	1205,903	38,1	49,9					24,5	26,0	23,0	44,5	
	7:30		37,4	51,2	25,5	24,0	24,0	18,0	20,0	21,0	53,0	73,0	
	8:30	1207,173	37,6	51,0					22,0	23,0	47,8	67,2	
	9:30	1208,371	37,7	50,9					23,0	24,0	39,6	50,7	
	10:30	1209,528	37,7	50,8					24,0	25,0	27,5	47,5	

continua...

TABELA A.1. continuação

Data	Horário	Medidor de gás (m <sup>3</sup> )	Manômetro (cm.c.a.)		Temperaturas (°C)						Alturas (cm)		Observações
			Esq.	Dir.	Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē	Gás	Piso	Massa	
29/11	10:53	1209,993	37,7	50,8					24,0	25,5	23,0	44,0	
	13:25		37,8	50,8					25,0	26,0	36,0	62,0	
	15:10	1212,074	38,3	50,2					26,0	27,0	23,0	44,5	
30/11	7:30		38,6	52,4	26,0	24,0	24,0	21,0	21,0	26,0	57,0	77,5	
	8:30	1213,312	38,8	52,2					23,0	24,0	54,0	65,6	
	9:30	1214,432	39,0	52,0					23,0	25,0	38,8	50,1	ficou 20' desli
	10:30	1215,274	39,0	52,0					24,0	26,0	31,5	56,8	gado
	11:25	1216,395	39,3	52,0					25,0	27,0	23,0	44,0	
	15:15		39,0	52,5					22,0	22,0	32,0	61,8	
	16:35	1217,996	39,1	52,3					25,0	25,0	23,0	44,0	

ANEXO B

Dados compilados do biodigestor

TABELA B.1. Dados compilados do biodigestor

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observação
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- ente	Gás		
25/4	7:00	6,4	25,0	-	23,0	20,0	-	-	6,215	
26/4	7:00	7,4	22,0	-	20,0	18,0	-	-	2,678	
27/4	7:00	8,0	24,0	-	20,0	17,0	-	-	3,928	
28/4	7:00	7,6	25,0	-	22,0	20,0	-	-	4,286	
29/4	7:00	7,5	25,0	-	23,0	21,0	-	-	3,389	
30/4	7:00	7,0	25,0	-	20,0	18,0	-	-	3,099	
01/5	7:00	7,6	25,0	-	21,0	18,0	-	-	3,922	
02/5	7:00	7,6	25,0	-	21,0	19,0	-	-	5,579	
03/5	7:00	7,0	24,0	-	20,0	18,0	-	-	3,954	
04/5	7:15	7,0	25,0	-	22,0	18,0	-	-	4,171	
05/5	7:00	7,0	25,0	-	23,0	20,0	-	-	8,987	24h aberto
06/5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	fechado
07/5	7:00	6,0	25,0	-	23,0	19,0	-	-	5,181	
08/5	7:00	8,0	25,0	-	24,0	19,0	-	-	3,643	
09/5	7:00	8,0	26,0	-	24,0	22,0	-	-	3,554	
10/5	7:00	7,5	26,0	-	24,0	20,0	-	-	3,995	
11/5	7:00	7,3	25,0	-	24,0	20,0	-	-	3,441	
12/5	6:30	6,5	25,0	-	23,0	20,0	-	-	10,304	24h aberto continua...

TABELA B.1. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observação
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi ente	Gás		
13/5	7:00	-	-	-	-	-	-	-	9,306	24h aberto
14/5	7:00	7,5	25,0	-	21,0	20,0	-	-	-	fechado
15/5	7:00	-	-	-	-	-	-	-	-	fechado
16/5	7:30	5,5	25,0	-	20,0	18,0	-	-	9,911	24h aberto
17/5	7:00	5,1	25,0	-	23,0	18,0	-	-	5,946	
06/6	8:00	6,6	-	-	-	-	-	-	4,858	
07/6	8:00	6,4	25,0	-	23,0	17,0	-	-	6,191	
08/6	8:00	4,0	25,0	-	20,0	17,0	-	-	4,846	+706kg
09/6	8:05	13,1	24,0	-	20,0	17,0	-	-	4,083	
10/6	8:05	10,8	-	-	20,0	17,0	-	-	6,715	24h aberto
11/6	8:00	5,8	-	-	20,0	15,0	-	-	5,156	24h aberto
12/6	8:00	2,6	-	-	20,0	15,0	-	-	5,169	24h aberto
13/6	8:00	1,3	-	-	20,0	17,0	-	-	4,613	
14/6	8:00	10,9	-	-	23,0	17,0	-	-	2,118	
15/6	8:00	11,1	-	-	23,0	18,0	-	-	3,742	
16/6	8:00	11,1	22,0	-	21,0	18,0	-	-	8,913	24h aberto
17/6	8:00	-	-	-	-	-	-	-	-	fechado
18/6	8:00	11,4	23,0	-	20,0	18,0	-	-	9,171	600kg
19/6	8:00	10,4	-	-	-	-	-	-	-	
20/6	8:00	12,8	23,0	-	23,0	16,0	-	-	5,412	

continua...

TABELA B.1. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observação
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- ente	Gás		
21/6	8:00	12,5	23,0	-	27,0	17,0	17,0	-	1,802	
22/6	8:00	12,6	23,0	-	27,0	17,0	17,0	-	3,637	
23/6	8:03	12,4	22,5	-	24,0	15,0	16,0	-	3,887	
24/6	7:45	12,5	23,0	-	24,0	16,0	20,0	-	5,132	
25/6	8:00	12,1	22,0	-	26,0	17,0	17,0	-	3,570	
26/6	8:00	12,8	23,0	21,0	23,0	16,0	16,0	-	4,416	
27/6	8:03	12,7	22,0	19,5	24,0	17,0	17,0	-	4,400	
28/6	7:45	12,7	22,5	20,0	24,5	16,0	16,0	-	4,861	
29/6	7:15	12,1	22,0	20,0	23,0	15,0	15,0	-	4,751	
30/6	7:15	12,5	22,0	19,0	23,0	15,0	15,0	-	4,979	fixado 23cm ao fechar
01/7	6:55	12,7	23,0	19,5	20,0	15,0	15,0	-	5,199	
02/7	7:15	12,0	23,0	19,0	23,0	16,0	16,0	-	4,866	
03/7	7:10	12,7	24,0	20,5	23,0	18,0	18,0	-	5,043	
04/7	7:00	11,5	23,5	19,0	23,0	18,0	19,0	-	6,335	
05/7	8:00	12,2	25,0	21,0	24,0	18,0	18,0	-	6,045	
06/7	8:05	12,7	23,5	21,0	26,0	18,0	18,0	-	5,973	
07/7	8:00	12,6	23,0	22,0	28,0	17,5	19,0	-	6,288	
08/7	8:00	12,6	23,0	21,0	24,0	19,0	20,0	-	6,511	
09/7	8:00	11,9	23,0	22,0	24,0	18,0	18,0	-	6,400	
10/7	8:00	12,8	23,0	- *	25,0	18,0	18,0	-	5,726	*14h continua...

TABELA B.1. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observação
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- entē	Gás		
11/7	8:00	12,8	23,0	22,0	25,0	18,0	18,0	-	6,499	
12/7	8:00	12,5	23,0	21,0	24,0	17,0	17,0	-	6,106	
13/7	8:00	12,5	22,5	21,0	23,5	18,0	18,0	-	5,594	
14/7	7:50	12,4	23,0	21,0	24,0	18,0	19,0	-	6,249	
15/7	8:00	12,9	23,0	21,0	20,0	18,0	18,0	-	6,608	
16/7	8:00	12,6	23,0	21,0	23,0	19,0	19,0	-	5,751	
17/7	8:00	12,6	23,0	22,0	24,0	18,0	18,0	-	5,964	
18/7	8:05	12,7	23,0	22,0	24,0	17,0	18,0	-	6,225	
19/7	8:00	12,7	24,0	22,0	24,0	16,0	16,0	-	7,088	
20/7	8:00	12,6	23,5	21,0	24,0	15,5	16,0	-	6,249	
21/7	8:00	12,6	23,5	22,0	23,0	16,0	16,0	-	6,413	
22/7	8:00	12,6	22,5	21,0	23,0	16,0	16,0	-	5,127	
23/7	8:00	12,9	22,5	18,0	19,0	13,0	13,0	-	5,852	
24/7	8:00	12,8	23,0	18,0	15,0	13,5	14,0	-	5,816	
25/7	8:00	12,8	22,0	20,5	20,0	14,0	15,5	-	5,529	
26/7	8:00	12,9	22,0	20,5	23,0	15,0	16,0	-	5,630	
27/7	8:00	12,8	23,0	20,0	23,0	15,0	16,0	-	6,102	
28/7	7:55	12,9	22,0	21,0	23,0	17,0	18,0	-	5,612	
29/7	8:00	12,7	22,0	20,5	20,0	17,0	17,0	-	5,506	
30/7	8:00	13,0	22,0	20,0	19,0	15,0	16,0	-	5,934	

continua...

TABELA B.1. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)					Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observação	
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē			Gás
31/7	8:00	12,7	23,0	20,5	20,0	16,0	16,0		5,589	
01/8	8:00	12,9	23,0	21,0	20,0	14,0	14,5		5,668	
02/8	8:00	12,5	22,0	21,0	23,0	14,0	17,0		5,500	choveu
03/8	8:00	12,8	22,0	20,0	19,5	18,0	18,0		4,751	choveu
04/8	8:00	12,8	22,0	20,5	20,0	15,0	15,0		4,984	
05/8	8:00	12,6	22,0	20,5	20,0	16,0	17,0		5,396	
06/8	8:00	12,8	22,0	21,0	27,0	17,5	18,0		5,117	
07/8	8:00	11,7	23,0	22,0	27,5	18,5	19,0		5,121	
08/8	8:00	12,5	22,0	21,5	24,0	19,0	19,0		5,415	
09/8	8:00	12,6	22,0	22,0	27,0	18,0	20,0		5,668	
10/8	8:00	12,3	22,5	22,0	27,5	18,5	19,0		5,655	
11/8	8:00	12,9	23,0	22,5	27,0	18,0	18,0		5,583	
12/8	8:00	12,9	23,0	22,0	27,5	19,0	19,0		5,699	
13/8	8:00	12,7	23,0	22,0	27,0	18,0	18,0		6,056	
14/8	8:00	12,4	24,0	22,0	24,0	18,0	18,0		5,798	
15/8	8:00	12,3	22,0	21,5	24,0	17,0	17,0		3,578	
16/8	8:00	12,3	23,0	21,0	19,5	16,0	16,0	16,0	6,425	
17/8	8:00	13,5	22,0	19,5	19,0	15,0	15,0	15,0	5,376	
18/8	8:00	13,7	22,0	20,5	19,0	15,0	15,0	15,5	5,701	
19/8	8:00	13,2	22,0	19,0	19,0	15,0	15,0	15,0	5,608	

continua...



TABELA B. I. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observações
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi- ente	Gás		
20/8	8:00	13,4	22,0	19,5	19,0	15,0	16,0	16,5	4,871	
21/8	8:00	13,7	22,0	20,0	18,0	15,0	16,0	16,0	5,632	
22/8	8:00	13,8	22,0	20,5	20,0	16,0	18,0	18,0	5,913	choveu
23/8	8:00	13,5	21,5	20,5	25,0	18,0	18,0	18,0	4,688	choveu
24/8	8:05	13,5	22,0	21,0	23,5	17,5	17,5	18,0	5,668	
25/8	8:00	13,4	23,0	21,0	24,0	18,0	18,0	18,5	5,341	choveu
26/8	8:00	13,5	22,0	21,0	20,0	13,5	13,5	12,0	4,886	
27/8	8:00	13,4	21,0	20,5	16,0	10,0	11,0	11,0	5,026	choveu
28/8	8:00	13,5	21,5	18,5	15,0	11,0	12,5	13,0	4,663	
29/8	8:00	13,5	22,0	20,0	17,0	13,0	14,0	14,0	4,754	
30/8	8:00	13,5	21,0	21,0	19,0	14,0	16,0	16,0	4,435	
31/8	8:00	13,4	21,0	19,0	20,0	15,0	16,0	17,0	4,680	
01/9	8:00	13,5	21,0	19,5	23,0	16,5	16,5	17,0	5,186	
02/9	8:00	13,6	22,0	21,0	23,0	17,0	17,0	17,5	5,275	
03/9	8:00	13,4	21,5	21,0	23,0	18,0	18,0	18,5	4,934	
04/9	8:00	13,1	22,0	21,0	24,0	17,0	18,0	18,5	5,231	
05/9	8:00	13,7	22,0	21,0	24,0	17,0	18,5	19,0	5,112	
06/9	8:00	13,3	22,0	22,0	24,0	18,0	18,0	18,5	4,964	
07/9	8:00	13,4	22,5	21,0	24,0	18,0	18,5	19,0	5,710	
08/9	8:00	13,6	22,0	22,0	23,0	18,0	18,0	19,0	4,804	

continua...

TABELA B.1. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observações
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē	Gás		
09/9	8:00	13,7	22,0	20,0	20,0	16,0	16,0	16,5	5,424	
10/9	8:00	13,3	21,5	21,0	19,5	14,0	15,0	15,0	4,269	
11/9	8:00	12,5	22,0	19,0	18,5	14,0	14,0	14,5	4,381	
12/9	8:00	13,5	21,5	19,0	20,0	14,0	14,0	14,5	4,533	
13/9	8:00	13,7	22,0	21,0	23,0	14,0	16,0	16,5	4,489	
14/9	8:00	13,6	22,0	21,0	23,5	17,0	18,0	18,0	4,641	
15/9	8:00	13,8	22,5	22,0	24,0	18,0	18,0	18,5	5,430	
16/9	8:00	13,5	22,0	21,5	27,5	18,0	19,5	19,5	4,782	
17/9	8:00	13,6	22,0	21,0	23,5	17,0	17,0	18,5	5,629	
18/9	8:00	12,4	22,0	21,5	23,0	17,5	18,0	19,0	4,724	
19/9	8:00	13,3	22,0	21,0	24,0	18,0	19,0	20,0	5,836	
20/9	7:25	13,0	22,0	21,0	24,0	19,0	21,0	21,0	5,400	
21/9	7:30	12,6	22,0	21,5	24,5	18,0	18,0	18,5	6,109	
22/9	7:30	12,0	22,0	21,5	23,0	14,0	16,0	16,0	5,730	
23/9	7:30	12,2	23,0	22,0	23,0	16,0	16,0	17,0	6,920	
24/9	7:30	12,0	23,0	-	24,0	18,0	19,0	20,0	5,487	
25/9	7:30	13,4	23,5*	-	28,0	18,5	20,0	20,5	5,846	*8:40
26/9	7:30	13,4	23,0	22,5	28,0	20,0	21,5	22,0	6,257	
27/9	7:35	14,0	23,0	22,0	24,0	19,0	19,0	19,0	5,420	choveu
28/9	7:30	13,0	23,5	22,0	23,5	18,0	18,0	18,0	5,852	

continua...

TABELA B.1. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observações
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē	Gás		
29/9	7:30	13,6	23,0	-	25,0	14,0	15,0	15,5	5,823	
30/9	7:30	13,4	22,5	-	20,0	14,0	15,0	16,0	5,096	
01/10	7:30	13,0	23,0	22,0	20,0	16,0	16,5	17,0	5,388	
02/10	7:30	13,0	23,0	22,0	24,0	18,0	18,0	18,0	5,458	
03/10	7:30	13,5	23,0	22,5	24,5	18,0	20,0	20,5	5,931	
04/10	7:30	12,8	23,0	23,0	28,0	20,0	21,0	21,5	5,821	
05/10	7:35	14,0	23,5	23,5	28,5	19,0	22,0	23,0	6,235	
06/10	7:35	13,9	24,0	23,0	29,0	22,0	23,0	23,0	6,311	
07/10	7:30	13,8	24,5	24,0	28,0	21,0	22,0	22,0	7,542	
08/10	7:30	13,4	24,0	23,5	24,0	20,0	21,0	22,0	6,796	
09/10	7:35	12,0	24,0	23,5	28,0	22,0	22,0	22,0	6,063	
10/10	7:30	13,2	25,0	23,5	24,5	21,0	21,0	21,0	6,574	
11/10	7:30	13,0	25,0	23,5	26,0	21,0	21,0	21,0	5,873	
12/10	7:30	13,0	24,5	23,0	24,0	18,0	19,0	19,5	7,144	
13/10	7:30	13,4	25,0	23,0	24,0	18,0	20,0	20,5	6,424	
14/10	7:30	13,2	25,0	24,0	24,0	19,0	21,0	21,5	6,660	
15/10	7:30	11,8	25,0	-	28,0	21,5	21,0	21,0	6,160	
16/10	7:30	13,5	25,0	-	24,0	21,0	21,0	21,5	6,355	
17/10	7:30	13,5	25,0	-	27,0	23,0	23,0	23,0	6,991	
18/10	7:30	11,8	25,5	24,0	29,0	23,0	23,0	23,5	6,492	choveu continua...

TABELA B.1. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observações
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē	Gás		
19/10	7:30	11,2	25,0	24,0	24,0	20,0	20,0	20,0	5,159	choveu
20/10	7:30	12,9	25,0	23,0	23,0	17,5	17,5	18,0	7,732	
21/10	7:30	13,1	24,5	22,0	23,0	18,0	19,0	20,0	6,546	
22/10	7:30	13,0	24,5	-	24,0	19,0	21,5	22,0	6,243	
23/10	7:30	13,5	25,0	24,0	27,0	22,0	22,0	23,0	5,078	
24/10	7:30	12,6	25,0	24,0	27,5	22,0	22,0	22,0	6,576	
25/10	7:30	11,5	25,0	24,0	28,0	21,5	22,0	22,5	6,687	
26/10	7:30	12,3	25,0	24,0	28,0	22,0	22,5	25,0	6,019	
27/10	7:30	11,3	25,0	24,0	28,0	21,5	21,5	22,0	8,090	
28/10	7:30	14,1	25,0	24,5	28,0	22,0	22,0	22,5	7,326	
29/10	7:30	12,7	25,5	25,0	28,0	22,0	23,5	24,0	7,172	
30/10	7:30	10,5	26,0	25,0	28,5	22,0	23,5	24,0	6,083	
31/10	7:30	13,5	26,0	25,5	29,0	23,0	24,0	24,0	6,963	
01/11	7:30	11,3	26,0	25,0	25,0	22,0	22,0	22,0	7,167	
02/11	7:30	14,0	26,0	25,0	28,0	24,0	24,0	26,5	8,078	
03/11	7:30	11,5	26,0	25,5	28,0	23,0	24,0	24,5	7,353	
04/11	7:30	11,0	26,5	-	33,0	23,0	24,5	25,0	7,751	
05/11	7:30	13,5	27,0	25,5	30,0	23,0	24,0	24,5	6,727	
06/11	7:15	12,9	27,0	26,5	29,0	23,0	23,0	23,5	7,048	
07/11	7:15	13,6	27,0	26,0	29,0	23,0	23,5	24,0	7,013	

continua...

TABELA B.1. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observações
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambiente	Gás		
08/11	7:15	13,7	27,5	26,0	28,0	22,0	24,0	24,0	7,503	
09/11	7:25	13,0	27,0	25,0	29,0	22,0	24,0	24,0	7,920	
10/11	7:15	14,3	27,0	26,0	32,0	23,0	23,0	23,5	7,402	
11/11	7:30	14,9	27,0	25,5	28,0	22,0	22,0	23,0	6,319	choveu
12/11	6:50	14,1	27,0	24,5	24,5	21,0	21,0	22,0	7,525	choveu
13/11	7:30	13,6	27,0	25,0	25,0	21,0	21,0	21,0	6,807	
14/11	7:30	14,0	26,5	24,0	24,0	19,0	20,0	21,0	6,838	
15/11	7:30	13,1	-	-	24,0	19,0	20,0	20,0	6,504	
16/11	7:30	13,5	26,0	24,0	24,0	19,0	20,0	20,5	5,873	
17/11	7:30	12,2	26,0	24,5	28,0	19,0	22,0	22,0	6,622	
18/11	7:30	14,0	26,0	25,0	28,0	21,5	21,5	22,0	6,731	
19/11	7:30	13,9	26,0	24,5	24,0	19,0	20,0	21,0	6,346	
20/11	7:30	12,2	26,0	24,5	25,5	20,0	20,0	20,5	5,666	choveu
21/11	7:30	12,1	25,5	23,5	21,5	18,0	18,0	19,0	6,624	
22/11	7:30	13,7	25,5	23,0	23,5	18,0	19,0	20,0	5,919	
23/11	7:30	13,3	25,5	24,5	24,0	19,0	21,5	22,0	5,925	
24/11	7:30	13,8	26,0	25,0	28,0	22,0	23,0	24,0	6,873	
25/11	7:30	14,0	26,0	25,0	29,0	22,0	23,0	23,0	5,912	choveu
26/11	7:30	13,9	25,5	24,0	25,0	21,0	21,0	22,0	5,485	
27/11	7:30	12,1	25,5	24,5	24,0	21,0	21,0	21,5	6,146	

continua...

TABELA B.1. continuação

Data	Horário	Pressão (cm.c.a.)	Temperaturas (°C)						Volume de gás produzido (m <sup>3</sup> )	Observações
			Massa	Carga	Máx.	Mín.	Ambi entē	Gás		
28/11	7:30	13,8	25,5	23,5	24,0	18,0	19,0	19,0	5,604	
29/11	7:30	13,8	25,5	24,0	24,0	18,0	20,0	21,0	6,171	
30/11	7:30	13,8	26,0	24,0	24,0	21,0	21,0	26,0	5,922	

ANEXO C

Resultados das análises físico-químico-bacteriológicas do afluente e efluente  
ao biodigestor

TABELA C.1. Análises físico-químico-biológicas do Afluente (realizadas pela SANASA - Campinas)

Data	Sólidos Totais (mg/l)	Sólidos Voláteis (mg/l)	Nitrogênio Amoniacal (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	pH	Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Coliformes fecais (/100ml)	Ácidos Voláteis (mg HAc/l)
24/4	64863	55034	7,2	-	61464	-	-	-	-
02/5	68344	39792	106,6	7500	76428	6,6	678	< 1,0 . 10 <sup>10</sup>	
08/5	45446	37598	80,0	5750	40700	6,5	2500	< 1 . 10 <sup>9</sup>	940,53
15/5	70955	59130	133,2	34285	72556	7,0	7600	-	1906,01
22/5	71151	57813	106,6	-	76896	6,6	2720	5 . 10 <sup>9</sup>	1935,20
29/5	73867	61080	106,6	-	164160	6,7	3336	2,5 . 10 <sup>10</sup>	2219,38
05/6	62037	50661	160,0	-	70308	6,9	3506	5 . 10 <sup>10</sup>	1940,81
12/6	84244	70503	133,2	-	96520	6,9	3975	6 . 10 <sup>10</sup>	2285,33
19/6	71311	26981	160,0	-	71344	6,9	2763	-	1776,57
26/6	68388	56677	160,0	-	69840	6,9	2667	6 . 10 <sup>10</sup>	1653,18
03/7	75025	62294	177,6	-	61200	6,8	2745	1 . 10 <sup>10</sup>	2098,52
10/7	60618	49947	84,2	-	48640	6,9	2842	> 6 . 10 <sup>11</sup>	-
17/7	77074	64355	114,2	-	77760	6,9	3941	8 . 10 <sup>10</sup>	2284,59

continua...



TABELA C.1. continuação

Data	Sólidos Totais (mg/ℓ)	Sólidos Voláteis (mg/ℓ)	Nitrogênio Amoniacal (mg/ℓ)	DBO (mg/ℓ)	DQO (mg/ℓ)	pH	Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ)	Coliformes fecais (/100ml)	Ácidos Voláteis (mg HAc/ℓ)
24/07	68682	57433	145,4	-	69840	6,9	3590	6 . 10 <sup>10</sup>	1694,19
31/07	91481	76159	123,0	-	56960	6,9	3594	> 6 . 10 <sup>10</sup>	1983,51
07/08	82928	69406	200,0	4735	135228	6,8	3515		2308,14
14/08	79502	66422	228,0	4934	145600	6,6	3953	> 6 . 10 <sup>11</sup>	2321,91
21/08	80765	69282	320,0	3266	65824	6,3	3354	> 6 . 10 <sup>12</sup>	2712,48
28/08	76117	65251	160,0	3533	57600	6,9	3257	4 . 10 <sup>12</sup>	2088,93
04/09	92160	81067	40,0	-	-	6,7	4046	5 . 10 <sup>12</sup>	2228,46
11/09	77701	64840	228,4	900	104896	6,9	3108	3,2 . 10 <sup>10</sup>	2069,17
18/09	71166	59809	228,4	5187	126720	6,7	2746	6 . 10 <sup>12</sup>	1941,49
25/09	69504	58669	200,0	4249	84320	6,6	3276	< 1 . 10 <sup>12</sup>	2241,26
02/10	74120	61587	228,4	3566	81624	6,5	3120	1 . 10 <sup>11</sup>	2441,23
09/10	68065	56309	133,2	7675	109520	6,7	2956	1 . 10 <sup>10</sup>	2322,78
17/10	65135	54258	160,0	5167	70488	6,6	2695	8 . 10 <sup>12</sup>	2521,67
23/10	162103	152186	160,0	10830	161028	6,4	3475	1,5 . 10 <sup>12</sup>	2912,57

continua...

TABELA C.1. continuação

Data	Sólidos Totais (mg/ℓ)	Sólidos Voláteis (mg/ℓ)	Nitrogênio Amoniacal (mg/ℓ)	DBO (mg/ℓ)	DQO (mg/ℓ)	pH	Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ)	Coliformes fecais (/100mℓ)	Ácidos Voláteis (mg HAc/ℓ)
30/10	97847	88774	145,4	2650	85644	6,5	2625	< 1 . 10 <sup>11</sup>	2181,16
06/11	72654	61242	177,6	6300	180720	6,5	3193	> 1 . 10 <sup>11</sup>	2355,29
13/11	194853	184304	114,2	6650	104676	6,7	3155	< 1 . 10 <sup>11</sup>	2441,78
20/11	65380	55311	200,0	1357	9968	6,6	3187	< 1 . 10 <sup>9</sup>	2522,32
27/11	61086	51392	160,0	4300	89500	6,4	2496	-	2443,23

TABELA C.2. Análises físico-químico-biológicas do Efluente (realizadas pela SANASA - Campinas)

Data	Sólidos Totais (mg/ℓ)	Sólidos Voláteis (mg/ℓ)	Nitrogênio Amoniacal (mg/ℓ)	DBO (mg/ℓ)	DQO (mg/ℓ)	pH	Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ)	Coliformes fecais (/100ml)	Ácidos Voláteis (mg HAc/ℓ)
24/04	45273	37017	7,2	-	41764	-	-		
02/05	57546	32111	80,0	6975	54040	6,8	678	$2 \cdot 10^{11}$	
08/05	34012	27306	80,0	4417	54760	6,8	3500	$< 1 \cdot 10^{10}$	69,04
15/05	40478	32704	106,6	18181	44480	7,2	7600	-	233,59
22/05	46284	37642	106,6	-	49840	6,8	3050	$1 \cdot 10^{10}$	404,58
29/05	15791	11412	80,0	-	109440	6,8	3138	$> 6 \cdot 10^{11}$	348,23
05/06	49100	40020	133,2	-	58212	6,7	3296	$1 \cdot 10^{12}$	547,73
12/06	49526	40025	61,6	-	38000	6,9	4695	$2,5 \cdot 10^{11}$	528,23
19/06	53152	15740	123,0	-	69160	6,9	3503	-	557,49
26/06	57946	47262	123,0	-	61200	6,9	3456	$2 \cdot 10^{10}$	292,43
03/07	56768	46144	160,0	-	41760	6,9	2545	$2 \cdot 10^{11}$	387,45
10/07	57487	46843	100,0	-	34200	7,0	3722	$1 \cdot 10^{10}$	-
17/07	54645	43848	106,6	-	47920	6,9	3421	$1 \cdot 10^{11}$	482,21

continua...

TABELA C.2. continuação

Data	Sólidos Totais (mg/ℓ)	Sólidos Voláteis (mg/ℓ)	Nitrogênio Amoniacal (mg/ℓ)	DBO (mg/ℓ)	DQO (mg/ℓ)	pH	Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /ℓ)	Coliformes fecais (/100mℓ)	Ácidos Voláteis (mg HAc/ℓ)
24/7	56105	45493	123,0	-	58320	6,9	4290	1 . 10 <sup>11</sup>	405,20
31/7	55130	44625	106,6	-	50552	6,9	3434	1 . 10 <sup>10</sup>	455,27
07/8	63670	51714	100,0	2266	76400	6,9	3495	< 1 . 10 <sup>10</sup>	495,01
14/8	65193	53479	200,0	3000	124488	6,9	3793	> 6 . 10 <sup>11</sup>	392,92
21/8	61493	50312	177,6	1666	53856	6,9	3314	4 . 10 <sup>11</sup>	506,97
28/8	60356	49426	200,0	1711	36000	6,8	3237	1 . 10 <sup>12</sup>	350,69
04/9	47149	35011	52,5	-	-	6,8	3516	3 . 10 <sup>11</sup>	358,33
11/9	60601	49951	228,4	919	73216	6,9	3098	9,3 . 10 <sup>9</sup>	365,99
18/9	62476	51381	228,4	3575	78336	6,9	3756	4 . 10 <sup>11</sup>	301,49
25/9	72034	60990	133,2	2502	25840	6,8	3816	1 . 10 <sup>11</sup>	509,46
02/10	57619	47322	200,0	2641	103104	6,8	3150	4 . 10 <sup>10</sup>	453,38
09/10	60300	49418	133,2	1114	6660	6,9	3366	> 6 . 10 <sup>11</sup>	424,29
17/10	61275	50406	133,2	4000	66928	6,9	3235	7 . 10 <sup>11</sup>	631,59
23/10	62759	51971	145,4	8250	107352	6,9	3735	1 . 10 <sup>11</sup>	627,29

continua...

TABELA C.2. continuação

Data	Sólidos Totais (mg/l)	Sólidos Voláteis (mg/l)	Nitrogenio Amoniacal (mg/l)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	pH	Alcalini_dade (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Coliformes fecais (/100ml)	Ácidos Voláteis (mg HAc/l)
30/10	158699	148067	160,0	1900	98820	6,9	3545	1 . 10 <sup>12</sup>	308,31
06/11	56222	45800	133,2	2500	118800	7,0	3603	5 . 10 <sup>11</sup>	543,25
13/11	54422	44520	123,0	3050	71736	6,9	2725	-	502,97
20/11	51891	42296	106,6	1782	12816	6,9	2947	< 1 . 10 <sup>9</sup>	549,28
27/11	51058	41641	160,0	1933	58712	6,8	3526	-	425,93

## ANEXO D

### Análise de Ácidos Voláteis

#### D.1. Método

Método para determinação de ácidos voláteis.

##### D.1.1. APLICAÇÃO

Vinhaça e efluentes de digestão anaeróbia.

##### D.1.2. OBJETIVO

Determinar o teor de ácidos carboxílicos de baixo peso molecular e seus sais por colorimetria.

##### D.1.3. EQUIPAMENTO

D.1.3.1. Tubos de ensaio;

D.1.3.2. Tubos de Follin-Wu de 25 ml;

D.1.3.3. Pipetas graduadas de 1,0; 2,0; 10,0 e 20,0 ml;

D.1.3.4. Pipeta volumétrica de 10 ml;

D.1.3.5. Banho de água em ebulição;

D.1.3.6. Banho de água gelada;

D.1.3.7. Kitassato de 250 ml;

D.1.3.8. Cronômetro;

D.1.3.9. Espectrofotômetro;

D.1.3.10. Funil de 50 ml; e,

D.1.3.11. Papel de filtro, nº 40 (Whatman).

#### D.1.4. REAGENTES

D.1.4.1. Solução de ácido sulfúrico a 50%;

D.1.4.2. Solução de cloreto férrico/ácido sulfúrico;

D.1.4.3. Solução de hidróxido de sódio, 4,5 N;

D.1.4.4. Solução de sulfato de hidroxilamina a 10%; e,

D.1.4.5. Etilenoglicol.

#### D.1.5. QUANTIDADE DE AMOSTRA: 0,5 ml

Deve-se filtrar o efluente para clarificar a amostra.

#### D.1.6. PROCEDIMENTO

Pipete 0,5 ml de amostra e coloque num tubo de ensaio. Adicione 1,5 ml de etilenoglicol e 0,2 ml de ácido sulfúrico 50%. Misture bem e leve a um banho de água fervente, mantendo por 3 minutos. Retire e imediatamente coloque em banho de água gelada. Depois de esfriar, adicione 2,5 ml de uma mistura recém-preparada de soluções de hidróxido de sódio e sulfato de hidroxilamina na proporção de 4:1.

Homogeneize a solução. Pipete 10 ml de solução de cloreto férrico acidificada em tubo de Follin-Wu. Transfira a solução do tubo de ensaio para o de Follin-Wu, lavando o tubo de ensaio quantitativamente com pequenas porções de água e transferindo-as para o tubo de Follin-Wu. Acerte o volume com água. Tampe o tubo com uma rolha de borracha e agite vigorosamente. Destampe e espere alguns minutos para liberar o gás. Transfira a solução obtida para uma cubeta própria e leia a transmitância em 500 nm.

Paralelamente, faça uma determinação em branco, substituindo a amostra por água. A concentração de ácidos voláteis (em mgHAc/l) é determinada a partir de uma curva de calibração

preparada usando soluções padrões.

#### D.1.7. CURVA DE CALIBRAÇÃO

Solução-mãe 5.000 ppm em HAc: dissolva 5,830 g de acetato de sódio anidro e seco em água e dilua, em balão volumétrico de 1.000 ml. Prepare cerca de 14 soluções padrões por diluições da solução-mãe, as concentrações variando de 0 a 5.000 ppm em HAc. As diluições são feitas em balões de 100 ml, buretando -se 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80 e 100 ml de solução-mãe e completando o volume com água. Para traçar a curva padrão, aplica-se o mesmo procedimento descrito no item 6, usando os padrões no lugar das amostras. A partir dos valores de transmitância e das concentrações, traça-se a curva padrão:  $C = 10^{a + b \cdot \log T}$ .

#### D.1.8. SOLUÇÕES REAGENTES

D.1.8.1. Ácido sulfúrico a 50%: dilua  $H_2SO_4$  concentrado com igual volume de água;

D.1.8.2. Cloreto férrico/ácido sulfúrico: dissolva 20 g de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  em 500 ml de água, adicione 20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado e dilua a 1 litro;

D.1.8.3. Hidróxido de sódio 4,5 N: dissolva 180 g de NaOH em água e dilua a 1 litro; e,

D.1.8.4. Sulfato de hidroxilamina a 10%: dissolva 10 g de sulfato de hidroxilamina em água e dilua a 100 ml.

#### D.2. Curvas de calibração

O método empregado exige que se estabeleça uma curva de calibração que correlacione os valores de transmitância obtidos em espectrofotômetro com as concentrações de ácidos voláteis em termos de ácido acético.

Para determinar as curvas de calibração foram utilizadas concentra



ções de 0,50, 500, 1000, 1500, 2000, 3000 e 5000 mgHAc/l com análises em du  
plicatas. As curvas foram obtidas por análise de regressão linear, aplicando-  
-se o método dos mínimos quadrados.

A curva de calibração foi determinada duas vezes por, no desenvolvi  
mentos das análises, ter acabado um dos reagentes preparados.

#### D.2.1. Primeira Curva

Os dados obtidos para a primeira calibração estão na Tabela D.1.

TABELA D.1. Dados para a primeira calibração.

amostra	concentração (mg/l)	transmitância (%)
1	0	94,6
	0	92,8
2	50	96,7
	500	82,1
3	500	80,0
	1000	80,5
4	1000	65,6
	1500	53,2
5	1500	73,2
	2000	46,9
6	2000	44,9
	3000	33,7
7	3000	36,6
	5000	16,3
8	5000	20,0

A duplicata da amostra 2 foi perdida durante a análise . A curva obtida foi:

$$C = 12511 - 6241 \log \% T$$

com coeficiente de correlação ( $r^2$ ) de 0,96.

#### D.2.2. Segunda Curva

Os dados obtidos para a segunda calibração estão na Tabela D.2.

TABELA D.2. Dados para a segunda calibração

amostra	concentração (mg/l)	transmitância (%)
1	0	94,5
	0	95,8
2	50	93,4
3	500	80,7
	500	80,6
4	1000	68,2
	1000	64,5
5	1500	54,5
	1500	62,4
6	2000	57,4
	2000	47,8
7	3000	40,5
	3000	34,1
8	5000	24,8
	5000	17,9

A duplicata da amostra 2 foi perdida, coincidentemente, durante a

análise. A curva obtida foi:

$$C = 14723 - 7452 \log \% T$$

com coeficiente de correlação ( $r^2$ ) de 0,97.

#### D.2.2. Resultados

Com estas duas equações, cada uma utilizada para os dados obtidos com os reagentes para as quais foram determinadas, calculou-se a concentração dos ácidos voláteis, em termos de ácido acético, presente tanto no afluente como no efluente do biodigestor em estudo. Estes dados estão apresentados nas Tabelas C.1 e C.2 relativas às análises físico-químico-bacteriológicas e no gráfico 5.16.

ANEXO E

Resultados das análises do valor fertilizante do afluente e efluente ao biodigestor

TABELA E.1. Valor fertilizante do Afluente (Análises realizadas pela CATI - Campinas)

Data	Umidade (%)	N <sub>total</sub> (%)	P <sub>total</sub> (%)	K <sub>total</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fibra Bruta (%)	Mat. Mineral (%)	Mat. Orgânica (%)	pH	S (%)	C/N
18/4	96,22	0,06	0,05	0,07			0,97	13,69	3,11	6,94	0,06	29,79
26/4	89,25	0,19	0,31	0,17			2,61	13,82	8,59	6,39	0,04	24,95
03/5	92,60	0,13	0,10	0,18	0,11	0,06	1,80	15,08	6,18	6,67	0,02	
10/5	94,11	0,08	0,16	0,14	0,09	0,04	2,00	15,02	4,70	6,98		
15/5	92,59	0,11	0,11	0,20	0,10	0,07	1,92	15,70	6,22	6,22	0,22	
22/5	93,79	0,07	0,07	0,13	0,09	0,04	1,43	16,76	4,82	6,93	0,16	
29/5	92,17	0,08	0,06	0,17	0,11	0,05		16,79	6,54	7,06	0,35	
05/6	94,71	0,07	0,06	0,31	0,08	0,05	1,28	16,87	4,50	6,89	0,28	
12/6	90,60	0,14	0,09	0,34	0,22	0,01	2,18	15,48	7,44	6,59	0,16	29,50
19/6	93,49	0,10	0,01	0,21	0,11	0,04	3,31	16,11	5,23	7,05	0,15	29,10
03/7	92,85	0,13	0,08	0,29	0,09	0,03	2,02	14,10	5,20	6,87	0,16	22,23
10/7	95,41	0,06	0,06	0,15	0,07	0,03	1,24	15,65	3,57		0,11	33,00
17/7	92,15	0,14	0,05	0,20	0,06	0,20	1,96	1,27	6,45	6,99	0,36	25,57
24/7	93,76	0,10	0,09	0,20	0,15	0,02	1,51	15,62	5,19	6,99	0,28	28,80
31/7	97,61	0,05	0,04	0,06	0,05	0,03	0,57	17,42	1,83	6,22	0,11	20,20
07/8	92,69	0,12	0,10	0,14	0,14	0,04	1,28	16,55	5,91	6,13	0,28	27,33
14/8	92,10	0,12	0,13	0,14	0,14	0,06	2,16	15,47	6,48	6,27	0,34	29,00
21/8	91,70	0,12	0,15	0,10	0,17	0,05	2,31	13,39	7,00	6,53	0,24	32,42
28/8	93,97	0,09	0,06	0,08	0,12	0,06	1,76	14,25	5,04	6,60	0,22	31,11

continua...

TABELA E.1. continuação

Data	Umidade (%)	N total (%)	P total (%)	K total (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fibra Bruta (%)	Mat. Mineral (%)	Mat. Orgânica (%)	pH	S	C/N
04/9	93,16	0,09	0,06	0,08	0,12	0,06	1,76	14,25	5,04	6,60	0,22	31,11
11/9	92,27	0,08	0,08	0,11	0,08	0,05	1,65	9,47	5,06	6,82	0,15	35,13
18/9	95,36	0,08	0,10	0,15	0,11	0,04	1,36	15,80	3,79	6,96	0,13	26,38
25/9	93,83	0,10	0,08	0,13	0,13	0,30	1,68	17,00	4,92	6,29	0,15	27,30
02/10	93,69	0,10	0,09	0,12	0,07	0,07	1,59	16,89	5,14	5,84	0,12	28,60
09/10	94,11	0,14	0,08	0,06	0,10	0,04	1,69	0,35	4,73	6,62	0,15	
17/10	94,37	0,09	0,09	0,13	0,09	0,10	1,52	17,11	4,44	5,84	0,15	27,44
23/10	94,26	0,08	0,13	0,04	0,12	0,03	1,58	15,24	4,62	6,44	0,10	32,13
30/10	94,27	0,09	0,08	0,05	0,12	0,07	1,55	15,51	4,66	5,51	0,13	28,78
06/11	93,59	0,11	0,08	0,10	0,12	0,04	1,95	14,14	5,08	5,85	0,10	25,64
12/11	92,86	0,11	0,10	0,09	0,11	0,06	2,11	14,39	5,90	6,75	0,13	28,52
20/11	94,16	0,10	0,10	0,12	0,09	0,03	1,77	14,08	4,79	6,43	0,11	26,61
27/11	94,45	0,08	0,10	0,13	0,01	0,08	1,62	15,03	4,51	6,61	0,10	31,38

TABELA E.2. Valor fertilizante do Efluente (Análises realizadas pela CATI - Campinas).

Data	Umidade (%)	N <sub>total</sub> (%)	P <sub>total</sub> (%)	K <sub>total</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fibra Bruta (%)	Mat. Mineral (%)	Mat. Orgânica (%)	pH	S (%)	C/N
18/4	93,29	0,12	0,08				1,60	15,12	5,36	6,39	0,05	24,83
26/4	95,25	0,10	0,14	0,07			1,12	16,31	4,41	7,09	0,03	24,50
03/5	92,60	0,14	0,12	0,19	0,14	0,06	1,63	16,78	6,02	7,09	0,03	
10/5	96,44	0,06	0,05	0,07	0,04	0,05	0,81	15,82	2,80	7,49	0,14	
15/5	95,62	0,08	0,07	0,06	0,03		1,17	16,86	3,55	7,19	0,06	
22/5	95,69	0,10	0,08	0,09	0,06	0,03	1,01	16,62	3,36	7,15	0,10	
29/5	98,61	0,04	0,08	0,00	0,03	0,01	0,37	22,07	1,06	7,16	0,06	
05/6	95,58	0,09	0,06	0,23			1,04	17,18	4,50	7,38	0,10	
12/6	95,73	0,08	0,02	0,23	0,05	0,01	0,94	8,33	3,82	7,26	0,10	26,50
19/6	95,89	0,08	0,03	0,19	0,05	0,02	1,00	14,05	3,28	7,31	0,10	22,75
03/7	93,72	0,13	0,09	0,12	0,10	0,03	1,53	16,36	4,88	6,94	0,16	20,85
10/7	96,73	0,05	0,05	0,10	0,06	0,03	0,88	16,24	2,54		0,09	28,60
17/7	97,35	0,06	0,04	0,07	0,04	0,03	0,65	0,52	2,08	7,16	0,12	19,17
24/7	97,57	0,04	0,04	0,09	0,05	0,01	0,56	17,48	1,93	7,38	0,11	26,75
31/7	90,19	0,22	0,10	0,25	0,21	0,07	2,52	15,93	7,64	6,24	0,43	19,32
07/8	95,08	0,09	0,03	0,10	0,10	0,08	0,72	17,07	3,89	6,31	0,19	24,00
14/8	93,72	0,09	0,08	0,14	0,11	0,07	1,12	14,64	3,90	6,25	0,19	24,11
21/8	91,11	0,15	0,11	0,21	0,17	0,04	2,21	16,11	6,67	7,23	0,28	24,73
28/8	95,72	0,07	0,06	0,19	0,09	0,04	1,23	16,47	3,47	6,89	0,15	27,57

continua...

TABELA E.2. continuação

Data	Umidade (%)	N <sub>total</sub> (%)	P <sub>total</sub> (%)	K <sub>total</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fibra Bruta (%)	Mat. Mineral (%)	Mat. Orgânica (%)	pH	S (%)	C/N
04/9	93,74	0,10	0,09	0,28	0,16	0,02	1,69	1,05	4,94	6,91	0,22	27,40
11/9	93,61	0,12	0,10	0,50	0,14	0,01	1,71	22,70	4,71	6,97	0,19	21,83
18/9	94,49	0,10	0,09	0,10	0,12	0,02	1,60	16,55	4,44	6,04	0,15	24,70
25/9	94,21	0,11	0,08	0,25	0,12	0,03	1,62	17,01	4,59	6,91	0,14	23,18
02/10	92,11	0,12	0,12	0,13	0,10	0,11	2,01	17,62	6,29	7,42	0,18	24,93
09/10	94,63	0,09	0,08		0,07	0,06	1,43	5,38	4,22	6,99	0,15	26,00
17/10	94,86	0,08	0,08	0,02	0,03	0,06	1,39	19,67	3,99	6,21	0,13	27,75
23/10	94,59	0,09	0,09	0,04	0,09	0,04	1,48	18,06	4,28	7,08	0,15	26,44
30/10	95,13	0,08	0,08	0,04	0,09	0,04	1,13	17,78	3,81	6,07	0,10	26,50
06/11	95,06	0,08	0,08	0,08	0,11	0,02	1,06	18,37	3,83	6,32	0,10	26,63
12/11	94,41	0,10	0,10	0,10	0,09	0,05	1,53	18,62	4,35	7,08	0,10	25,21
20/11	95,34	0,08	0,09	0,12	0,10	0,02	1,30	18,01	3,70	7,12	0,10	25,69
27/11	95,66	0,07	0,08	0,12	0,07	0,06	1,26	17,64	3,42	7,21	0,08	27,14