

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MARIA MARGARIDA FALCÃO E CUNHA DE CAMPOS GUSMÃO**

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM DIFERENTES SISTEMAS DE CRIAÇÃO  
DE SUÍNOS EM SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Paulo Belli Filho, Dr.

**Florianópolis, SC**

**Outubro - 2008**

### **Ficha Catalográfica**

Gusmão, Maria Margarida Falcão e Cunha de Campos

**Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina.** Maria Margarida Falcão e Cunha de Campos Gusmão – Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2008. 170 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Paulo Belli Filho, Dr.

Título em inglês: Biogas production in different systems of swine creation in Santa Catarina.

1. Introdução, 2. Objetivos, 3. Revisão Bibliográfica, 4. Metodologia, 6. Resultados e Discussões, 6. Conclusões e Recomendações, Referências Bibliográficas

MARIA MARGARIDA FALCÃO E CUNHA DE CAMPOS GUSMÃO

**“PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM DIFERENTES SISTEMAS DE CRIAÇÃO DE SUÍNOS EM SANTA CATARINA”**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

na Área de Engenharia Ambiental.

Aprovado por:

---

Pesq. Paulo Armando V. de Oliveira, Dr.

---

Prof. Armando Borges de Castilhos Jr., Dr.

---

Prof. Sebastião Roberto Soares  
(Coordenador)

---

Prof. Paulo Belli Filho, Dr.  
(Orientador)

Florianópolis, SC

Outubro - 2008

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Professor Paulo Belli Filho, por todo o apoio e disponibilidade na orientação ao longo deste trabalho.

Ao Dr. Paulo Armando Victória de Oliveira, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, pelas considerações e sugestões, durante a execução deste trabalho.

À Iria Araujo, pela amizade, orientação, colaboração e disponibilidade sempre demonstrada ao longo destes meses e pelas contribuições finais do trabalho.

A Sadia Concórdia S.A. pela possibilidade de realização do trabalho de avaliação do biogás nas granjas de produção de suínos de seus integrados.

Ao Eng.º Alexandre Matter, coordenador da área de meio ambiente da Sadia Concórdia S.A., ao Guilherme Dalmazo e à Nayana Moreira, pela colaboração, orientação e disponibilidade na realização deste trabalho.

Aos proprietários das granjas localizadas em Braço do Norte, Sr. Valdir Wiggers e Sr. Maurício Meurer, e à cooperativa de Campos Novos, pela disponibilidade de realização da avaliação do biogás em suas propriedades.

Devo um agradecimento muito especial aos meus pais, Luísa e Quim, por terem me dado esta oportunidade única, à minha irmã Francisca, pela ajuda através da Internet, e aos meus irmãos Pedro e João.

Ao Rafa, meu namorado, pela paciência, companhia e compreensão, especialmente, neste último ano.

Ao Alan Henn, pela ajuda e incentivo inicial desta pesquisa.

A todos que trabalham no Labeflu, em especial à Anigeli, ao Rodrigo e ao Wilian, pela companhia e ajuda ao longo do trabalho de campo e de laboratório.

Ao Hugo Gosmann, pelo apoio e pelas contribuições ao longo do trabalho.

A todos os que trabalham no LIMA, em especial à Arlete e à D. Eliane.

À Capes, pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos amigos que se encontram em Portugal, mas que sempre me deram apoio.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada.

## RESUMO

As emissões de metano a partir da geração de dejetos animais têm contribuído para o aumento dos gases de efeito estufa, intensificando o problema do aquecimento global. A utilização de biodigestores no tratamento de dejetos animais além de reduzir a carga orgânica dos dejetos, também diminui a emissão de GEE com a possibilidade de gerar energia. O estado de Santa Catarina é o principal estado produtor de suínos do Brasil, e possui um efetivo de suínos da ordem de 7,158 milhões de cabeças. Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a composição e a quantidade produzida de biogás em 13 reatores anaeróbios aplicados no tratamento de dejetos de animais em diferentes regiões de Santa Catarina, onde a suinocultura é significativa. Além da análise do biogás, avaliou-se o afluente e efluente de cada biodigestor em termos de pH, Eh, T, DQO e SV. A composição média do biogás na maioria dos casos variou entre 26,6 e 39,9% para a concentração do CO<sub>2</sub> e entre 62,2 e 74,8% para o CH<sub>4</sub>. A produção média de biogás registrada nos biodigestores variou entre 4,5 e 8 m<sup>3</sup>/h, exceto em 3 propriedades, que se observaram valores menores de vazão entre 0,8 e 3 m<sup>3</sup>/h. A eficiência de remoção de DQO, na maioria dos biodigestores foi satisfatória, com uma média de 75% no verão, e de 78% no outono. Em relação aos SV, a eficiência de remoção nos biodigestores apresentou valores médios de 80% (verão) e 69% (outono). A média de produção de biogás diária por matriz e por animal, obtida neste trabalho foi de 0,61 m<sup>3</sup> e 0,26 m<sup>3</sup>, respectivamente. Considerando esses dados e o número de matrizes e de suínos em fase de terminação existentes no estado, Santa Catarina tem um potencial de geração de biogás em torno de 493,03 milhões de m<sup>3</sup>/ano. Concluiu-se que utilização de reatores anaeróbios nos sistemas de tratamento dos dejetos de suínos, além de removerem a matéria orgânica e os sólidos voláteis existentes nos dejetos brutos, possibilitam a formação do biogás com boa composição em termos de CH<sub>4</sub> e com a possibilidade real de sua utilização para geração de energia. Com este tipo de tratamento minimiza-se o impacto causado pela liberação dos GEE na atmosfera, beneficiando o meio ambiente.

**Palavras-chave:** biogás, dejetos de suínos, digestão anaeróbia, metano

## **ABSTRACT**

Methane emissions deriving from animal wastes have contributed to increase the gases responsible for the greenhouse effect, intensifying the global warming problem. The treatment of animal wastes with biodigesters not only reduces the organic matter, but also decreases the greenhouse gas emissions, with the possibility of energy production. Santa Catarina's state is the main swine producer state in Brazil, with a head count of about 7,158 million animals. The main goal for this paper was to evaluate the composition and quantify the production of biogas in 13 anaerobic reactors used for the treatment of animal wastes, in the different regions of Santa Catarina with relevant swine production. Additionally, the influent and effluent of each biodigester were evaluated for pH, Eh, T, COD and VS levels. In most cases, the average substance of the biogas contained a CO<sub>2</sub> concentration percentage from 26,6 to 39,9%, and the concentration levels for the CH<sub>4</sub> varied between 62,2 and 74,8%. The registered average of biogas production in the majority of the biodigesters took values between 4,5 and 8 m<sup>3</sup>/h, with the exception of 3 properties, where the observed flux values were lower, and between 0,8 and 3 m<sup>3</sup>/h. For most of the biodigesters, the COD removal efficiency was satisfactory, with an average of 75% in the summer, and 78% in the autumn. The removal efficiency concerning VS presented average values of 80% (summer) and 69% (autumn). The daily average production of biogas by sow and by animal reached respectively 0,61 m<sup>3</sup> and 0,26 m<sup>3</sup>. Bearing in mind these values and the number of sows and finishing swines, Santa Catarina's yearly estimated biogas production potential is around 493,03 million de m<sup>3</sup>/year. In conclusion, the handling of swine wastes by anaerobic reactors facilitates the removal of the organic matter and solids from the crude wastes, but most importantly allows the formation of biogas with good composition in terms of CH<sub>4</sub> and the real possibility of its use to generate energy. This type of treatment minimizes the undesirable effects of the greenhouse gases in the atmosphere, with benefits to the environment.

**KEYS WORDS:** biogas, swine wastes, anaerobic digestion, methane

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Esquema da digestão anaeróbia da matéria orgânica. ....	33
<b>Figura 2</b> – Esquema de uma esterqueira. ....	40
<b>Figura 3</b> – Esquema de uma bioesterqueira. ....	40
<b>Figura 4</b> – Biodigestor modelo indiano.....	42
<b>Figura 5</b> – Representação esquemática de um biodigestor de lodo de fluxo ascendente.....	43
<b>Figura 6</b> – Esquema do biodigestor.....	44
<b>Figura 7</b> – Vista externa do biodigestor. ....	45
<b>Figura 8</b> – Representação esquemática de uma lagoa anaeróbia. ....	46
<b>Figura 9</b> – Representação esquemática de uma lagoa anaeróbia coberta.....	47
<b>Figura 10</b> – Esquema de funcionamento de um Reator UASB.....	48
<b>Figura 11</b> – Vista externa do reator. ....	49
<b>Figura 12</b> – Mapa com a localização das regiões das propriedades estudadas. ....	61
<b>Figura 13</b> – Biodigestor e lagoa de armazenamento da propriedade P1. ....	64
<b>Figura 14</b> – Propriedade P2: (a) Biodigestor e (b) lagoa de armazenamento. ....	65
<b>Figura 15</b> – Biodigestor, canalização do biogás e selo hídrico, da propriedade P1.....	65
<b>Figura 16</b> – Propriedade P2: (a) Biodigestor, (b) canalização do biogás e (c) queimador. ....	66
<b>Figura 17</b> – Biodigestor e lagoa de armazenamento da propriedade: (a) P6, e (b) P7.....	68
<b>Figura 18</b> – Sistema de tratamento da propriedade de Campos Novos, P8. (a) 2 biodigestores em série, (b) Biodigestor seguido da primeira lagoa de armazenamento e lagoa aerada.....	68
<b>Figura 19</b> – (a) Queimador da propriedade P6 e (b) queimador da propriedade P7. ....	69
<b>Figura 20</b> – Sistema de tratamento da propriedade P10. (a) Biodigestor, e (b) primeira lagoa de armazenamento.....	70
<b>Figura 21</b> – Sistema de tratamento da propriedade P12. (a) Biodigestor e (b) Lagoa de armazenamento.....	71
<b>Figura 22</b> – (a) Queimador da propriedade P12. (b) Queimador da propriedade P13. ....	71
<b>Figura 23</b> – Medidor Dräger X-am 7000 .....	72
<b>Figura 24</b> - Termo-Anemômetro TA45.....	73
<b>Figura 25</b> – Esquema do adaptador utilizado nas medições. ....	74

<b>Figura 26</b> – (a) Tubulação conectada à saída de gás do biodigestor; (b) Medidor de gases (Dräger X-am 7000), tubulação e termo-anemômetro (TA45). .....	75
<b>Figura 27</b> – Diferentes conexões entre o adaptador desenvolvido e a canalização de saída .....	75
<b>Figura 28</b> – Temperatura ambiente e temperatura do afluente e efluente dos biodigestores estudados na época do verão. ....	85
<b>Figura 29</b> – Temperatura ambiente e temperatura do afluente e efluente dos biodigestores estudados na época do outono. ....	86
<b>Figura 30</b> – pH no afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão. ....	87
<b>Figura 31</b> – pH no afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono. ....	88
<b>Figura 32</b> – Potencial redox (mV) no afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão. ....	89
<b>Figura 33</b> – Potencial redox (mV) no afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono. ....	90
<b>Figura 34</b> – Sólidos Totais (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão. ....	91
<b>Figura 35</b> – Sólidos Totais (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono. ....	93
<b>Figura 36</b> – Sólidos Voláteis (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão. ....	95
<b>Figura 37</b> – Sólidos Voláteis (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono. ....	96
<b>Figura 38</b> – Relação SV/ST obtida para os biodigestores medidos na época do verão. ....	99
<b>Figura 39</b> – Relação SV/ST obtida para os biodigestores medidos na época do outono. ....	100
<b>Figura 40</b> – Demanda química de oxigênio (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão. ....	101
<b>Figura 41</b> – Demanda química de oxigênio (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono. ....	102
<b>Figura 42</b> - Concentrações de CH <sub>4</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, na época de verão. ....	105
<b>Figura 43</b> - Concentrações de CH <sub>4</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, na época de outono. ....	107

<b>Figura 44</b> – Distribuição dos dados da concentração de CH <sub>4</sub> (%) nos biodigestores..	108
<b>Figura 45</b> - Concentrações de CO <sub>2</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, na época de verão.	109
<b>Figura 46</b> - Concentrações de CO <sub>2</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, na época de outono.	110
<b>Figura 47</b> – Distribuição dos dados da concentração de CO <sub>2</sub> (%) nos biodigestores.	111
<b>Figura 48</b> - Concentrações de O <sub>2</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, durante a época de verão.	112
<b>Figura 49</b> - Concentrações de O <sub>2</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, durante a época de outono.	113
<b>Figura 50</b> – Distribuição dos dados da concentração de O <sub>2</sub> (%) nos biodigestores.	114
<b>Figura 51</b> - Produção quantitativa do biogás, no período da manhã e da tarde, nas propriedades avaliadas durante a época de verão.	116
<b>Figura 52</b> – Biodigestor da propriedade P3.	118
<b>Figura 53</b> - Produção quantitativa do biogás, no período da manhã e da tarde, nas propriedades avaliadas durante a época de outono.	119
<b>Figura 54</b> – Produção de biogás e de CH <sub>4</sub> em função de SV removidos - Verão.	122
<b>Figura 55</b> – Produção de biogás e de CH <sub>4</sub> em função de SV removidos - Outono.	123
<b>Figura 56</b> – Produção de biogás e de CH <sub>4</sub> em função de DQO removida – Verão.	125
<b>Figura 57</b> – Produção de biogás e de CH <sub>4</sub> em função de DQO removida - Outono.	126
<b>Figura 58</b> – Produção de biogás e de CH <sub>4</sub> /matriz.dia nas propriedades de CC e UPL.	127
<b>Figura 59</b> – Produção de biogás e de CH <sub>4</sub> /animal.dia nas propriedades de CT.	128

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Efetivo de suínos nas regiões brasileiras e nos Estados do sul.....	23
<b>Tabela 2.</b> Efetivo de suínos, segundo as Mesorregiões, as Microrregiões e alguns Municípios do Estado de Santa Catarina, em 2006. ....	25
<b>Tabela 3.</b> Produção de dejetos de suínos em diferentes fases de desenvolvimento. ....	27
<b>Tabela 4.</b> Produção diária de dejetos de suínos. ....	27
<b>Tabela 5.</b> Caracterização média de dejetos de suínos estudados no Brasil. ....	28
<b>Tabela 6.</b> Caracterização dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação, observadas na região oeste de Santa Catarina. ....	29
<b>Tabela 7.</b> Principais riscos ambientais associados ao manejo inadequado dos resíduos da produção de suínos. ....	30
<b>Tabela 8.</b> Principais níveis de temperatura utilizados na digestão anaeróbia. ....	34
<b>Tabela 9.</b> Composição média do biogás. ....	51
<b>Tabela 10.</b> Produção diária de biogás e de CH <sub>4</sub> segundo o sistema de criação. ....	54
<b>Tabela 11.</b> Dados operacionais e de desempenho de diferentes trabalhos nacionais. ....	59
<b>Tabela 12.</b> Dados operacionais e de desempenho de diferentes trabalhos internacionais ....	60
<b>Tabela 13.</b> Localização e caracterização das propriedades de ciclo completo (CC). ....	63
<b>Tabela 14.</b> Número de animais e características do biodigestor das propriedades de CC. ....	64
<b>Tabela 15.</b> Localização e caracterização das propriedades de UPL. ....	66
<b>Tabela 16.</b> Número de animais e características do biodigestor das propriedades de UPL. ....	67
<b>Tabela 17.</b> Caracterização das propriedades de CT. ....	69
<b>Tabela 18.</b> Número de animais e características do biodigestor das propriedades de CT. ....	70
<b>Tabela 19.</b> Faixas de concentração dos gases medidos pelo Drager X-am 7000. ....	72
<b>Tabela 20.</b> Escala de medição e precisão do Termo-Anemômetro TA45. ....	73
<b>Tabela 21.</b> Cronograma dos testes e medições. ....	78
<b>Tabela 22.</b> Identificação e Produção diária de dejetos de suínos (m <sup>3</sup> /dia) das treze propriedades estudadas. ....	83
<b>Tabela 23.</b> Temperaturas médias ambientais. ....	84
<b>Tabela 24.</b> Eficiência de remoção dos sólidos totais (%) nos biodigestores. ....	93
<b>Tabela 25.</b> Eficiência de remoção de sólidos voláteis (%) nos biodigestores. ....	97

<b>Tabela 26.</b> Carga Orgânica Volumétrica nos biodigestores. ....	98
<b>Tabela 27.</b> Eficiência de remoção da demanda química de oxigênio (%) nos biodigestores.....	103
<b>Tabela 28.</b> Avaliação preliminar da composição média do biogás (%), nas propriedades P1 e P2. .....	104
<b>Tabela 29.</b> Concentração de CH <sub>4</sub> (%) entre as propriedades com o mesmo sistema de criação.	106
<b>Tabela 30.</b> Concentração de CO <sub>2</sub> (%) entre as propriedades com o mesmo sistema de criação.	110
<b>Tabela 31.</b> Concentração de O <sub>2</sub> (%) entre as propriedades com o mesmo sistema de criação. ..	112
<b>Tabela 32.</b> Temperatura do biogás e vazão média do biogás obtida nas propriedades. ....	117
<b>Tabela 33.</b> Produção de biogás e principais parâmetros intervenientes. ....	120
<b>Tabela 34.</b> Média e desvio padrão da produção biogás, e de CH <sub>4</sub> , em função de SV removidos em cada sistema de criação. ....	124
<b>Tabela 35.</b> Média e desvio padrão da produção de biogás e de CH <sub>4</sub> , em função de DQO removida em cada sistema de criação. ....	126
<b>Tabela 36.</b> Produção de biogás e de CH <sub>4</sub> nas propriedades medidas no outono.....	129
<b>Tabela 37.</b> Média e desvio padrão da produção biogás e de CH <sub>4</sub> em cada sistema de criação...	129
<b>Tabela 38.</b> Efetivo de suínos segundo a categoria dos animais em Santa Catarina. ....	130
<b>Tabela 39.</b> Potencialidade de geração de biogás, CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> ) em Santa Catarina. ....	131
<b>Tabela 40.</b> Potencialidade de geração de biogás, CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> (tonelada) em Santa Catarina. ....	131

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACCS	Associação Catarinense de Criadores de Suínos
AGV	Ácidos Graxos Voláteis
CC	Ciclo Completo
CCE	Centro para a Conversão de Energia
CE	Comércio de emissões
CERs	Reduções Certificadas de Emissões
CH <sub>4</sub>	Gás Metano
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
CO	Carga Orgânica
COV	Carga Orgânica Volumétrica
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COPs	Conferências das Partes
CT	Crescimento e Terminação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Eh	Potencial de oxi-redução ou potencial redox
ENS	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Suínos e Aves
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FAPESC	Fundação de Apoio à Pesquisa Científica do Estado de Santa Catarina
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPS	Global Positioning System
H <sub>2</sub>	Hidrogênio
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> S	Gás Sulfídrico
IC	Implementação Conjunta
ICEPA	Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel Climate Change
K	Potássio
LAC	Levantamento Agropecuário Catarinense
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente

MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de desenvolvimento limpo
mV	Mili Volt
NAE	Núcleo de Assuntos Estratégicos
N	Nitrogênio
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NH <sub>3</sub>	Amonia
NTK	Nitrogênio Total Kjeldhal
O <sub>2</sub>	Oxigênio
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogênionico
PPM	Produção Pecuária Municipal
PVC	Policloreto de Vinila
RSO	Resíduos sólidos urbanos
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
T °C	Temperatura em graus Celsius
TRH	Tempo de Retenção Hidráulico
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UPL	Unidade de Produção de Leitões

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>1.1 Considerações iniciais</b> .....	17
<b>1.2 JUSTIFICATIVA</b> .....	20
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	22
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	22
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	22
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
<b>3.1 A suinocultura</b> .....	23
3.1.1 A suinocultura no Brasil.....	23
3.1.2 A suinocultura em Santa Catarina.....	24
3.1.3 Dejetos de Suínos: Produção, Composição e seus impactos ambientais .....	26
<b>3.3 Digestão anaeróbia</b> .....	31
3.3.1 Fundamentos da digestão anaeróbia.....	31
3.3.2 Fases da Digestão Anaeróbia .....	31
3.3.3 Fatores ambientais intervenientes .....	33
<b>3.4 Tecnologias de digestão anaeróbia e sistemas de armazenamento</b> .....	38
3.4.1 Introdução.....	38
3.4.2 Esterqueira e bioesterqueira .....	39
3.4.3 Biodigestores rurais.....	41
3.4.4 Lagoa anaeróbia .....	45
3.4.5 Lagoa anaeróbia coberta.....	46
3.4.6 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo, Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) .....	47
<b>3.5 Biogás</b> .....	50
3.5.1 Caracterização .....	50
3.5.2 Vantagens do biogás.....	54
3.5.3 Principal componente do biogás: o metano.....	55
3.5.4 Experiências com biodigestores anaeróbios e produção de biogás com dejetos suínos .....	56
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	61

<b>4.1 Considerações iniciais</b> .....	61
<b>4.2 Caracterização das propriedades estudadas</b> .....	62
4.2.1.1 Considerações gerais .....	62
4.2.1.2 Características climáticas .....	62
4.2.2 Propriedades de Ciclo Completo (CC).....	63
4.2.3 Propriedades com sistema de Unidade Produtora de Leitões (UPL) .....	66
4.2.4 Propriedades de Crescimento e Terminação (CT) .....	69
<b>4.3 Análises do biogás</b> .....	71
4.3.1 Período das análises .....	71
4.3.2 Medição e avaliação da composição do biogás.....	72
4.3.3 Medição da vazão do biogás .....	73
4.3.4 Condições para as medições em campo .....	74
4.3.5 Determinação da vazão .....	76
<b>4.4 Análises dos dejetos</b> .....	77
4.4.1 Sólidos totais e voláteis .....	77
4.4.2 Demanda Química de Oxigênio total (DQOtotal).....	77
<b>4.5 Cronograma dos testes e medições</b> .....	78
<b>4.6 Tratamento dos dados</b> .....	79
4.6.1 Análise descritiva .....	79
<b>4.7 Cálculos</b> .....	79
4.7.1 Estimativa da quantidade de dejetos produzidos.....	79
4.7.2 Carga orgânica aplicada e removida .....	80
4.7.3 Eficiência de remoção .....	81
<b>4.8 Regionalização de coeficientes</b> .....	81
4.8.1 Produção de biogás e de CH <sub>4</sub> em relação à quantidade de carga orgânica removida .....	81
4.8.2 Produção de biogás e de CH <sub>4</sub> em relação ao número de matrizes e de animais .....	81
<b>4.9 Estimativa do potencial de geração de biogás e de CH<sub>4</sub> em Santa Catarina</b> .....	81
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	83
<b>5.1 Identificação e Caracterização das Propriedades</b> .....	83
<b>5.2 Análise dos parâmetros físico-químicos <i>in situ</i></b> .....	84
5.2.1 Temperatura .....	85

5.2.3 Potencial Redox (Eh) .....	88
<b>5.3 Avaliação de série de sólidos .....</b>	<b>90</b>
5.3.1 Sólidos Totais (ST).....	90
5.3.2 Sólidos Voláteis (SV).....	94
5.3.2.1 Avaliação dos biodigestores.....	94
5.3.2.2 Carga orgânica volumétrica em termos de sólidos voláteis .....	97
5.3.3 Relação SV/ ST .....	99
<b>5.4 Demanda Química de Oxigênio total (DQOt).....</b>	<b>101</b>
<b>5.5 Avaliação Preliminar da Composição do biogás .....</b>	<b>103</b>
<b>5.6 Avaliação da composição do biogás nos biodigestores.....</b>	<b>104</b>
5.6.1 Metano (CH <sub>4</sub> ) .....	104
5.6.2 Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	109
5.6.3 Oxigênio (O <sub>2</sub> ) .....	111
5.6.4 Gás sulfídrico (H <sub>2</sub> S) .....	114
5.6.5 Observação Final.....	115
<b>5.7 Produção quantitativa do biogás (vazão) .....</b>	<b>115</b>
<b>5.8 Produção de biogás, eficiências de remoção e carga orgânica .....</b>	<b>120</b>
<b>5.9 Regionalização de coeficientes.....</b>	<b>121</b>
5.9.1 Considerações iniciais .....	121
5.9.2 Produção de biogás e de metano em relação à quantidade de SV removidos.....	122
5.9.3 Produção de biogás e de metano em relação à quantidade de DQO removida.....	124
5.9.4 Produção de biogás e de metano em relação ao número de matrizes e de animais.....	127
<b>5.10 Potencial de Santa Catarina .....</b>	<b>130</b>
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>132</b>
<b>6.1 Conclusões.....</b>	<b>132</b>
<b>6.2 Recomendações.....</b>	<b>134</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>135</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>143</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações iniciais

A mudança global do clima é um dos mais graves problemas ambientais deste século. O termo mudança do clima refere-se à variação do clima global ou dos climas regionais da Terra ao longo do tempo. Estas variações dizem respeito a mudanças de temperatura, precipitação, nebulosidade e outros fenômenos climáticos em relação às médias históricas. Nos últimos 100 anos (1906-2005), registrou-se um aumento de aproximadamente 0,74 °C na temperatura média da Terra, segundo o quarto relatório do IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change, 2007).

O aquecimento global é o aumento da temperatura média da terra em um curto espaço de tempo. Este problema vem sendo causado pela intensificação da emissão dos gases de efeito estufa (GEE), que, por sua vez, está relacionada ao aumento da concentração atmosférica de determinados gases, principalmente o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e óxido nitroso N<sub>2</sub>O.

A importância de cada um desses GEE depende da sua concentração na atmosfera e da capacidade de aquecer o planeta, que por sua vez, é função da capacidade de absorver a radiação térmica e do tempo de vida do gás na atmosfera. As concentrações dos gases que são diretamente influenciadas pelas atividades humanas são: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, SF<sub>6</sub> e PFCs. Desde a revolução industrial, a concentração desses gases na atmosfera vem crescendo significativamente, aumentando a quantidade de energia que fica retida no planeta. De todos esses gases, o CO<sub>2</sub> é o gás que mais contribuiu para esse aquecimento global, sendo responsável por cerca de 60% do aumento do efeito estufa. O metano vem em segundo lugar com 20% e o óxido nitroso com cerca de 6% (Houghton, 1997 apud SOUZA, 2005).

As emissões de CH<sub>4</sub> a partir da geração e do manejo de dejetos animais também têm contribuído para o aumento dos GEE.

O estado de Santa Catarina, sendo o principal estado produtor de suínos do país, possui um efetivo de suínos da ordem de 7,158 milhões de cabeças, concentrados principalmente na região oeste, seguido da região sul (IBGE, 2006).

A suinocultura é uma atividade pecuária de grande importância econômica mas origina múltiplos problemas no meio ambiente, devido à elevada produção de dejetos. Estes quando lançados diretamente no meio ambiente afetam tanto a qualidade das águas, como dos solos e do ar. No caso das águas ocorre poluição orgânica, proliferação de microrganismos entéricos e aumento das concentrações de nitrato e de cobre. A poluição dos solos resulta essencialmente das

elevadas taxas de aplicação dos dejetos como fertilizante e do excesso de fósforo. A contaminação do ar tem como efeitos o aumento da população de insetos e a geração de maus odores, além da emissão dos GEE.

No Brasil, não existem informações seguras sobre a emissão dos GEE em sistemas de tratamento de dejetos de suínos e principalmente dos gases provenientes da queima do biogás, no interior dos sistemas de produção destes animais (LIMA et al, 2001, apud OLIVEIRA, 2006).

O uso dos dejetos de animais se torna uma oportunidade viável para a co-geração de energia a partir do biogás, ou a captura de metano e sua combustão a partir do tratamento de dejetos de animal. Algumas iniciativas ocorrem nessa área, em que a principal proposta é que criadores de suínos adquiram biodigestores para suas instalações, além de estar aprovado por lei, protege o lençol freático e a camada de ozônio por meio do armazenamento dos gases. Possibilitando, posteriormente, a geração de eletricidade evitando-se assim a emissão de metano para atmosfera, (Cadernos Núcleo de Assuntos Estratégicos - NAE, 2005).

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento biológico de degradação da matéria orgânica que ocorre na ausência de oxigênio. Uma das vantagens do processo é a conversão da maior parte da carga orgânica do dejetos bruto em biogás. A digestão anaeróbia se realiza através de reações bioquímicas que se integram em diversas etapas de conversão e produções de vários compostos até se obter o  $\text{CH}_4$ . Para que o processo anaeróbio seja eficiente, diversos fatores ambientais, tais como: pH, alcalinidade, temperatura, relação de nutrientes, amônia, sulfato e metais pesados, devem estar em acordo com as suas necessidades.

A produção de biogás ocorre através de uma grande variedade de resíduos orgânicos como lixo doméstico, resíduos de atividades agrícolas e pecuárias, suinocultura, lodo de esgoto, entre outros. É composto por uma mistura gases como metano, gás carbônico, e em menor quantidade, hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e água. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 50% e 75% de metano, de 25% a 40% de dióxido de carbono e 5% de outros gases (PIRES, 2000; apud PINTO, 2006).

O metano, principal componente do biogás, é um gás de efeito estufa e é considerado vinte e uma vezes mais nocivo que o dióxido de carbono sendo responsável por 20% do aquecimento global (Environmental Protection Agency - EPA, 2007) mas suas concentrações são mais baixas e dura menos tempo na atmosfera. Por tal razão, é necessário o aproveitamento desse

gás a partir do manejo adequado dos dejetos de animais por meio dos biodigestores anaeróbios. A tecnologia segue as orientações do Protocolo de Quioto, que autoriza a redução na emissão de GEE, através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), destinado a países em desenvolvimento. Os investimentos na tecnologia são revertidos em créditos de carbono, (VIANA, 2006).

O Protocolo de Quioto, estabelecido em 1997, na COP 3 (Conferência das Partes), realizada no Japão, impõe a redução das emissões de gases causadores de aquecimento global. Os países industrializados são obrigados, até 2012, reduzir suas emissões em média 5.2% em relação aos níveis de 1990. Os países em desenvolvimento não tiveram de reduzir emissões neste primeiro período de compromisso. O acordo entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, após mais de sete anos de negociações (Folha de São Paulo, 2006).

O MDL é o único mecanismo que admite a participação voluntária de países em desenvolvimento. O MDL permite a certificação de projetos de redução de emissões nos países em desenvolvimento e a posterior venda das reduções certificadas de emissão, para serem utilizadas pelos países desenvolvidos como modo suplementar para cumprirem suas metas. Esse mecanismo deve implicar em reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima (Ministério da Ciência e Tecnologia, MCT, 2007).

Os créditos de carbono são certificados que os países em desenvolvimento, como o Brasil, podem emitir para cada tonelada de gases do efeito estufa que deixa de ser emitida. Ou seja, os créditos de carbono são certificados que autorizam o direito de poluir.

No Brasil já existe empresas internacionais que investem nas propriedades de criação de suínos, através da construção de biodigestores, que consistem principalmente em lagoas de tratamento de dejetos, impermeabilizadas e cobertas com lona plástica. Esses biodigestores além de fazerem um pré-tratamento dos efluentes, capturam os gases da decomposição dos dejetos, gases que causam o efeito estufa, como o CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub>. Esses gases gerados são queimados, gerando assim os créditos de carbono, que são vendidos para os países industrializados. Com o dinheiro desses créditos essas empresas pagam a obra, a manutenção, operação, remuneram o investimento e ainda repassam cerca de 10% do faturamento para o produtor.

Nos últimos anos, o Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (ENS/UFSC), em conjunto com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e

Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) têm vindo a desenvolver pesquisas relacionadas com estratégias tecnológicas e econômicas, de modo a diminuir as conseqüências da poluição ambiental proveniente da suinocultura existente no estado.

Dentro dos trabalhos realizados, a digestão anaeróbia distingue-se, como um potencial processo de tratamento, pela geração de biogás e pela possibilidade de aproveitamento do metano do biogás produzido como fonte alternativa na geração de energia elétrica.

O presente trabalho fez parte de um projeto denominado de “Potencialidades da contribuição de Santa Catarina na redução de gases efeito estufa através da conversão de metano em dióxido de carbono”, realizado pelo departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC com a colaboração da Fundação de Apoio à Pesquisa Científica do Estado de Santa Catarina (FAPESC). Este trabalho teve apoio técnico da Embrapa Suínos e Aves e da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar a composição e a quantidade de biogás e de CH<sub>4</sub> produzida em alguns reatores anaeróbios instalados no tratamento de dejetos de suínos localizados em regiões onde a suinocultura é significativa como o oeste e sul do Estado de Santa Catarina.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Atualmente existe a necessidade de reduzir os gases responsáveis pelo aquecimento global devido às conseqüências ambientais registradas pela humanidade e com riscos irreparáveis num futuro próximo. O aumento das concentrações de gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, provenientes das atividades humanas tem como resultados a redução da camada de ozônio, derretimento das camadas polares, redução de áreas agricultáveis, redução de florestas tropicais e eventos climáticos atípicos.

A produção de CH<sub>4</sub> no Brasil e de outros GEE, provenientes dos vários setores de atividades, foram inventariadas através de trabalhos realizados sob a coordenação do Ministério de Ciência e Tecnologias e com a participação de outros organismos. No entanto, muitas das informações presentes nesses trabalhos foram obtidas de pesquisas no exterior e poucas são resultados de experiências realizadas no Brasil.

Na digestão anaeróbia para dejetos de animais a produção de  $\text{CH}_4$  depende da matéria orgânica degradada, do número de animais, das características dos dejetos e das condições ambientais e operacionais do reator.

Verifica-se que é necessário determinar fatores de conversão dos dejetos de animais a  $\text{CH}_4$ , em função da eficiência de degradação de sólidos voláteis e DQO, e através da relação  $\text{CH}_4/\text{animal}$ , para diferentes características que envolvam o número de animais, tipo de criação e condições climáticas. Isso é possível através de uma avaliação de reatores anaeróbios que tratam dejetos de animais e que representam uma realidade ambiental com determinadas características produtivas e de manejo.

A avaliação da produção de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e outros gases é limitada devido à complexidade analítica e aos custos elevados para a sua realização através de cromatógrafos. No entanto, é importante identificar e quantificar com precisão as fontes de produção de  $\text{CH}_4$ .

Neste trabalho pretende-se quantificar a potencialidade de produção de biogás e de  $\text{CH}_4$ , através de medições em campo e em laboratório e obter informações regionalizadas tendo em consideração os dados obtidos: composição e produção de biogás, e as eficiências de remoção de matérias orgânica.

A importância deste trabalho consiste em mostrar que o biogás produzido no tratamento dos dejetos, através de biodigestores anaeróbios, possui uma boa qualidade e quantidade, possível de ter o seu conteúdo energético aproveitado na própria atividade, em aquecimento, refrigeração, iluminação, incubação, misturadores de ração, geradores de energia elétrica, etc., favorecendo, desse modo, o proprietário. Ao mesmo tempo com este tipo de tratamento reduz-se a carga orgânica do efluente e minimiza-se o impacto causado pela libertação dos gases de efeito estufa, principalmente do  $\text{CH}_4$ , beneficiando o meio ambiente. Já existem diversas possibilidades tecnológicas para o tratamento do biogás, eliminando o  $\text{H}_2\text{S}$  e o  $\text{CO}_2$ , permitindo a maximização do aproveitamento energético na geração de eletricidade e energia mecânica. No entanto, é necessário desenvolver mais pesquisas na área da viabilidade da utilização do biogás em longo prazo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a composição e a quantidade de biogás produzida em digestores anaeróbios aplicados no tratamento de dejetos de suínos localizados no Estado de Santa Catarina.

### 2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho constituem-se em:

- Avaliar a produção de biogás e a sua composição, em termos de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ , em treze biodigestores.
- Avaliar a eficiência na redução de DQO e SV nos biodigestores.
- Estimar parâmetros regionalizados de produção de biogás e metano em função de diferentes sistemas de criação de suínos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A suinocultura

##### 3.1.1 A suinocultura no Brasil

Analisando os vários indicadores econômicos e sociais, como a quantidade de produção, o volume de exportações, a participação no mercado internacional, o número de empregos diretos e indiretos, entre outros, a suinocultura brasileira cresceu significativamente nos últimos anos.

O Brasil possui, atualmente, o terceiro maior rebanho mundial de suínos com um plantel efetivo em torno dos 35,173 milhões de animais (IBGE, 2006), (Tabela 1). É apenas superado pelos Estados Unidos, com um rebanho superior a 60 milhões de animais e pela China que possui o maior rebanho de suínos, com mais de 460 milhões de animais (GONÇALVES & PALMEIRA, 2006). Nos últimos anos, no Brasil, o crescimento do número de suínos tem-se mantido praticamente constante.

**Tabela 1.** Efetivo de suínos nas regiões brasileiras e nos Estados do sul.

REGIÕES (R)	EFETIVO DE SUÍNOS (Nº)						R/BR (%)
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
<b>Brasil (BR)</b>	<b>32 605 112</b>	<b>32 013 227</b>	<b>32 304 905</b>	<b>33 085 299</b>	<b>34 063 934</b>	<b>35 173 824</b>	<b>100</b>
Norte	2 630 606	2 187 589	2 163 430	2 083 318	2 100 033	1 962 164	5,58
Nordeste	7 198 274	7 096 002	7 051 204	7 049 043	7 090 085	7 167 368	20,38
Sudeste	5 765 119	5 765 755	5 590 524	5 727 709	5 956 328	6 055 323	17,22
<b>Sul</b>	<b>13 978 979</b>	<b>13 649 140</b>	<b>13 941 566</b>	<b>14 457 973</b>	<b>15 090 727</b>	<b>15 984 115</b>	<b>45,44</b>
Paraná	4 385 914	4 258 075	4 364 371	4 588 053	4 547 895	4 486 035	12,75
Santa Catarina	5 516 818	5 354 113	5 432 143	5 775 890	6 309 041	7 158 596	20,35
Rio Grande do Sul	4 076 247	4 036 952	4 145 052	4 094 030	4 233 791	4 339 484	12,34
<b>Centro Oeste</b>	<b>3 314 741</b>	<b>3 314 741</b>	<b>3 558 181</b>	<b>3 767 256</b>	<b>3 826 761</b>	<b>4 004 854</b>	<b>11,39</b>

Observação: R/BR = (Número de suínos Regiões/ Número de suínos Brasil) \* 100

**Fonte: IBGE, 2006.**

Ao nível do mercado internacional, o Brasil vem aumentando sua participação, mas apenas quatro ou cinco países são responsáveis por mais de 90% do volume exportado de carne suína. O principal país que compra essa carne é a Rússia sendo responsável por mais de 50%. Uma das vantagens pelo potencial aumento da exportação de carne suína, é o fato de o Brasil estar livre de algumas doenças, tais como Pestes Suínas Africanas e a Aftosa. Além disso, a

suinocultura brasileira possui um dos mais baixos preços de produção do mercado mundial devido, principalmente, à combinação de tecnologia com um bom sistema de integração.

As atividades relacionadas à suinocultura ocupam lugar de destaque na matriz produtiva do agronegócio brasileiro, destacando-a como uma atividade de importância no âmbito econômico e social. Estima-se que mais de 730 mil pessoas dependem diretamente da cadeia produtiva da suinocultura brasileira, sendo essa atividade responsável pela renda de mais de 2,7 milhões de pessoas (ROPPA, 2002 apud GONÇALVES & PALMEIRA, 2006).

Como se pode verificar na tabela anterior (Tabela 1), dentro das regiões do Brasil, o sul é a que apresenta maior produção de suínos com cerca de 45% do total, ainda se observa que o Estado de Santa Catarina possui em torno de 20% do total, sendo o maior produtor da região sul, (IBGE, 2006).

### 3.1.2 A suinocultura em Santa Catarina

Santa Catarina de acordo com o IBGE, em 2006, possuía um efetivo de suínos da ordem de 7,158 milhões de cabeças, concentrados principalmente na região oeste, com cerca de 76,7%, seguido da região sul com 11,3% do número total do estado (Tabela 2). Conforme se observa na Tabela 2, que apresenta o número de efetivos de suínos existentes nas microrregiões e em alguns municípios de Santa Catarina, segundo dados da Produção da Pecuária Municipal (PPM) de 2006, verifica-se que dentro do oeste catarinense, Concórdia é o município com maior número de suínos da região e do Estado (29,3%).

**Tabela 2.** Efetivo de suínos, segundo as Mesorregiões, as Microrregiões e alguns Municípios do Estado de Santa Catarina, em 2006.

<b>Regiões</b>	<b>Efetivo de Suínos (Nº)</b>	<b>Regiões/SC (%)</b>
<b>Santa Catarina</b>	<b>7 158 596</b>	<b>100</b>
<b>Oeste Catarinense</b>	<b>5 491 599</b>	<b>76,71</b>
São Miguel do Oeste	591 404	8,26
Chapecó	955 326	13,35
Xanxerê	696 624	9,73
Joaçaba	1 149 513	16,06
Concórdia	2 098 732	29,32
<b>Norte Catarinense</b>	<b>251 402</b>	<b>3,51</b>
Canoinhas	196 607	2,75
São Bento do Sul	11 788	0,16
Joinville	43 007	0,60
<b>Serrana</b>	<b>152 215</b>	<b>2,13</b>
Curitibanos	83 985	1,17
Campos Novos	59 000	0,82
Campos de Lages	68 230	0,95
<b>Vale do Itajaí</b>	<b>422 559</b>	<b>5,9</b>
Rio do Sul	283 076	3,95
Blumenau	53 687	0,75
Itajaí	17 496	0,24
Ituporanga	68 300	0,95
<b>Grande Florianópolis</b>	<b>34 649</b>	<b>0,48</b>
<b>Sul Catarinense</b>	<b>806 172</b>	<b>11,26</b>
Tubarão	680 262	9,50
Braço do Norte	204 885	2,86
Criciúma	70 041	0,98
Araranguá	55 869	0,78

**Fonte:** IBGE – Produção da Pecuária Municipal (2006).

Dados da Associação Catarinense de Criadores de Suínos (ACCS, 2005) divulgam que a suinocultura catarinense além de possuir o melhor nível de produtividade do país, tanto no campo como na indústria, possui cerca de 27 mil suinocultores distribuídos principalmente por pequenas e médias propriedades rurais (Oliveira, 2000), e é responsável, como já foi referido, por 20% da produção nacional correspondendo a 2,7 milhões de toneladas por ano, e por 0,7% da produção mundial.

Além desses motivos a suinocultura catarinense também se destaca por participar com cerca de 45% das exportações brasileiras, e pelo fato do Estado possuir a matriz das principais empresas que concentram o mercado de suínos nacional. Estas empresas detêm 60% dos abates e 70% dos negócios suinícolas do país. No PIB estadual, a suinocultura é a segunda principal atividade, representando 19% do total e empregando diretamente em torno de 65 mil e, indiretamente, mais de 140 mil pessoas, (ACCS, 2005).

No oeste catarinense se encontra as maiores agroindústrias de abate e processamento de suínos e aves do Brasil. Nessa região estão sediadas unidades de grandes empresas, tais como Sadia S. A (Concórdia), Seara Alimentos (Seara), Perdigão (Videira) e Cooperativa Central Oeste e Chapecó Alimentos (Chapecó). Esta região, apesar de possuir apenas 26% da área total do estado (25.215 km<sup>2</sup>), concentra 75% do rebanho e 90% do abate de suínos inspecionado do estado, contribuindo para a formação de renda de milhares de pequenos produtores familiares (IBGE, 2002; ICEPA, 2002 apud MIRANDA, 2005).

### 3.1.3 Dejetos de Suínos: Produção, Composição e seus impactos ambientais

Atualmente, a produção de dejetos da suinocultura tornou-se um problema preocupante, principalmente pelo seu aumento em áreas cada vez menores. Estes dejetos são constituídos, essencialmente, por: (i) fezes e urina dos animais; (ii) resíduos de rações; (iii) água, proveniente do excesso dos bebedouros e da utilizada na limpeza nas instalações; e (iv) pêlos, poeira e outros materiais decorrentes do processo criatório (KONZEN, 1983). A quantidade e qualidade dos dejetos produzidos variam com o tipo de criação, com a quantidade de água utilizada nas instalações, com a estação do ano, com a alimentação e o número e categoria dos animais (ALVES, 2007).

Oliveira et al. (1993), mostra uma produção média de dejetos líquidos de 8,6 litros/suíno/dia. Os dados da produção média diária de dejetos de acordo com as diferentes categorias dos suínos são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Produção de dejetos de suínos em diferentes fases de desenvolvimento.

<b>Categoria de animais</b>	<b>Esterco (kg/dia)</b>	<b>Esterco + Urina (kg/dia)</b>	<b>Dejetos líquidos (L/dia)</b>
Leitões na creche	0,35	0,95	1,4
Suínos de 25 a 100 kg	2,3	4,9	7
Porca: reposição, pré-cobrição, cobrição e gestante	3,6	11	16
Porcas em lactação com leitões	6,4	18	27
Machos	3	6	9
Média	2,35	5,8	8,6

Fonte: OLIVEIRA et al. (1993).

Segundo outros autores, conforme se observa na Tabela 4, verifica-se que existe uma diferença na quantidade produzida de dejetos, podendo variar entre 7 a 15 L/dia.

**Tabela 4.** Produção diária de dejetos de suínos.

<b>Categoria de animais</b>	<b>Produção de dejetos</b>				
	<b>KONZEN (1980)</b>	<b>MEDRI (1997)</b>	<b>PERDOMO et al. (1999)</b>	<b>NAGAE et al. (2005)</b>	<b>SINOTTI (2005)</b>
Ciclo completo (L/suíno.dia)	-	-	15	-	10,2
Crescimento e terminação (L/suíno.dia)	7	10	11,2	10,8	9,73

A quantidade total de resíduos líquidos produzidos varia de acordo com o desenvolvimento ponderal dos animais, apresentando valores de 4,9% a 8,5% de seu peso vivo por dia, para a faixa de 15 a 100 kg, sendo a urina um aspecto importante na quantidade de dejetos líquidos produzidos. Em termos gerais, para cada litro ingerido por um suíno, resultam 0,6 litros de dejetos líquidos (OLIVEIRA et al., 1993).

Os dejetos de suínos são compostos orgânicos que contêm vários nutrientes. São, principalmente, ricos em nitrogênio (N) e fósforo (P), mas têm outros minerais como zinco, cádmio, chumbo, selênio, e uma elevada carga de microrganismos potencialmente patogênicos. E por isso, a sua aplicação em quantidades excessivas ou continuadas numa mesma área pode causar problemas ao solo e às águas, devido quer à presença de elementos ou compostos não

assimiláveis pelas plantas ou utilizados pelos microrganismos dos solos, quer à acumulação desses elementos e à sua posterior deslocação através da erosão e/ou através da lixiviação tornando-se assim agentes poluidores quando lançados, diretamente no meio ambiente.

As características físico-químicas dos dejetos de suínos produzidos no Brasil foram estudadas por diversos autores, registrando-se uma grande variabilidade como se pode comprovar pelos resultados apresentados na Tabela 5. Estas diferenças derivam possivelmente das diferentes condições locais onde foram realizados os estudos, (SILVA, 1996), pois nem sempre são relatadas essas condições como o clima, o tipo de alimentação associado ao desperdício, o método de amostragem e a quantidade de água utilizada, responsável pelas diferentes diluições do resíduo final.

**Tabela 5.** Caracterização média de dejetos de suínos estudados no Brasil.

PARÂMETROS	KONZEN (1983)	MEDRI (1997)	CAZARRÉ (2000)	HENN (2005)	MONTEIRO (2005)	ALVES (2007)
pH	6,94	6,9	7,06	6,6	6,75	7,35
DQO <sub>Total</sub>	98.640 mg/L	21.647 mg/L	20.005 mg/L	43.368 mg/L	85.000 mg/Kg	12.578 mg/L
DBO <sub>5</sub>	52.270 mg/L	11.979 mg/L	-	21.300 mg/L	23.000 mg/Kg	9.110 mg/L
NTK	6.000 mg/L	2.205 mg/L	2.487 mg/L	1.990 mg/L	1.600 mg/Kg	1.621 mg/L
P total	2.500 mg/L	633 mg/L	541 mg/L	712 mg/L	750 mg/Kg	286 mg/L
Sólidos Totais	90.000 mg/L	17.240 mg/L	14.322 mg/L	36.110 mg/L	73.000 mg/Kg	8.514 mg/L
Sólidos Voláteis	75.050 mg/L	10.266 mg/L	9.304 mg/L	25.230 mg/L	53.000 mg/Kg	5.288 mg/L

Segundo os resultados da Tabela 5 as características dos dejetos de suínos analisados nas pesquisas de Konzen (1983) diferem muito das características obtidas pelos outros autores, pois obteve concentrações bastante elevadas.

Na Tabela 6 estão apresentadas as características químicas dos dejetos brutos de suínos na fase de crescimento e terminação, obtidas a partir de um estudo realizado em Santa Catarina pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Suínos e Aves (EMBRAPA/CNPSA), citado por Silva (1996).

**Tabela 6.** Caracterização dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação, observadas na região oeste de Santa Catarina.

<b>Parâmetros (Unidade)</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>
<b>DQO<sub>Total</sub> (mg/L)</b>	11.530	34.448	25.543
<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	12.697	49.432	22.399
<b>Sólidos Voláteis (mg/L)</b>	8.429	39.024	16.389
<b>Sólidos Fixos (mg/L)</b>	4.268	10.408	6.010
<b>Sólidos Sedimentáveis (mL/L)</b>	220	850	429
<b>NTK (mg/L)</b>	1.660	3.710	2.374
<b>P total (mg/L)</b>	320	1.180	578
<b>K total (mg/L)</b>	260	1.140	536

Fonte: SILVA (1996).

De acordo com Oliveira (2001), apud Serafim e Lucas Jr (2003), os suínos excretam na urina e nas fezes cerca de 40 a 60% do nitrogênio (N) consumido. Esse N excretado corresponde à parte do N alimentar que não foi retida pelo animal na forma de proteína corporal (suínos em crescimento). Altos níveis de N e P lançados em águas de superfície podem causar eutrofização, com queda na concentração de oxigênio devido ao rápido crescimento das algas e conseqüentemente a mortalidade de peixes.

A poluição do meio ambiente na região produtora de suínos é alta, comparando com o esgoto doméstico. A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) é neste caso de cerca de 200 mg/L, enquanto a DBO dos dejetos de suínos varia entre 30 000 e 52 000 mg/L, ou seja, 260 vezes superior, (OLIVEIRA et al., 1993).

A Tabela 7 apresenta os principais riscos ambientais associados à falta de manejo e a sistemas de tratamento adequado aos dejetos de suínos.

**Tabela 7.** Principais riscos ambientais associados ao manejo inadequado dos resíduos da produção de suínos.

	<b>Riscos</b>	<b>Fatores Fundamentais</b>
<b>Solo</b>	Níveis tóxicos de nutrientes no solo	Manejo inadequado dos dejetos
	Poluição do solo com metais pesados (Cu, Zn, Cd)	Manejo inadequado das rações e dos dejetos
	Destruição da vegetação por chuva ácida	Emissão de amônia
<b>Água</b>	Poluição da água superficial e subterrânea	Manejo inadequado dos dejetos
	Redução do recurso água	Aumento no uso das fontes de água
<b>Ar</b>	Aquecimento global: emissão de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso	Aumento na emissão de gás responsável pelo efeito estufa
<b>Biodiversidade</b>	Redução da diversidade genética	Perda de raças nativas
	Aumento da suscetibilidade à doenças	Redução das resistências às doenças

**Fonte: DE HAAN & BLACKBURN (2003) apud MIRANDA (2005).**

A crescente tendência para adoção de sistemas confinados de produção de suínos, especialmente no sul do país, tem produzido quantidades cada vez maiores de dejetos, onde a inadequação e inexistência de sistemas de tratamento, armazenamento e distribuição, induzem o seu lançamento em rios e cursos de água naturais, (OLIVEIRA et al., 1993). O lançamento dos dejetos de suínos diretamente nos cursos d'água, além de comprometer a vida aquática, coloca em risco a saúde da população que se utiliza dessa água. Também ocorrem outros problemas ambientais, como o aumento dos níveis de nutrientes nos solos, que podem atingir níveis tóxicos e provocar a própria poluição do ar (MIRANDA, 2005). No entanto, não só a água e o solo são contaminados, também o ar é poluído por compostos odoríferos (gás sulfídrico, amônia, etc.), devido à estocagem e à distribuição dos dejetos. Do ponto de vista da qualidade do ar, os odores são os inconvenientes mais fortes e rapidamente sentidos pelo público. Alguns produtos odoríferos são potencialmente tóxicos, e os seus efeitos manifestam-se somente com grandes concentrações, como é o caso do H<sub>2</sub>S (gás sulfídrico).

O fato de que 86% das fontes de água utilizadas no meio rural da região oeste do Estado de Santa Catarina, de acordo com um estudo realizado pela EPAGRI (2002) estarem contaminadas por coliformes fecais realça bem o efeito da contaminação ambiental nesta região.

### 3.3 Digestão anaeróbia

O tratamento dos dejetos de animais pode ser realizado através da digestão anaeróbia com múltiplas vantagens quer a nível ambiental quer ao nível da exploração. Uma dessas vantagens é o aproveitamento do biogás gerado durante o processo. Esse biogás pode ser queimado para obtenção de calor ou transformado em energia elétrica, evitando assim a emissão de gases de efeito estufa, como o metano e o dióxido de carbono, para atmosfera.

#### 3.3.1 Fundamentos da digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo biológico, em que alguns microrganismos (principalmente bactérias anaeróbias e facultativas, fungos e protozoários) atuando na ausência de oxigênio molecular ( $O_2$ ), transformam a matéria orgânica complexa solubilizada, ou em estado semilíquido (lodo), em compostos mais simples o gás metano ( $CH_4$ ) e o gás carbônico ( $CO_2$ ), principais constituintes do biogás (BELLI F<sup>o</sup>, 1995), conforme a reação abaixo indicada (1). O processo engloba múltiplas etapas com mecanismos bioquímicos e atividades microbiológicas complexas e que dependem da natureza do substrato a tratar e de condições físico-químicas.



#### 3.3.2 Fases da Digestão Anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia pode ser descrito em quatro fases principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

##### **Hidrólise**

A primeira fase no processo de degradação anaeróbia, **hidrólise**, consiste na conversão de materiais orgânicos complexos, como as proteínas, carboidratos e lipídios, através da ação de exoenzimas excretadas por bactérias fermentativas hidrolíticas, em compostos dissolvidos mais simples, nomeadamente aminoácidos, açúcares solúveis, ácidos graxos de longa cadeia e glicerina, (BELLI F<sup>o</sup>, 1995; CHERNICHARO, 1997).

### **Acidogênese**

Na segunda fase, **acidogênese**, os produtos da hidrólise são metabolizados pelas bactérias fermentativas em compostos orgânicos simples como álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos graxos de cadeia curta, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> (BELLI F<sup>o</sup>, 1995).

### **Acetogênese**

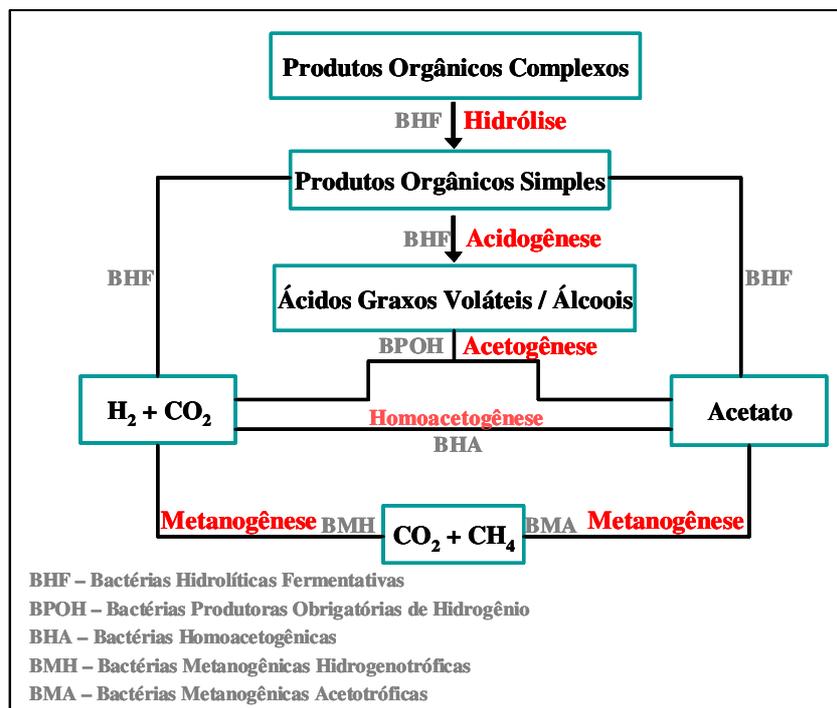
Na terceira fase, **acetogênese**, ocorre a transformação dos produtos da acidogênese em ácido acético, precursor do metano, impedindo a acumulação de ácidos graxos voláteis, além do ácido acético. Esses, em concentrações relativamente altas, inibem a etapa final da digestão anaeróbia. A transformação dos ácidos graxos e dos alcoóis em ácido acético é feita pelas bactérias produtoras de hidrogênio (VERSTRAETE et al., 1981, apud BELLI F<sup>o</sup>, 1995). Durante a acetogênese, os ácidos graxos voláteis, bem como os alcoóis, são transformados em ácido acético pelas bactérias produtoras de hidrogênio conforme Philippi (1992 apud BELLI F<sup>o</sup>, 1995). Cerca de 70% da DQO afluente se converte em ácido acético e o restante, em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>.

### **Metanogênese**

A etapa final do processo de degradação, **metanogênese**, é realizada pelas bactérias metanogênicas. Estas utilizam só um número limitado de substratos, tais como ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono, (CHERNICHARO, 1997; MONTEIRO, 2007). Em função de sua afinidade por substrato e magnitude de produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais, um que forma metano a partir de ácido acético (bactérias acetotróficas), e o segundo que produz metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono (bactérias hidrogenotróficas).

A produção de metano nos processos anaeróbios está diretamente relacionada com a redução da DQO, conseqüência da redução dos sólidos voláteis presentes no substrato.

A Figura 1 apresenta, esquematicamente, a digestão anaeróbia da matéria orgânica.



**Figura 1** – Esquema da digestão anaeróbia da matéria orgânica.

Fonte: Adaptado de BELLI F<sup>o</sup>, (1995).

De acordo com Von Sperling (1996), em condições anaeróbias ocorre também a redução de sulfatos ou dessulfatação, originando a formação de ácido sulfúrico  $H_2S$ , segundo a reação 2:



As bactérias sulfato-redutoras competem com as metanogênicas pelo  $H_2$  e pelo acetato que utilizam para reduzir os sulfatos presentes no meio. Em ambientes com elevado teor de sulfatos, pode ocorrer a inibição da metanogênese, porque as bactérias sulfato-redutoras vão competir com as bactérias metanogênicas pelo mesmo substrato devido a sua maior velocidade de crescimento e vão produzir ácido sulfúrico que, em concentrações elevadas, é tóxico para as metanogênicas, (Centro para a Conversão de Energia, CCE 2000).

### 3.3.3 Fatores ambientais intervenientes

Diversos fatores podem influenciar quer positiva quer negativamente o processo de digestão anaeróbia podendo influir na eficácia do processo. Dentro das características físicas e

químicas do ambiente pode se destacar a temperatura, o pH, os nutrientes, a alcalinidade e os ácidos graxos voláteis.

### **- Temperatura**

A temperatura é um dos fatores de maior influência no processo de digestão anaeróbia. Afeta aspectos do processo diretamente relacionados com a atividade biológica dos microrganismos envolvidos, tais como a velocidade de crescimento das bactérias, a produção de biogás, o grau de utilização do substrato, a duração do arranque e a capacidade de resposta a variações súbitas na carga do digestor, (CCE, 2000).

Os microrganismos não possuem meios para controlar a sua temperatura interna sendo, então, a sua evolução determinada pela temperatura ambiente externa.

De acordo com a produção de biogás e a atividade dos microrganismos, distinguem-se três faixas de temperatura de funcionamento do processo e Metcalf & Eddy (2003) destaca um intervalo ótimo para cada uma dessas faixas de temperatura, de acordo com a Tabela 8.

**Tabela 8.** Principais níveis de temperatura utilizados na digestão anaeróbia.

<b>Faixa de temperaturas</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Intervalo ótimo</b>
<b>Psicrófila</b>	< 20°C	12 - 18°C
<b>Mesófila</b>	20 – 45 °C	25 - 40°C
<b>Termófila</b>	> 45°C	55 – 65°C

**Fonte: METCALF & EDDY (2003).**

A temperatura mais favorável ao crescimento dos microrganismos anaeróbios é de 35°C, ou valores superiores, em torno de 55°C. Em temperaturas abaixo, ocorrem normalmente dificuldades no funcionamento e no arranque do processo, devido às baixas velocidades de crescimento das bactérias, (CCE, 2000)

Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), a digestão anaeróbia é possível a temperaturas mais baixas, da ordem dos 10°C, mas a eficiência e taxa de digestão é menor.

No intervalo de 25 a 40°C, há um crescimento gradual da velocidade de degradação da matéria orgânica, embora existam diferentes valores ótimos de temperatura das diversas populações de microrganismos envolvidas nos processos. Para valores acima de 45°C, ocorre um

declínio na velocidade de degradação, pois se ultrapassou o limite de crescimento mesófilo, (CCE, 2000).

Em regime termófilo (geralmente 55°C), a produção de biogás pode ser cerca de 25 a 50% superior aos valores registrados para a temperatura ótima do nível mesófilo (35°C). No entanto, os gêneros de microrganismos que se desenvolvem na gama termófila, são limitados e apresentam taxas de conversão de matéria orgânica em material celular muito reduzidas. Sendo por isso, mais susceptíveis a variações no regime e tipo de alimentação, tornando o processo a nível termófilo instável, (CCE, 2000).

O efluente a ser digerido, na maioria dos casos, não se encontra a temperatura ideal para ser digerido. Nessa situação é necessário fornecer calor ao processo de forma a aumentar a temperatura do afluente, compensando as perdas térmicas no biodigestor, (CCE, 2000).

Segundo Massé et al (2003), o desempenho do biodigestor anaeróbico diminui significativamente quando a temperatura operacional cai de 20°C para 10°C. Em campo, os biodigestores podem estar sujeitos a alterações de temperatura, devido às variações da temperatura ambiente. Por tal razão, é necessário o aquecimento do substrato em digestão, para uma maior uniformidade na temperatura do substrato e para uma maior eficiência do processo anaeróbico, (MASSÉ et al, 2003; OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

Belli F<sup>o</sup> (1995), operou um biodigestor tratando dejetos de suínos em temperaturas variáveis na faixa de 20 a 35°C, confirmando que a atividade metanogênica é mais intensa a 35°C.

Segundo Safley & Westerman (1993, apud CARMO, 1998), a digestão anaeróbia de dejetos de suínos pode ser realizada com sucesso em uma faixa de temperatura de 10-23°C para uma faixa de carga de 0,1-0,2 Kg SV/m<sup>3</sup>.dia em que a produção de metano, apesar da instabilidade, apresentou um incremento linear nessa faixa de temperatura.

Souza et al. (2002), analisando a partida de biodigestores, em escala laboratorial, alimentados com dejetos suínos, com 6 g/L de sólidos totais, submetidos a diferentes temperaturas (25, 35 e 40°C) e com agitação, verificaram que ocorreu uma maior produção de biogás a temperaturas mais altas, de 35 e 40°C.

### **- Potencial hidrogeniônico (pH)**

O valor de pH é um parâmetro importante no metabolismo dos microrganismos. A maioria apresenta um valor ótimo de pH, onde sua velocidade de crescimento é máxima (CCE, 2000).

A taxa de digestão anaeróbia é máxima, quando o pH está na faixa neutra, perto de pH 7,0. Se o pH se mantiver numa faixa estreita, perto da neutralidade, é possível desenvolver uma taxa elevada de metanogênese, favorecendo uma alta produção de biogás. Se o pH tiver um fator menor que 6,3 ou superior a 7,8, essa taxa diminui rapidamente. O valor do pH no reator se estabelece após o equilíbrio iônico dos diferentes sistemas ácido/base presentes no sistema de tratamento (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

De acordo com Maunoir (1991; apud BELLI F<sup>o</sup>, 1995) as bactérias metanogênicas toleram pH entre 6,6 e 7,6, com valor ótimo de 7,0.

Segundo van Haandel & Lettinga (1994), a taxa de digestão anaeróbia é máxima, quando o pH está na faixa neutra, perto de pH 7,0. O pH no digestor automaticamente adquire um valor na faixa ótima, sem que haja necessidade de adição de um alcalinizante. Isto se deve à capacidade de tamponamento do sistema ácido/base mais importante no digestor: o sistema carbônico.

### **- Nutrientes**

Muitos organismos anaeróbios são incapazes de sintetizar determinadas vitaminas e aminoácidos, essenciais para o seu metabolismo e crescimento. Neste caso é necessário uma suplementação através de meios de cultura com os nutrientes específicos requeridos. Nutrientes essenciais para a digestão anaeróbia podem ser avaliados se a biomassa for conhecida. Estima-se como requerida, uma relação DQO:N:P variando de 400:7:1 a 1000:7:1, para alta e baixa carga de substrato, respectivamente (MALINA JR & POHLAND, 1992). Barijan (1995; apud ALVES, 2007) considera uma relação ótima entre C:N:P de 100:2,5:0,5 para aumentar a produção de metano.

Também os micronutrientes são necessários ao processo da digestão anaeróbia, pois são responsáveis por cerca de 4% do peso seco das células. Enxofre, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B<sub>12</sub>, em ordem decrescente de importância, são necessários para estimulação nutricional das bactérias metanogênicas. No processo, os nutrientes

são exigidos com base na composição empírica das células microbianas, formadas por tipos similares de compostos, requerendo assim, os mesmos elementos nas mesmas proporções relativas. A fórmula de base de uma célula biológica pode ser descrita como  $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$ , com composição de nitrogênio de 12 a 13% do peso da biomassa e fósforo de 2 a 3%, (MALINA JR & POHLAND, 1992).

#### **- Potencial de oxiredução (Eh)**

O potencial de oxiredução ou redox (Eh) refere-se à quantidade de cargas elétricas positivas e negativas, ou seja, à quantidade de moléculas oxidadas ou reduzidas que estão no meio aquoso. O potencial redox indica a capacidade de redução do meio, sendo influenciado pela presença ou ausência de oxigênio molecular (ATLAS & BARTHA, 1987). O valor é expresso em mV de oxigênio.

Valor positivo do potencial redox indica ambiente de oxidação, enquanto que valor negativo indica ambiente de redução. No caso da digestão anaeróbia é necessário um ambiente de redução, pois as bactérias anaeróbias só se multiplicam na ausência de oxigênio, com taxa de oxiredução compreendida entre -40 mV e -400 mV (NEUT & RAMOND apud MARTIN, 1995, citado por BELLI F<sup>o</sup>, 1995). No entanto, segundo Malina Jr. & Pohland (1992), Belli Filho (1995) e Metcalf & Eddy (2003) o valor ideal seria de -300 mV.

#### **- Agentes tóxicos e inibidores**

O processo de digestão anaeróbia pode ser inibido pela presença de diversos materiais tóxicos. Esses materiais podem ser causados pela composição do efluente a ser tratado, como por exemplo os sulfetos, ou ser produtos do próprio processo metabolismo das bactérias presentes no digestor, como é o caso dos ácidos voláteis quando se acumulam e ultrapassam o poder tampão do meio. Outros agentes, em níveis excessivos, podem inibir o processo tais como nitrogênio amoniacal, íons minerais, metais pesados, antibióticos, oxigênio, metais alcalinos e alcalinos-terrosos (OLIVEIRA et al., 1993, CCE, 2000).

Conforme Lagrange (1979), citado por Gosmann (1997), os **íons de minerais** são indispensáveis ao metabolismo das bactérias, sendo benéficos em baixas concentrações, mas inibem o metabolismo bacteriano em altas concentrações. Os mais importantes são os cátions  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  (ROUGER, 1987, citado por OLIVEIRA et al., 1993).

Os **metais pesados** em concentrações superiores a 1 mg/L, de cobre, de níquel, de cromo, de zinco e de chumbo, são geralmente tóxicos ao metabolismo bacteriano (LAGRANGE, 1979, citado por BELLI Fº, 1995).

Embora o nitrogênio amoniacal possa ser uma fonte de nitrogênio para os microrganismos, quando se encontra em concentrações elevadas e em certas condições de pH, pode se tornar tóxico para as bactérias metanogênicas, (CCE, 2000). No processo anaeróbio a **amônia** está na forma iônica  $\text{NH}_4^+$ , pois o pH está à volta da neutralidade, sendo a forma gasosa inibidora a uma concentração menor que na forma iônica (OLIVEIRA et al., 1993). Concentrações de amônia entre 50 a 200 mg/L são benéficas ao processo. Valores entre 200 e 1.000 mg/L não têm efeito adverso e na faixa de 1.500 a 3.000 mg/L há efeito inibidor se o pH for maior que 7,4. Se a concentração de amônia foi superior a 3.000 mg/L os efeitos podem ser considerados tóxicos (NOGUEIRA, 1992; apud ALVES, 2007).

Os **antibióticos** das rações podem provocar inibição do desenvolvimento das bactérias.

Para efluentes com elevado teor de sulfatos e sulfitos, o tratamento pelo processo anaeróbio, pode produzir sulfetos, que em meio ácido, é parcialmente convertido em  $\text{H}_2\text{S}$ , gás tóxico para as bactérias metanogênicas, (CCE, 2000). Van Haandel & Lettinga (1994), citando Rinzema (1989), mostrou que a concentração de **sulfeto** para uma toxicidade significativa é de 50 a 200 mg/l. O sulfeto pode ser formado dentro do reator pela redução de sulfato.

A ótima concentração de enxofre é ao redor de 3-30 mg/l de enxofre solúvel e é inibidora entre 200 e 300 mg/l (SPEECE, 1985 apud GOSMANN, 1997).

Uma acumulação dos ácidos graxos voláteis (AGV) além de indicar a instabilidade do processo anaeróbio, pode contribuir também para a inibição do processo. Estes ácidos podem penetrar a membrana celular das células e depois de assimilados, induzem uma descida do pH a nível intracelular e, conseqüentemente, levar a um decréscimo na velocidade metabólica (CCE, 2000).

### **3.4 Tecnologias de digestão anaeróbia e sistemas de armazenamento**

#### **3.4.1 Introdução**

O processo de digestão anaeróbia é desenvolvido num reator, onde os microrganismos (biomassa) entram em contacto com o resíduo (substrato), em condições de ausência de oxigênio. A biomassa cresce no meio e é responsável pela estabilização anaeróbia da matéria orgânica.

As principais vantagens dos reatores anaeróbios são: a baixa produção de sólidos, o baixo consumo de energia, a baixa demanda de área, os baixos custos de implantação, a preservação da biomassa sem alimentação no interior do reator por vários meses, a tolerância a elevadas cargas orgânicas, o baixo consumo de nutrientes e a produção de metano.

Existem três tipos de reatores anaeróbios: descontínuos, contínuos e semicontínuos. A principal diferença entre eles é a forma como é introduzido e retirado o efluente a digerir, (LAGRANGE, 1979; apud ALVES, 2007).

No sistema descontínuo, a alimentação no digestor é realizada em momentos diferentes em relação à descarga do efluente tratado. Uma quantidade de efluente é introduzida e mantida no digestor durante um determinado período de tempo, durante o qual os microrganismos decompõem a matéria orgânica e é produzido o biogás. Após o período de digestão, o efluente tratado é retirado do digestor (CCE, 2000).

No sistema contínuo, o volume de efluente no interior do digestor permanece constante ao longo do tempo. A quantidade de efluente introduzida no digestor é a mesma que sai tratada. Estes sistemas têm sido bastante desenvolvidos tecnologicamente, os primeiros exemplos foram derivados das fossas sépticas. Atualmente existem digestores que promovem uma retenção mais eficiente da biomassa no interior do reator e proporcionam uma maior remoção de matéria orgânica e de produção de biogás, (CCE, 2000).

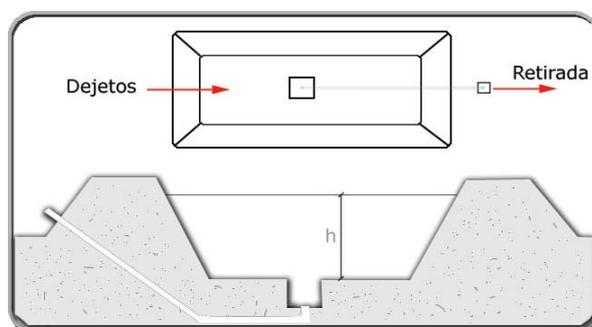
Os reatores semicontínuos apresentam vantagens de ambos e foram desenvolvidos para serem utilizados no tratamento de lodo e/ou dejetos de animais.

Alguns dos reatores anaeróbios aplicados para os dejetos de suínos são enumerados nos tópicos seguintes, apresentando suas bases e diferenças assim como vantagens e inconvenientes. Nesta pesquisa foram avaliados o biodigestor e a lagoa anaeróbia coberta.

#### 3.4.2 Esterqueira e bioesterqueira

Segundo Gosmann (1997), esterqueira, (Figura 2), é um sistema que consta de apenas uma câmara, preferencialmente revestida, a qual serve como unidade de estocagem, com tempo de retenção hidráulica previsto para 90 a 120 dias. Os dejetos frescos são conduzidos, em fluxo descendente diretamente ao tanque. Acredita-se que as fases da digestão anaeróbia são simultâneas, mas dispersas em todo o ambiente. O esvaziamento periódico pode causar um mau

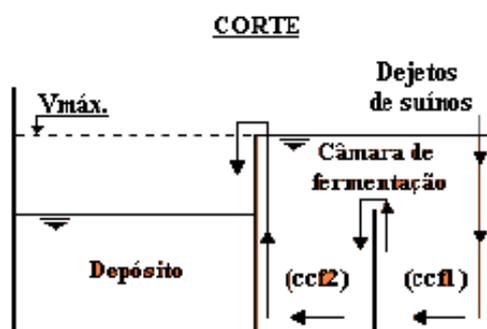
funcionamento do sistema e afetar a qualidade do efluente. Quando usado somente com dejetos de suínos, quase sempre, ocorre putrefação do material.



**Figura 2** – Esquema de uma esterqueira.

**Fonte: EMBRAPA, 2008**

As bioesterqueiras compreendem uma câmara de fermentação anaeróbia, com capacidade para um tempo de retenção de 45 dias e de um depósito de dejetos, na seqüência câmara de fermentação, para mais 90-120 dias de armazenamento, perfazendo um tempo de retenção hidráulica de 135-165 dias. A câmara de fermentação, por recomendação técnica, deve ter no mínimo 2,5 m de profundidade e dimensionamento na proporção de 1/3 em largura/comprimento, devendo ser dividida em dois compartimentos iguais, por parede de 70% da altura das paredes externas. Os dejetos frescos chegam pelo fundo do 1º compartimento, passando ao depósito da bioesterqueira, a partir do fundo do 2º compartimento (Figura 3), (GOSMANN, 1997).



**Figura 3** – Esquema de uma bioesterqueira.

**Fonte: GOSMANN (1997).**

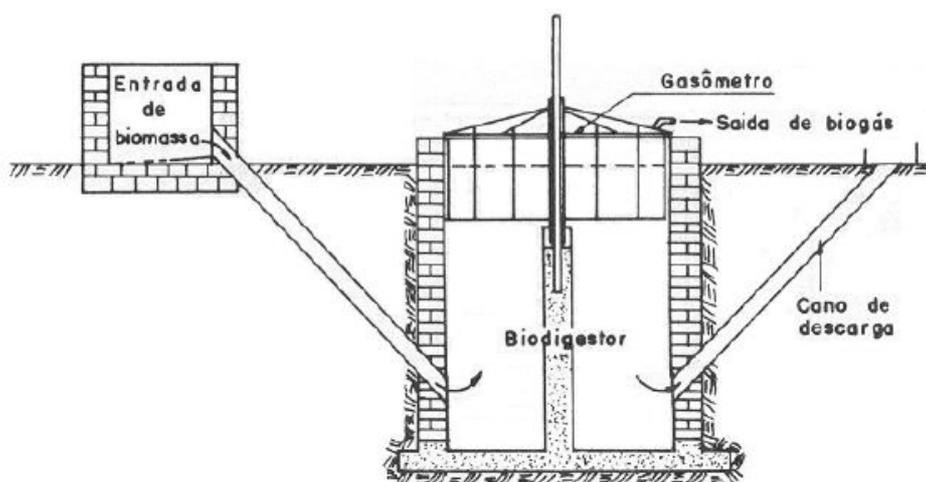
A esterqueira e a bioesterqueira são sistemas de armazenamento dos dejetos de suínos desde o momento da produção até ao momento de seu lançamento no solo, como fertilizantes agrícolas. São os sistemas mais empregados em Santa Catarina. Em ambos os casos, são construídos para uma capacidade de estocagem compatível com a possibilidade de aplicação do dejetos no solo em função do tipo de cultura. Desta forma, fica integrada a prática agrícola, aproveitando-se o potencial fertilizante dos dejetos com a capacidade suporte do ecossistema solo. No entanto, a esterqueira possui custo de implantação e de operação inferior a bioesterqueira (GOSMANN, 1997).

### 3.4.3 Biodigestores rurais

Biodigestores são unidades utilizadas para a degradação dos dejetos de animais com posterior valorização do efluente como fertilizante e recuperação do biogás produzido. Segundo Oliveira et al. (1993), a produção de biogás é de 50 a 70 m<sup>3</sup> por tonelada de matéria seca.

Em Santa Catarina o mais utilizado, para dejetos de suínos, é o do tipo indiano de fluxo contínuo, sugerindo-se um tempo de retenção de 30 – 50 dias.

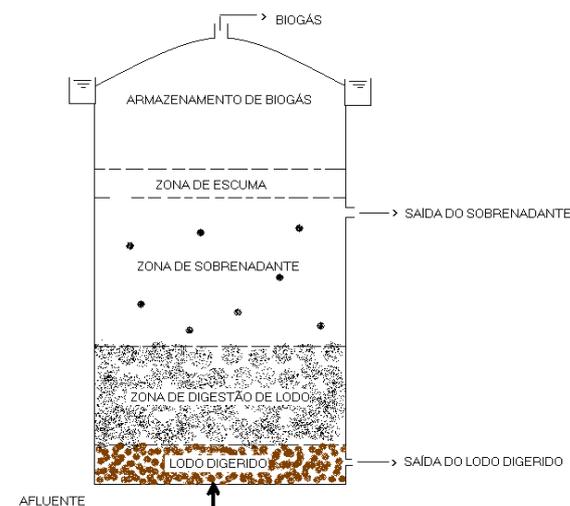
O biodigestor modelo indiano apresenta o formato de um poço, onde ocorre a digestão da biomassa, e possuiu uma campânula flutuante como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa, ou em um selo de água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras, (DEGANUTTI et al., 2002), Figura 4. Uma das vantagens deste modelo a sua campânula flutuante, que permite manter a pressão de escape de biogás estável, não sendo necessário regular constantemente os aparelhos que utilizam o metano. Este modelo oferece algumas vantagens no momento da construção, pois pode ser adaptado ao clima local e ao tipo de solo. Não há necessidade de se estabelecer medidas fixas para o diâmetro e a profundidade, bastando que se observe a relação de capacidade do tanque digestor e da campânula, (GASPAR, 2003).



**Figura 4** – Biodigestor modelo indiano.

Neste modelo, a cúpula sobe em torno de uma guia de metal, à medida que se enche de gás. Seu peso acaba imprimindo certa compressão ao gás estocado. Esta compressão pode ser aumentada por fixação de pesos especiais na cúpula de metal. Através desse sistema, imprime-se maior pressão quando for necessário aumentar a velocidade da saída do gás.

No processo convencional, em uma só fase, ocorrem simultaneamente a digestão, o adensamento do lodo e a formação do sobrenadante (METCALF & EDDY, 2003). O lodo bruto é adicionado na zona em que o lodo está sendo ativamente digerido, e o biogás está sendo liberado. Quando o biogás sobe até a superfície, arrasta partículas de lodo e outros materiais, formando uma camada de espuma. Como resultado da digestão, ocorre a estratificação do lodo abaixo da camada de espuma, a formação de uma zona sobrenadante, (Figura 6). A eficiência do processo pode ser otimizada com a recirculação de lodo e/ou gás e introdução de mistura interna.



**Figura 5** – Representação esquemática de um biodigestor de lodo de fluxo ascendente.

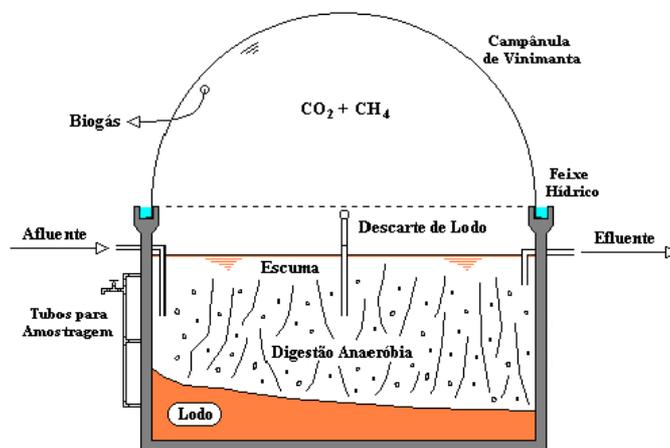
**Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY (2003).**

Algumas limitações levam a que o biodigestor de lodo seja utilizado apenas para pequenas quantidades de dejetos, essas limitações ocorrem devido a estratificação do lodo e a ausência de mistura que apenas permitem que 50% do volume do biodigestor seja efetivamente utilizado no processo de digestão, implicando a necessidade de reatores de grandes volumes para uma boa estabilização do lodo, (CHERNICHARO, 1997)

O biodigestor de batelada é um modelo simples e de pequena exigência operacional, próprio para produções pequenas de biogás. Trata-se de um tanque de alvenaria, metal ou fibra de vidro, o qual é carregado, fechado e, depois de 15 a 20 dias de fermentação, começa a produzir biogás. A produção continua 20 dias ou mais. Cessando a fermentação, o biodigestor de batelada é aberto descarregado, limpo e carregado de novo, reiniciando o processo. Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série, dependendo da demanda de biogás, da disponibilidade e da qualidade da matéria prima a ser utilizada, (DEGANUTTI et al., 2002).

Henn (2005) e Monteiro (2005) avaliaram em diferentes épocas o mesmo biodigestor em escala real no município de Braço do Norte/SC. Este biodigestor foi dimensionado para tratar 3 m<sup>3</sup>/dia, foi construído em alvenaria de pedra, possui formato cilíndrico com diâmetro útil de 6,2 m, altura útil de 3,0 m e altura livre de 0,8 m. A concepção adotada possui um volume de aproximadamente 90 m<sup>3</sup>, para manter o efluente durante 30 dias nesta unidade. O tubo que acessa o efluente, entra 10 cm acima do nível máximo, que está na cota 53,635 m, e mergulha 1 m para

dentro do efluente, desta forma evita-se o retorno do biogás produzido nesta unidade, Figura 6 (HENN, 2005).



**Figura 6** – Esquema do biodigestor.

**Fonte:** HENN (2005).

Henn (2005) deu partida ao biodigestor usando um volume de inóculo equivalente a 50% do volume do reator, sendo  $39 \text{ m}^3$  de lodo de dejetos de suínos e  $6 \text{ m}^3$  de uma mistura de lodo de dejetos suínos e bovinos. O dejetos bruto que alimentava o biodigestor possuía concentrações médias para DQO de  $43,4 \text{ Kg/m}^3$  e para ST de  $36,1 \text{ Kg/m}^3$ . As eficiências médias de remoção foram bastante satisfatórias: o biodigestor removeu 92% de  $\text{DBO}_5$ , 92% de DQO, 88% de ST e 92% de SV. No entanto, verificou-se que as remoções de nitrogênio total e o fósforo total foram baixas.

Alves (2007) avaliou um biodigestor de lodo em uma propriedade em Braço do Norte na Sub-bacia do rio Cachoeirinha, com 200 matrizes em ciclo completo. O biodigestor de lodo foi construído em alvenaria armada, com diâmetro interno de 3,2 m e altura total de 4,0 m, sendo de 3,5 m a sua altura útil; definindo um volume útil de  $30 \text{ m}^3$ . A unidade possui, externamente, ao longo de sua altura, três pontos para coleta de amostras (a 1,0 m, 1,8 m e 2,3 m do fundo), instalados em tubulação de 50 mm; e, ao fundo, uma tubulação de descarga de lodo, de 100 mm, controlados por registros de esfera e de gaveta, respectivamente. O biodigestor recebeu, instalada em calha de alvenaria com lâmina d'água para fechamento hidráulico, uma cobertura com manta de polietileno de alta densidade (PEAD) para coleta do biogás, sendo sua fixação à calha feita

através de parafusos e buchas em barras de madeira. A Figura 7 apresenta uma fotografia com vista externa do biodigestor de lodo.



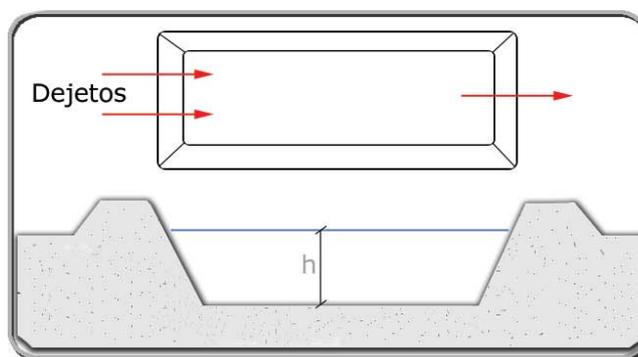
**Figura 7** – Vista externa do biodigestor.

**Fonte:** ALVES (2007).

#### 3.4.4 Lagoa anaeróbia

As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial, (Figura 8). Este tipo de sistema é utilizado para o tratamento de efluentes com altos teores de DBO. As lagoas são usualmente profundas, maior que 2,5 m, cujo objetivo é minimizar ao máximo a presença de oxigênio para que a estabilização da matéria orgânica ocorra estritamente em condições anaeróbias. A eficiência de remoção de DBO nas lagoas anaeróbias é da ordem de 50 a 60% (VON SPERLING, 1996).

Periodicamente o lodo acumulado deve ser removido para um processo de disposição final. O tempo de detenção hidráulico deve estar entre 6 e 30 dias e a carga orgânica volumétrica (COV) aplicada seja menor que 2 Kg de SV/m<sup>3</sup>.dia, (MALINA JR. & POHLAND, 1992; ALVES, 2007).



**Figura 8** – Representação esquemática de uma lagoa anaeróbia.

**Fonte: EMBRAPA (2008).**

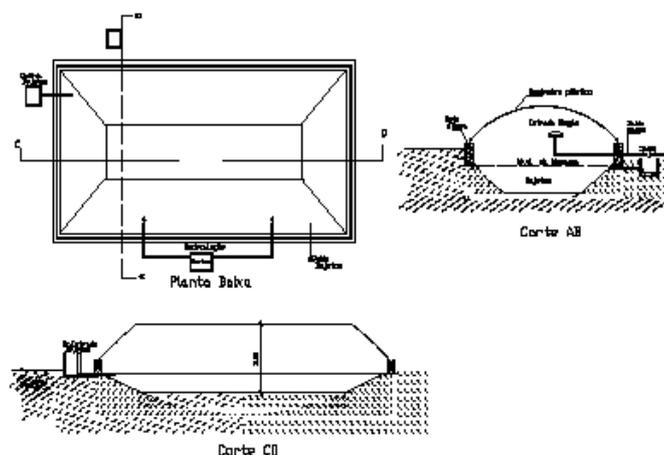
Avaliando o tratamento de dejetos de suínos através de um sistema de lagoas em escala real (2 lagoas anaeróbias em série seguidas de uma lagoa facultativa e posteriormente uma lagoa com aguapé), Medri (1997) verificou uma elevada eficiência do sistema com reduções acima de 90% para os parâmetros ST, SV e DQO. Este autor recomenda que a COV seja de 0,14 Kg de SV/m<sup>3</sup>.dia.

#### 3.4.5 Lagoa anaeróbia coberta

O biodigestor contínuo como a lagoa anaeróbia coberta é muito aplicado em propriedades rurais de pequeno e médio porte, podendo ser usado para diferentes resíduos orgânicos animais e vegetais. É um processo contínuo porque a cada carga diária corresponde a uma descarga de material digerido. A biomassa do biodigestor é movimentada através da diferença de pressão hidráulica que ocorre no momento da carga. Cada carga requer um tempo de retenção entre 30 a 50 dias, que depende da temperatura ambiente e da temperatura da biomassa. Para aumentar a eficiência do processo anaeróbio, podem ser associados um sistema de agitação e um sistema de aquecimento ao biodigestor, diminuindo o tempo de retenção para 10 a 20 dias, e aumentando a produção de biogás, (OLIVEIRA, 2004).

Este tipo de biodigestor são depósitos similares às esterqueiras, só que possuem uma cobertura para armazenar o biogás produzido pelo processo anaeróbio. Atualmente, a lagoa anaeróbia coberta é constituída por uma cobertura de lona de PVC, devido aos baixos custos e facilidade de implantação, e um o depósito pode ser construído de pedra, tijolos e lonas de PVC

ou PEAD, (OLIVEIRA, 2004). A Figura 9 apresenta esquematicamente uma lagoa anaeróbia coberta.



**Figura 9** – Representação esquemática de uma lagoa anaeróbia coberta.

**Fonte : OLIVEIRA (2004).**

As principais vantagens deste biodigestor são os baixos custos devido à menor área superficial necessária e a pouca tecnologia associada; facilidade e rapidez de construção para grandes volumes; a facilidade operacional; o tratamento de efluentes de alta concentração

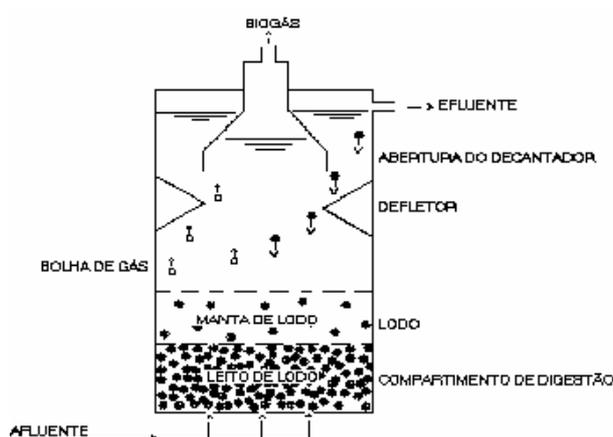
O principal inconveniente associado a este tipo de biodigestor é a necessidade de tratamento complementar, pois o efluente ainda possui uma grande quantidade de matéria orgânica.

#### 3.4.6 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo, Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Os reatores UASB são reatores anaeróbios com crescimento bacteriano disperso, sem meio de suporte, onde a biomassa é dotada de boa qualidade de sedimentação, baixo índice volumétrico de lodo, boa resistência física e satisfatória atividade metanogênica específica.

O reator UASB foi desenvolvido na década de 70 pelo Prof. Lettinga, na Holanda, e é constituído por um separador de fases que divide o reator em duas partes: uma inferior, a zona de digestão, onde se encontra uma manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia; e uma superior, a zona de sedimentação, (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). As águas residuais entram pelo fundo do reator, seguem um movimento ascendente dentro do reator, atravessam a

zona de digestão, passam uma abertura existente no separador de fases, alcançando a zona de sedimentação. Na zona de digestão ocorre a mistura entre o material orgânico presente na água residual e o lodo anaeróbio da zona de digestão, resultando na produção de biogás e no crescimento da biomassa bacteriana. O biogás segue o movimento ascendente com o líquido, após este superar a camada de lodo, em direção ao separador de fases. No separador de fases, a área disponível para o escoamento ascendente do líquido deve ser de tal forma que o líquido, ao se aproximar da superfície líquida livre, tenha sua velocidade progressivamente reduzida, de modo a ser superada pela velocidade de sedimentação das partículas, oriundas dos flocos de lodo arrastados pelas condições hidráulicas ou flotados. Isto possibilita que este material sólido que passa pelas aberturas no separador de fases, alcançando a zona superior do reator, possa se sedimentar sobre a superfície inclinada do separador de fases. Esta condição dependerá das condições hidráulicas do escoamento. Assim, o acúmulo sucessivo de sólidos irá aumentar continuamente o peso desse material o qual, tornar-se-á maior que a força de atrito e, então, deslizarão, voltando para a zona de digestão, na parte inferior do reator. Desse modo, a presença de uma zona de sedimentação acima do separador de fases resulta na retenção do lodo, permitindo a presença de uma grande massa na zona de digestão, enquanto se descarrega um efluente substancialmente livre de sólidos sedimentáveis (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). O funcionamento de um reator UASB é apresentado na Figura 10.



**Figura 10** – Esquema de funcionamento de um Reator UASB.

**Fonte:** Adaptado de BELLI F<sup>o</sup>, (1995).

Carmo Jr. (1998) monitorou um piloto de reator UASB com capacidade para 136 L, tratando dejetos de suínos, com alimentação contínua e temperatura variando entre 25 e 30°C. O reator foi operado com tempo de detenção hidráulica de 72 a 36 horas, obtendo-se cargas orgânicas de 0,8 a 3,5 kg DQO/m<sup>3</sup>.dia. Os resultados obtidos de eficiência de remoção foram de 84% para a DQO total e 72% para os sólidos totais (ST).

Alves (2007) operou e monitorou um reator UASB instalado no sistema de tratamento de dejetos de suínos em uma propriedade com 200 matrizes em ciclo completo. O reator foi construído com estrutura de alvenaria armada, de forma circular, com diâmetro interno de 2,3 m e altura útil de 4,0 m. O volume útil do reator é de 15 m<sup>3</sup> e o tempo de detenção hidráulica teórico de 1,5 dias.

O efluente é direcionado ao fundo do reator através de três tubos distribuidores de 75 mm, de PEAD, fixados a 0,30 m do fundo. A entrada se dá através de caixa coletora com três divisões contendo, cada uma, comporta de madeira tipo “stop log” e vertedor triangular de 30°. Nesta caixa foi instalado um dispositivo de “by pass” para isolamento da unidade. Os gases são coletados por meio de um defletor cônico de fibra de vidro com trespasse de 0,30 m, fixados no anel de concreto que promove o trespasse. Os gases coletados são encaminhados para armazenamento, após passagem por selo hídrico, através de tubo PEAD com diâmetro de 50 mm, (ALVES, 2007). A Figura 11 apresenta uma fotografia com uma vista externa do reator UASB.



**Figura 11** – Vista externa do reator.

**Fonte:** ALVES (2007).

Segundo Alves (2007), este reator não apresentou um bom desempenho devido às condições de operação de temperatura e pH muito próximas das condições limites e às elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal no afluente do reator.

Em comparação às lagoas anaeróbias, os reatores UASB possuem facilidades operacionais, hidrodinâmica eficiente e boa adaptação às condições climáticas do Brasil, para diversos tipos de efluentes líquidos e volumes menores de reator (CARMO JR, 1998). Segundo este autor, as principais vantagens e limitações do uso dos reatores UASB em relação aos reatores aeróbios são:

Vantagens:

- Menor espaço físico ocupado;
- Balanço energético positivo, podendo o biogás ser utilizado para vários fins, como aquecimento e acionamento de motores;
- A produção de lodo é pequena e o lodo é estável;
- O custo de implementação é menor;
- É adequado para resíduos sazonais.

Limitações:

- A DBO do efluente pode ser alta demais para descarga direta em águas de superfície, necessitando de pós-tratamento;
- O lodo anaeróbio é sensível a substâncias tóxicas quando não adaptados;
- Não é eficiente na redução de microrganismos patogênicos;
- É necessário uma temperatura mínima de 15°C e ótima de 35°C;
- A partida do UASB pode ser demorada e às vezes difícil.

### **3.5 Biogás**

#### **3.5.1 Caracterização**

O biogás é uma mistura gasosa e combustível, produzida através da digestão anaeróbia, ou seja, através da biodegradação de matéria orgânica pela ação de bactérias na ausência de oxigênio.

Este é um processo natural que ocorre em pântanos, mangues, lagos e rios.

No entanto, a produção de biogás também é possível a partir de diversos resíduos orgânicos, como esterco de animais, lodo de esgoto, lixo doméstico, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas. Neste caso, quando a digestão anaeróbia é realizada em biodigestores especialmente planejados, a mistura gasosa produzida pode ser usada como combustível, o qual, além de seu alto poder calorífico, de não produzir gases tóxicos durante a queima e de ser uma ótima alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico, ainda deixa como resíduo um lodo que é um excelente biofertilizante.

O biogás é uma mistura gasosa rica em metano, sendo o componente predominante no gás natural combustível. O potencial energético do biogás varia em função da presença de metano na sua composição: quanto mais metano, mais rico é o biogás. A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de reator e o substrato a digerir. Esta mistura é essencialmente constituída por metano ( $\text{CH}_4$ ) com valores médios na ordem de 50 a 75%, e por dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) com aproximadamente 25 a 40%. Outros gases, também, participam da mistura: hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (PIRES, 2000; apud PINTO, 2006). A Tabela 9 apresenta uma composição média do biogás.

**Tabela 9.** Composição média do biogás.

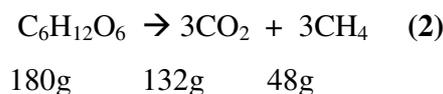
<b>Componente</b>	<b>Teor em volume %</b>
Metano ( $\text{CH}_4$ )	50 a 75
Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )	25 a 40
Hidrogênio ( $\text{H}_2$ )	1 a 3
Nitrogênio ( $\text{N}_2$ )	0,5 a 2,5
Oxigênio ( $\text{O}_2$ )	0,1 a 1
Gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0,1 a 0,5
Amônio ( $\text{NH}_3$ )	0,1 a 0,5
Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ )	0 a 0,1
Água ( $\text{H}_2\text{O}$ )	Variável

**Fonte: PIRES (2000) apud PINTO (2006).**

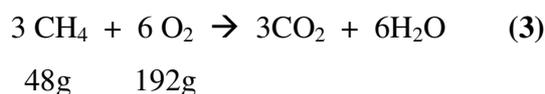
Entretanto, quando comparado com o gás natural (85 a 95% de metano), o biogás apresenta menor poder calorífico, em consequência do menor conteúdo de metano.

O poder calorífico do biogás diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura pode atingir de 5.000 a 6.000 kcal/m<sup>3</sup>, mas pode ser melhorado pela retirada do CO<sub>2</sub>, chegando a valores de 12.000 kcal/m<sup>3</sup> (LENZ, 1980; apud ZAGO, 2003).

Segundo Metcalf & Eddy (2003), a conversão da matéria orgânica em metano, tendo a glicose como fonte de energia, pode ser calculada estequiometricamente, como se indica a seguir:



Com a oxidação do metano, segundo a reação 3:



DQO

Então, a relação DQO/glicose é 192/180 e 1 kg de glicose (matéria orgânica) produz, em metano (CH<sub>4</sub>):

$$\text{kg CH}_4 = (48/180) / (192/180) = 0,25 \quad \text{Equação 1}$$

Assim, cada kg de DQO convertido produz 0,25 kg de metano. Logo, o volume de 0,25 kg de metano produzido pela estabilização da matéria orgânica pode ser calculado como segue na equação 2:

$$\text{V CH}_4 = 0,25 \text{ kg } (10^3 \text{ g/kg}) \cdot \frac{1 \text{ mol}}{16\text{g}} \cdot \frac{22,4 \text{ L}}{1 \text{ mol}} (10^3 \text{ L/m}^3) = 0,35 \text{ m}^3 \quad \text{Equação 2}$$

$$1 \text{ Kg DQO} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$$

Ou seja, um Kg de DQO removida produz em torno de 0,35 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>. E de acordo com Malina & Pohland (1992), a produção de biogás é de 0,5 m<sup>3</sup>/Kg de DQO removida.

Segundo o mesmo autor, a produção de biogás também pode ser estimada através da quantidade de SV removidos, variando entre 0,75 a 1,0 m<sup>3</sup>/Kg de SV, (MALINA & POHLAND, 1992). Conforme Metcalf & Eddy (2003), esses valores variam entre 0,75 a 1,12 m<sup>3</sup> de biogás/Kg SV removidos.

Considerando que a quantidade de CH<sub>4</sub> no biogás é de 60 a 70%, a produção deste constituinte em função dos SV removidos pode variar entre 0,45 a 0,78 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/Kg SV. De acordo com La Farge (1995), a produção de CH<sub>4</sub> é de 0,45 m<sup>3</sup>/Kg SV removidos.

Fischer et al. (1979, apud LUCAS JR, sem data) trabalhando em escala piloto, operaram um biodigestor de 0,45 m<sup>3</sup>, com tempo de retenção de 15 dias, sob agitação e mantido a 35°C durante 351 dias, obtiveram uma produção de biogás de 0,9 m<sup>3</sup>/Kg SV removidos.

No entanto, também é possível determinar a produção de biogás diária em relação ao número de animais. De acordo com CCE (2000), esse valor pode ser calculado segundo as características dos dejetos de suínos e do respectivo processo anaeróbio. Considerando como exemplo uma propriedade em ciclo completo onde se produz em torno de 70L de dejetos/matriz.dia, com uma concentração de DQO de 33,3 g/L e uma biodegradabilidade da matéria orgânica de 75% e o respectivo processo anaeróbio com as seguintes características:

- Eficiência de conversão da DQO em CH<sub>4</sub> de 85%;
- Fração de 5% da DQO utilizada pelas bactérias para seu próprio crescimento;
- Produção de 0,35 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Kg de DQO;
- Biogás com 65% de CH<sub>4</sub>;
- Temperatura de 35°C;
- Pressão de 20 mbar.

Têm-se então uma produção de matéria orgânica de (70 L/dia x 33,3 g/L) = 2,33 de DQO/dia, da qual somente (2,33 x 75%) = 1,75 Kg DQO pode ser degradada pelos microrganismos anaeróbios. Passando pelo biodigestor, aproximadamente (1,75 x 85%) = 1,5 Kg de DQO são utilizadas pelos microrganismos, dos quais (1,5 x 95%) = 1,42 Kg são efetivamente transformados em CH<sub>4</sub>. A produção de CH<sub>4</sub> será em torno de 0,5 m<sup>3</sup> (= 1,42 Kg x 0,35 m<sup>3</sup>/Kg) e a de biogás será (0,5 / 0,65) = 0,77 m<sup>3</sup>, em CNTP. Corrigindo para as condições do funcionamento do reator (0,77 x [(273 + 35)/273] / [(1,033 + 0,020)/1,033]) obtêm-se uma produção diária de 0,85 m<sup>3</sup> de biogás/dia.matriz em ciclo completo.

Na Tabela 10 apresentam-se alguns valores indicativos da produção de biogás conforme o sistema de criação de suínos em sistemas de digestão mesófila convencionais.

**Tabela 10.** Produção diária de biogás e de CH<sub>4</sub> segundo o sistema de criação.

	Unidade	Produção Diária de Biogás	Produção Diária de CH <sub>4</sub> (65% de Biogás)
Matriz em ciclo completo	m <sup>3</sup> /matriz.dia	0,866	0,563
Matriz em criação de leitões	m <sup>3</sup> /matriz.dia	0,933	0,606
Suíno em fase de terminação	m <sup>3</sup> /animal.dia	0,799	0,519

**Fonte: CRPA, 1996; ETSU, 1997 apud CCE (2000).**

Segundo Oliveira (1993), a produção de biogás de um suíno adulto, em fase de terminação, é de aproximadamente 0,24 m<sup>3</sup>/dia. Conforme Lenz (1980) apud Zago (2003), cada suíno em média gera 0,1431 m<sup>3</sup> de biogás/dia. Já Aisse & Obladen (1981), referem que um suíno produz em torno de 0,18 m<sup>3</sup> de biogás/dia.

Além da temperatura de operação do biodigestor, referida nos fatores ambientais intervenientes na digestão anaeróbia, a produção de biogás pode ser estimada pela diluição dos dejetos. Esta diluição depende do desperdício de água utilizado na limpeza das instalações dos animais, pelos vazamentos existentes nas redes hidráulicas e nos bebedouros, pela entrada de água da chuva nos canais de manejo dos dejetos e pelo uso da lâmina de água em alguns sistemas de produção (SCHERER et al., 1996; OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

O grau de diluição dos dejetos pode ser determinado pela quantidade de sólidos totais (ST) presentes nos dejetos. Os sólidos voláteis (SV), que são os substratos para as bactérias metanogênicas, representam entre 70 a 75% dos ST dos dejetos de suínos, e estão diretamente relacionados com a produção de biogás (LUCAS JUNIOR, 1994; LA FARGE, 1995; CCE, 2000; SANCHEZ et al., 2005; OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006). Ou seja, quanto maior for a concentração de SV na alimentação diária do biodigestor para tratamento de dejetos suínos, maior será a capacidade do biodigestor de produzir biogás, (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

### 3.5.2 Vantagens do biogás

O biogás é considerado uma fonte de energia renovável e, portanto, sua recuperação e seu uso energético apresentam vantagens quer ao nível de tratamento dos resíduos, quer em termos energéticos e ambientais e quer a nível econômico.

Em termos de tratamento dos resíduos:

1. É um processo natural para se tratar resíduos orgânicos;
2. Requer menos espaço que aterros sanitários ou compostagem;
3. Diminui o volume de resíduo a ser descartado.

Em termos de energia:

1. É uma fonte de energia renovável;
2. Produz um combustível de alta qualidade e ecologicamente correto (a combustão do metano só produz água e dióxido de carbono, não gerando nenhum gás tóxico).

Em termos de meio ambiente:

1. Maximiza os benefícios da reciclagem/reaproveitamento da matéria orgânica;
2. Produz como resíduo o biofertilizante, rico em nutrientes e livres de microorganismos patogênicos;
3. Reduz significativamente as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e de metano (CH<sub>4</sub>) para atmosfera, gases causadores do efeito estufa;
4. Reduz a geração de odor nas vizinhanças, de chorume e de contaminação do lençol freático;

A nível econômico:

1. Apesar do alto custo inicial, numa perspectiva de longo prazo resulta numa grande economia, pois reduz gastos com eletricidade, transporte de butijão de gás, esgoto, descarte dos demais resíduos.

No entanto, o biogás apresenta um grave inconveniente: a formação de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) (gás tóxico), que dependendo do tipo de resíduo, produzirá uma quantidade maior ou menor, implicando uma possível etapa de tratamento do gás obtido, dependendo do uso dado ao mesmo e a escolha adequada do material utilizado na construção do biodigestor, pois que com a formação de gases corrosivos, como o H<sub>2</sub>S, há a longo prazo um custo extra com a manutenção.

### 3.5.3 Principal componente do biogás: o metano

O metano é um gás incolor, inodoro e inflamável e de pouca solubilidade na água. É um potente gás de efeito estufa que contribui em 20% para o aquecimento global (SOUZA, 2005).

As principais fontes de metano são: a emissão através de vulcões de lama e falhas geológicas; a decomposição de resíduos orgânicos; as fontes naturais (pântanos); a extração de combustível mineral; o processo de digestão em animais herbívoros; as bactérias encontradas em plantações de arroz; o aquecimento ou combustão de biomassa anaeróbia.

Cerca de 60% da emissão de metano no mundo é gerado pela ação humana, principalmente proveniente da agricultura.

Do total das emissões de metano pelo setor agrícola no Brasil, estima-se que a pecuária, através da fermentação entérica e dos dejetos, contribui com cerca de 96% do total emitido. Desse total, a pecuária bovina contribui com 95% das emissões, sendo o resto de outras categorias de animais (NAE, 2005).

De acordo com o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, (OLIVEIRA, 2002), as emissões de metano a partir da geração e do manejo de dejetos animais, em 1990, correspondem a cerca de 4% das emissões totais de metano da pecuária. O gado de corte foi a principal categoria de animais a contribuir para as emissões de metano, emitindo cerca de 53% das emissões por manejo de esterco, seguido pelo gado de leite com 17% das emissões. Em 1994, as emissões de metano provenientes por esta mesma fonte foram estimadas em 53% atribuídas à categoria de gado de corte, 16% à de gado de leite, 16 % à de aves e 8 % à de suínos.

#### 3.5.4 Experiências com biodigestores anaeróbios e produção de biogás com dejetos suínos

Nos últimos anos, o Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (ENS/UFSC), tem vindo a desenvolver pesquisas relacionadas com estratégias tecnológicas e econômicas, de modo a diminuir as conseqüências da poluição ambiental proveniente da suinocultura existente no estado.

Dentro dos trabalhos realizados, a seguir apresentados, a digestão anaeróbia distingue-se, como um potencial processo de tratamento, pela geração de biogás e pela possibilidade de aproveitamento do metano do biogás produzido como fonte alternativa na geração de energia elétrica.

Henn (2005) estudou o desempenho inicial do sistema de manejo implantado em uma pequena propriedade produtora de suínos, com cerca de 300 animais em ciclo completo, localizada no município de Braço do Norte/SC. O dejetos bruto que alimentava o biodigestor, com

volume de 90 m<sup>3</sup> e TRH de 30 dias, possuía concentrações médias para DQO de 43,4 Kg/m<sup>3</sup> e para ST de 36,1 Kg/m<sup>3</sup>. A produção de CH<sub>4</sub> obtida pelo autor foi de 0,0172 L CH<sub>4</sub>/g SV.dia. A produção média de biogás foi da ordem de 32,3 m<sup>3</sup>/dia. As eficiências de remoção obtidas para DQO, ST e SV, foram respectivamente 92, 88 e 92%.

Monteiro (2005), continuando o trabalho de Henn (2005), pesquisou o manejo dos dejetos suínos na mesma propriedade localizada no município de Braço do Norte, com uma produção diária de dejetos de 3 m<sup>3</sup>. Para uma carga orgânica de sólidos voláteis aplicada ao biodigestor de 1,92 g/L.dia obteve-se uma eficiência de remoção de DQO, ST e SV, de 92, 73 e 87%, respectivamente. A produção média de biogás, medida no período de temperaturas elevadas, foi de 32 m<sup>3</sup>/dia e a análise cromatográfica mostrou uma concentração média de 54,4% de CH<sub>4</sub>.

Pinto (2006) estudou a eficiência da digestão anaeróbia na bioestabilização de diferentes tipos de sólidos orgânicos voláteis de elevada concentração. Elaborou ensaios de biodegradabilidade envolvendo dejetos suínos e resíduos sólidos urbanos (RSO) em diferentes proporções dejetos/RSO. Nesta pesquisa, o autor, verificou que a adição de dejetos suínos melhorou a produção de metano. O valor obtido para o ensaio em que utilizou apenas RSO foi muito baixo em torno de 0,56 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kgSV<sub>adicionados</sub>. Os valores de produção diário de metano para 10% e 20% de dejetos suínos estiveram na mesma ordem de grandeza, de 2,3 e de 2,0 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kgSV<sub>adicionados</sub>, respectivamente. Para os ensaios usando 40% e 50% de dejetos suínos, os resultados foram maiores, de 3,69 e 2,62 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kgSV<sub>adicionados</sub>, respectivamente. O ensaio contendo unicamente dejetos suínos foi o que apresentou maior produção de metano com um valor de 11,81 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kgSV<sub>adicionados</sub>.

O mesmo autor também verificou a composição percentual de CH<sub>4</sub> nas diferentes proporções dejetos/RSO no início e final dos ensaios. O percentual de metano nos ensaios com 100%, 50% e 40% de dejetos suínos variaram entre 83 e 85% de gás metano no final do experimento. O decréscimo de dejetos suínos resultou numa queda percentual de metano para valores de 63,25%, 72,86% e 66%, respectivamente para 20%, 10% e 0% de dejetos suínos.

O trabalho realizado por Alves (2007), teve como principal objetivo monitorar e avaliar diversos reatores anaeróbios localizados numa propriedade com média produção de suínos, com cerca de 2.000 animais, no município de Braço do Norte/SC. O sistema de tratamento apresentou eficiência de remoção de DQO variando entre 82 e 85%, e de ST entre 89 a 93%. As cargas

orgânicas volumétricas nos diferentes reatores estudados foram de 0,07 Kg/m<sup>3</sup>.dia, na lagoa anaeróbia; 1,27 - 1,51 Kg/m<sup>3</sup>.dia, no reator UASB; e 0,79 - 1,22 Kg/m<sup>3</sup>.dia, no biodigestor de lodo. O biodigestor de lodo, com um volume útil de 30 m<sup>3</sup>, obteve uma eficiência de redução de DQO variando entre 51 e 71%, e a produção média de biogás de 6,26 m<sup>3</sup>/dia, com produção específica de 017 m<sup>3</sup> biogás/Kg ST.dia.

Tanto no Brasil, como em outros países, diversas pesquisas relacionadas com digestão anaeróbia envolvendo dejetos de suínos têm sido realizadas, quer a nível de laboratório, quer em escala real. Na Tabela 11 e 12 são apresentados alguns desses trabalhos, nacionais e internacionais, respectivamente.

**Tabela 11.** Dados operacionais e de desempenho de diferentes trabalhos nacionais.

Referência	Oliveira & Foresti (2001)	Campos et al. (2002)	Gosmann (2004)	Gosmann (2004)	Santana & Oliveira (2005)	Oliveira & Higarashi (2006)	Fernandes & Oliveira (2006)	Schoenhals et al. (2007)
Localidade	Jaboticabal (SP)	Lavras (MG)	Orleans (SC)	Seará (SC)	Jaboticabal (SP)	Concórdia (SC)	Jaboticabal (SP)	Paraná (PR)
<b>Dados Operacionais</b>								
Tipo de experimento	escala laboratorial	escala laboratoria	escala real	escala real	escala real	escala real	escala laboratorial	escala real
Nº Animais			220	1.100		400		2500 matrizes UPL
	Dejetos de suínos na fase de crescimento		Dejetos de suínos na fase de terminação		Dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação			
Tipo de Reator	UASB de bancada	UASB	Biodigestor Alimentação : 2 m <sup>3</sup> /dia	Biodigestor Alimentação: 4,2 m <sup>3</sup> /dia	2 UASB em série		Biodigestor Alimentação: 2,45 m <sup>3</sup> /dia	ABR - UASB 2 UASB em paralelo
Volume	10,5 L	11,7 L	100 m <sup>3</sup>	400 m <sup>3</sup>	908 L	188 L	100 m <sup>3</sup>	530 L - 120L 27,5 m <sup>3</sup> cada reator
Temperatura (°C)	25 e 30	25 ± 2	-	-	-	-	-	14 a 23
TRH	vários	30 h	-	-	62,3 e 31,1 h	12,9 e 6,5 h	30 dias	- 15,71 h
<b>Dados Desempenho</b>								
Produção de biogas (m <sup>3</sup> /dia)	-	0,00014	39,16	150	-	-	60 verão	- 0,864
Produção de CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /dia)	-	0,0001	-	-	-	-	-	-
m <sup>3</sup> Biogás/kg DQO <sub>adicionada</sub>	-	-	-	-	-	-	0,03 a 0,099	-
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg DQO <sub>removida</sub>	0,10 a 0,18	0,01	-	-	0,156 a 0,289		0,068 e 0,053	-
% CH <sub>4</sub>	-	-	-	-	75 e 80		70	-
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> reator.dia	0,072 a 1,151	-	-	-	-	-	-	-
Eficiência de remoção DQO (%)	72	78	-	-	86,8 a 93,1		-	máximo de 40
Eficiência de remoção ST (%)	92	-	-	-	85,6 a 87,8		-	máximo de 72,5
Eficiência de remoção SV (%)	-	-	-	-	85,6 a 88,2		-	-

**Tabela 12.** Dados operacionais e de desempenho de diferentes trabalhos internacionais

Referência	Fischer et al. (1979) *	Hansen et al. (1997)	Pagilla et al. (2000)	Magbanua et al. (2001)	SRI/USEPA (2002)	Møller et al. (2004)	Chae et al. (2004)	Sanchez et al. (2005)	DeSutter & Ham (2005)	Feng et al. (2007)
Localidade	-	Dinamarca	EUA, Illinois	EUA, Mississippi	EUA, Colorado	Dinamarca	Coréia do Sul	Cuba, Havana	EUA, Kansas	Japão
<b>Dados Operacionais</b>										
Tipo de experimento	escala real	escala laboratorial	escala laboratorial	escala laboratorial	escala real	escala laboratorial	escala laboratorial	escala laboratorial	escala real	escala laboratorial
Nº Animais			-		6.300 matrizes				10 500 suínos em fase de terminação	
Tipo de Reator	Biodigestor	Reator de bancada	Reator anaeróbio	Reator de bancada	Lagoa anaerobia	Reator de bancada	3 reatores anaeróbios	UASB	Lagoa anaerobia	Biodigestor de 2 fases
Volume	450 L	4,5 L	12 L	0,125 L		1,1 L	5 L cada	5 L	58 000 m <sup>3</sup>	3,9 m <sup>3</sup>
Temperatura (°C)	35	37, 45, 55 e 60	37	35 ± 2	40	35 ± 0,5	25, 30 e 35	30 a 35		
TRH	15 dias	15 dias	5, 9 e 14 dias	-	40 dias		-	8 dias	-	só fezes 16 dias fezes + urina 11 dias
<b>Dados Desempenho</b>										
Produção de biogás (m <sup>3</sup> /dia)	-	-	-	-	601,81	-	-	-	-	3,7
m <sup>3</sup> Biogás/kg SV <sub>adicionado</sub>	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-	0,468
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg SV <sub>adicionado</sub>	-	-	-	-	-	0,516	0,327, 0,389 e 0,403	-	-	-
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg DQO <sub>adicionado</sub>	-	-	-	-	-	-	0,127, 0,143 e 0,163	-	-	-
m <sup>3</sup> Biogás/kg SV <sub>removido</sub>	0,9	-	-	0,2	-	-	1,12	-	-	-
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg SV <sub>removido</sub>	-	0,188, 0,141, 0,067 e 0,022	0,56 - 0,64	0,13	-	-	0,724	-	-	-
% CH <sub>4</sub>	-	71, 69, 51 e 40	-	-	66,3	-	44, 55 e 60	66	71	76
DQO (mg/L)	-	-	14.330	-	-	-	42.350	10.189	-	-
ST (mg/L)	-	-	-	9.750	-	-	23.885	7.210	-	-
SV (mg/L)	-	-	-	9.400	-	-	16.310	5.122	-	-
Eficiência de remoção DQO (%)	-	-	56 - 67	-	-	-	-	85,4	-	65
Eficiência de remoção ST (%)	55	-	.	-	-	-	-	84,1	-	-
Eficiência de remoção SV (%)	63	-	46 - 63	-	-	-	-	83,4	-	60

\* apud LUCAS JR. (sem data).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Considerações iniciais

Este trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira fez-se um diagnóstico de 13 propriedades de suínos através de visitas de campos em regiões em que a suinocultura é significativa, como o Oeste e Sul do Estado de Santa Catarina. Através de um questionário, (APÊNDICE A), sobre aspectos gerais da propriedade, dados gerais sobre a atividade de suinocultura, descrição das instalações e do sistema de tratamento dos dejetos, obteve-se uma informação relevante de cada propriedade. Na segunda parte da pesquisa realizou-se a medição da composição e quantidade de biogás em reatores anaeróbios, existentes nessas propriedades, e uma avaliação dos parâmetros físico-químicos no afluente e efluente dos respectivos biodigestores.

As propriedades estudadas estão localizadas em três regiões: Concórdia, Braço do Norte e Campos Novos, (Figura 12).



**Figura 12** – Mapa com a localização das regiões das propriedades estudadas.

**Fonte:** Mapa Interativo de Santa Catarina.

Para realizar as medições de biogás foi necessário fazer adaptações, principalmente, na tubulação de saída do biogás gerado nos biodigestores, devido às características do gás em estudo e ao equipamento utilizado.

## **4.2 Caracterização das propriedades estudadas**

### **4.2.1.1 Considerações gerais**

A escolha das propriedades foi realizada de modo a se estudar propriedades com mesmo tipo de criação de suínos e também avaliar diferentes tipos de criação.

Por isso se escolheu duas propriedades de ciclo completo (CC), sistema composto por todas as fases de criação dos suínos, do nascimento dos leitões à engorda, até a saída dos animais para abate. Seis propriedades com sistema de unidade de produção de leitões (UPL), sistema de criação constituído por matrizes e reprodutores que se destinam ao nascimento dos leitões (maternidade) e ao crescimento inicial (Creche, peso de 6 a 25 kg), e os vendem no momento de desmame para a terminação. E se optou por cinco propriedades do tipo unidade de crescimento e terminação (CT), cujo sistema de criação é caracterizado por apenas receberem leitões desmamados e os criarem até o momento de abate, os suínos desta unidade possuem um peso compreendido dos 25 aos 100 kg (podendo em alguns casos chegar aos 120 kg).

No Sul do Estado, no município de Braço do Norte, foram estudadas as 2 propriedades em CC, uma de pequena produção com uma criação de suínos composta por 50 matrizes, e outra de grande produção com cerca de 480 matrizes.

No oeste do estado, as propriedades analisadas em Concórdia são integradas a uma empresa agroindustrial. Nesta região foram avaliadas 5 propriedades de UPL, possuindo entre 115 a 180 matrizes, e 5 propriedades de CT, com uma variação entre 500 a 900 animais.

No município de Campos Novos, no oeste do estado, foi avaliada uma UPL com aproximadamente 3.500 matrizes.

### **4.2.1.2 Características climáticas**

A cidade de Braço do Norte está localizada a uma altitude de 27,66 metros acima do nível do mar, na Latitude de 28°16'45", e na Longitude de 49°11'00" a Oeste de Greenwich. Apresenta clima bastante quente, apesar dos ventos que sopram do norte, alcançando temperatura de 35°C. No verão são comuns as fortes chuvas com freqüentes trovoadas, e no inverno, o frio é acentuado junto aos contrafortes da Serra Geral, com temperatura às vezes de 0°C, com fortes geadas e densas neblinas que cobrem a cidade devido à proximidade do Rio Braço do Norte. A temperatura média anual é de 18,7°C. A precipitação pluviométrica atinge uma média anual de 1.500 mm, (BRAÇO DO NORTE, 2008).

O clima da região de Concórdia é super-úmido e mesotérmico do tipo temperado. A temperatura média anual é baixa, em torno de 17°C, com grande amplitude térmica, de aproximadamente 10°C. O verão é um pouco quente e a temperatura média varia em torno de 22°C, no entanto já foram registradas máximas de 30° a 31°C. O inverno é frio com temperatura média de 13°C e a média dos mínimos entre 6° a 9°C. Os totais anuais de precipitação são em torno de 2.000 mm bem distribuídos ao longo do ano. (PORTAL CONCÓRDIA, 2008).

A zona da região de Campos Novos é classificada como clima temperado, constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco. A temperatura média pode variar de 15,8 a 17,9°C. A temperatura normal das máximas varia de 22,3 a 25,8°C e das mínimas de 10,8 a 12,9°C. A precipitação pluviométrica total normal pode variar de 1.460 a 1.820 mm, (CAMPOS NOVOS, 2008).

#### 4.2.2 Propriedades de Ciclo Completo (CC)

A Tabela 13, apresenta as principais características das duas propriedades estudadas com sistema de criação caracterizado como ciclo completo (CC), onde os suínos passam pelas fases de gestação, maternidade, creche, crescimento e terminação.

**Tabela 13.** Localização e caracterização das propriedades de ciclo completo (CC).

Nomenclatura	Localização	GPS	Área total propriedade (ha)	Área construída (m <sup>2</sup> )	Utilização dos solos (ha)
P1	Braço do Norte	Latitude	24	1000	Milho: 10
		28°13'57,3''S			Pastagem de inverno: 10
		Longitude			Reserva Nativa: 6-8
		49°06'28,5''O			Reflorestamento: 1
		Altitude: 416m			
P2	Braço do Norte	Latitude	90	1000	Pastagem de inverno: 25
		28°14'13,43''S			
		Longitude			
		49°13'43''O			
		Altitude: 290m			

A Tabela 14 mostra o número de matrizes e de animais, e as características principais dos biodigestores existentes nas duas propriedades de CC, P1 e P2. Verifica-se que são duas propriedades com características diferentes, em termos de animais e do biodigestor, embora o sistema de produção de suínos seja o mesmo.

**Tabela 14.** Número de animais e características do biodigestor das propriedades de CC.

Nome	Nº de matrizes	Nº de animais <sup>1</sup>	Biodigestor									
			Estrutura da câmara de biodigestão	Forma	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Volume útil (m <sup>3</sup> )	TRH <sup>2</sup> (dias)	Material do gasômetro	Uso biogás	Tubulação do biogás
P1	50	300	Alvenaria	Circular (diâmetro - 6 m)	-	4	90	30	PVC	-	2"	
P2	480	5 800	Concreto e lona	Trapezoidal <sup>3</sup>	55	15	5	4.000	40	PVC	Queima	6"

<sup>1</sup> O número de leitões apresentados são dados pontuais referentes ao dia da coleta.

<sup>2</sup> Os dias de TRH são valores teóricos de projeto.

<sup>3</sup> Forma da seção transversal do biodigestor.

A propriedade P1 possui um sistema de tratamento de dejetos composto por uma unidade de homogeneização seguida de biodigestor e de uma lagoa de armazenamento, em série, Figura 13. No processo desta propriedade todos os efluentes produzidos na unidade de maternidade e creche e na unidade de crescimento e terminação são encaminhados por gravidade para a unidade de homogeneização. O efluente da unidade de homogeneização é bombeado até ao biodigestor, (HENN, 2005).

**Figura 13** – Biodigestor e lagoa de armazenamento da propriedade P1.

O sistema de tratamento existente na propriedade P2, consiste num biodigestor seguido de uma lagoa de armazenamento. As Figuras 14(a) e 14(b) mostram as fotografias do biodigestor e da lagoa de armazenamento, respectivamente, em funcionamento.



(a) Biodigestor



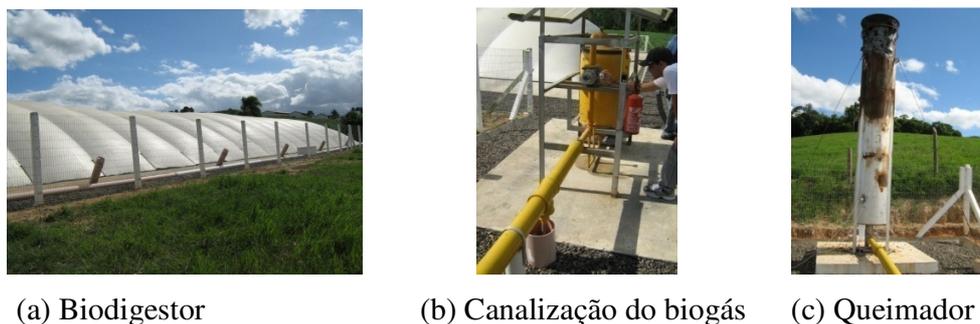
(b) Lagoa de armazenamento

**Figura 14** – Propriedade P2: (a) Biodigestor e (b) lagoa de armazenamento.

O biogás produzido no biodigestor da P1 é canalizado através de um tubo de 2'' ou 50 mm de polietileno, conectado a campânula do biodigestor, que o leva para o selo hídrico colocado ao lado do biodigestor, (HENN, 2005). O biogás não sofre combustão, e nem é tratado para ser aproveitado como energia elétrica na própria propriedade, (Figura 15).

**Figura 15** – Biodigestor, canalização do biogás e selo hídrico, da propriedade P1.

No caso da propriedade P2, o biogás produzido é canalizado para um queimador que funciona 24 horas. A Figura 16 mostra as fotografias desse sistema.



**Figura 6** – Propriedade P2: (a) Biodigestor, (b) canalização do biogás e (c) queimador.

#### 4.2.3 Propriedades com sistema de Unidade Produtora de Leitões (UPL)

A caracterização das propriedades de UPL estudadas nesta pesquisa é apresentada na Tabela 15. Estas seis propriedades possuem um sistema de criação que compreende as matrizes, o nascimento dos leitões e o crescimento inicial.

**Tabela 15.** Localização e caracterização das propriedades de UPL.

Nomenclatura	Localização	GPS	Área total propriedade (ha)	Área construída (m <sup>2</sup> )	Utilização dos solos (ha)
<b>P3</b>	Concórdia	Latitude 27°12'27,5''S Longitude 51°52'36''O Altitude: 716m	16,9	Não sabe	Milho: 12 Potreiro: 0,5 Reflorestamento: 1
<b>P4</b>	Concórdia	Latitude 27°10'59''S Longitude 51°53'59,6''O Altitude: 762m	14	1000	Pastagem de inverno: 7,5 Potreiro: 1,5
<b>P5</b>	Concórdia	Latitude 27°12'18,7''S Longitude 52°5'49,5''O Altitude: 607m	5	Não sabe	Reflorestamento: 1
<b>P6</b>	Concórdia	Latitude 27°12'43,2''S Longitude 52°7'22,5''O Altitude: 504m	24	2000	Milho: 7 Reserva nativa: 7
<b>P7</b>	Concórdia	Latitude 27°12'29,2''S Longitude 52°7'58,6''O Altitude: 480m	19	1000	Pastagem de inverno: 10 Reserva nativa ns
<b>P8</b>	Campos Novos	Latitude 27°28'12,3''S Longitude 51°13'31,6''O Altitude: 896m	20	-	-

Na Tabela 16 estão apresentados o número de matrizes, número de leitões e as características principais do biodigestor das seis propriedades de UPL, P3 a P8. A propriedade P8 possuiu dois biodigestores iguais, em série, as dimensões apresentadas na tabela seguinte se referem a um biodigestor.

**Tabela 16.** Número de animais e características do biodigestor das propriedades de UPL.

Nome	Nº de matrizes	Nº de leitões <sup>1</sup>	Biodigestor									
			Estrutura da Câmara de biodigestão	Forma da seção	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Volume útil (m <sup>3</sup> )	TRH <sup>2</sup> (dias)	Material do Gasômetro	Uso biogás	Tubulação do biogás (mm)
P3	120	500-700	Concreto e lona	Trapezoidal	19	9	3,2	413	40	PVC	Queima	75
P4	180	580	Concreto e lona	Trapezoidal	17	8	3,2	308	40	PVC	Queima	75
P5	180	380	Concreto e lona	Trapezoidal	19	9	3,2	413	40	PVC	Queima	75
P6	180	400	Concreto e lona	Trapezoidal	15	11	3,2	395	40	PVC	Queima	75
P7	115	220	Concreto e Lona	Trapezoidal	17	8	3,2	308	40	PVC	Queima	75
P8	3500	7000 leitões creche + 3000 leitões	Lona	Trapezoidal	50	20	7	6.500	40	PVC	Queima e geração de energia	100

<sup>1</sup> O número de leitões apresentados são dados pontuais referentes ao dia da coleta.

<sup>2</sup> Os dias de TRH são valores teóricos de projeto.

O sistema de tratamento dos dejetos na propriedade P3, é constituído por um biodigestor seguido de duas lagoas de armazenamento em série. Na propriedade P4, o sistema de tratamento é composto por um biodigestor seguido de uma só lagoa de armazenamento. No caso da propriedade P5, o sistema de tratamento consiste em um biodigestor seguido de 4 lagoas de armazenamento em série. Enquanto que as propriedades P6 e P7, possuem um sistema de tratamento formado por um biodigestor seguido de uma só lagoa de armazenamento, Figura 17.

A propriedade localizada em Campos Novos, P8, devido ao número elevado de animais, Tabela 16, possui um sistema constituído por uma esterqueira, seguida de dois biodigestores em série, de uma lagoa de armazenamento, uma lagoa aerada e uma segunda lagoa de armazenamento, Figura 18.



(a) Biodigestor e lagoa da P6



(b) Biodigestor e lagoa da P7

**Figura 7** – Biodigestor e lagoa de armazenamento da propriedade: (a) P6, e (b) P7.



(a) 2 biodigestores em série



(b) Biodigestor seguido da lagoa de armazenamento e da lagoa aerada

**Figura 8** – Sistema de tratamento da propriedade de Campos Novos, P8. (a) 2 biodigestores em série, (b) Biodigestor seguido da primeira lagoa de armazenamento e lagoa aerada.

Nas cinco propriedades de UPL estudadas em Concórdia, o biogás é canalizado do biodigestor para um queimador, que funciona quando a pressão do biogás chega a 15 mm de atmosfera. As Figuras 19(a) e 19(b) mostram as fotografias de dois queimadores.



(a) Queimador da P6



(b) Queimador da P7

**Figura 9** – (a) Queimador da propriedade P6 e (b) queimador da propriedade P7.

#### 4.2.4 Propriedades de Crescimento e Terminação (CT)

A Tabela 17 apresenta as principais características das cinco propriedades estudadas com sistema de criação caracterizado como unidade de crescimento e terminação, CT.

**Tabela 17.** Caracterização das propriedades de CT.

Nomenclatura	Localização	GPS	Área total da propriedade (ha)	Área construída (m <sup>2</sup> )	Utilização dos solos (ha)
<b>P9</b>	Concórdia	Latitude 27°11'22,3''S Longitude 52°09'01,7''O Altitude: 590m	12	1000	Milho: 7 Potreiro: 1,5 Reflorestamento: 3
<b>P10</b>	Concórdia	Latitude 27°11'24,6''S Longitude 52°06'29''O Altitude: 601m	24	1000	Milho: 8 Potreiro: 8 Reserva nativa: 7
<b>P11</b>	Concórdia	Latitude 27°11'21,6''S Longitude 52°06'33,3''O Altitude: 607m	13,4 +2	2000	Milho: 6 Pastagem de inverno: 6
<b>P12</b>	Concórdia	Latitude 27°12'12,9''S Longitude 52°06'58,5''O Altitude: 553m	5	4000	Milho < 3 Reserva nativa: 1
<b>P13</b>	Concórdia	Latitude 27°12'12,5''S Longitude 52°07'11,1''O Altitude: 572m	17	não sabe	Milho < 8 Reserva nativa: 4 Reflorestamento: 2

Na Tabela 18 estão apresentadas as características principais do biodigestor das propriedades de CT, P9 a P13.

**Tabela 18.** Número de animais e características do biodigestor das propriedades de CT.

Nome	Nº de animais <sup>1</sup>	Biodigestor									
		Estrutura da Câmara de biodigestão	Forma da seção	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Volume útil (m <sup>3</sup> )	TRH <sup>2</sup> (dias)	Material do Gasômetro	Uso biogás	Tubulação do biogás (mm)
<b>P9</b>	640	Concreto e lona	Trapezoidal	15	7	3,2	235	40	PVC	Queima	75
<b>P10</b>	495 <sup>3</sup>	Concreto e lona	Trapezoidal	15	7	3,2	235	40	PVC	Queima	75
<b>P11</b>	598	Concreto e lona	Trapezoidal	15	7	3,2	235	40	PVC	Queima	75
<b>P12</b>	590	Concreto e lona	Trapezoidal	16	6	2	123	40	PVC	Queima	75
<b>P13</b>	810	Concreto e Lona	Trapezoidal	19	9	3,2	413	40	PVC	Queima	75

<sup>1</sup> O número de animais apresentados são dados pontuais referentes ao dia da coleta.

<sup>2</sup> Os dias de TRH são valores teóricos de projeto.

<sup>3</sup> Valor correspondente à capacidade máxima de animais na propriedades P10.

O sistema de tratamento dos dejetos, nas propriedades P9, P10 e P11, é composto por um biodigestor seguido de duas lagoas de armazenamento em série, Figura 20. A propriedade P12 possui um sistema de tratamento formado por um biodigestor seguido de uma lagoa de armazenamento, como mostra na Figura 21. Na propriedade P13, o sistema consiste num biodigestor seguido de duas lagoas de armazenamento em série



(a) Biodigestor



(b) Primeira lagoa de armazenamento

**Figura 10** – Sistema de tratamento da propriedade P10. (a) Biodigestor, e (b) primeira lagoa de armazenamento.



(a) Biodigestor



(b) Lagoa de armazenamento

**Figura 11** – Sistema de tratamento da propriedade P12. (a) Biodigestor e (b) Lagoa de armazenamento.

Em todas as propriedades de CT estudadas em Concórdia, o biogás é canalizado do biodigestor para um queimador, que funciona quando a pressão do biogás chega a 15 mm de atmosfera. As Figuras 22(a) e 22(b) mostram as fotografias de alguns queimadores.



(a) Queimador da P12



(b) Queimador da P13

**Figura 12** – (a) Queimador da propriedade P12. (b) Queimador da propriedade P13.

### 4.3 Análises do biogás

#### 4.3.1 Período das análises

O biogás produzido nos reatores anaeróbios das propriedades estudadas, foi analisado em relação à sua composição e quantidade produzida pontualmente.

Esta medição começou em Janeiro de 2008 nas duas propriedades localizadas no município de Braço do Norte. Em Fevereiro e Março realizaram-se as medições nas propriedades

situadas em Concórdia e em Campos Novos. Ainda no mês de Março foram repetidas as avaliações nos biodigestores das duas propriedades de Braço do Norte. Assim concluiu-se a análise do biogás nas treze propriedades no período de verão.

No período de outono, precisamente no mês de Maio, foram realizadas outras repetições em somente três propriedades por razões técnicas e financeiras, correspondendo uma a cada sistema de criação, as propriedades selecionadas foram a P1 (CC), P6 (UPL) e P12 (UCT).

#### 4.3.2 Medição e avaliação da composição do biogás

A medição da composição do biogás realizou-se através de um medidor portátil Dräger X-am 7000, apresentado na Figura 23. Esse medidor faz a detecção simultânea e contínua dos gases através de sensores infravermelhos e eletroquímicos, independentes. Os principais gases que o aparelho mediu foram o CH<sub>4</sub>, o CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e o O<sub>2</sub>. Este medidor possui uma bomba interna que retira amostras de gases com uma vazão máxima de 0,5 m<sup>3</sup>/s, através de uma mangueira de 50 cm.



**Figura 13** – Medidor Dräger X-am 7000

Os tipos de sensores utilizados para cada gás e as diferentes faixas de concentração dos gases são apresentados na seguinte Tabela 19:

**Tabela 19.** Faixas de concentração dos gases medidos pelo Dräger X-am 7000.

Gás	Tipo de sensor	Faixa de concentração	Erro
CH <sub>4</sub>	Infravermelho	0 – 100 %	≤ ± 5 %
CO <sub>2</sub>	Infravermelho	0 – 100 %	≤ ± 5 %
H <sub>2</sub> S	Eletroquímico	0 – 1000 ppm	≤ ± 5 ppm
O <sub>2</sub>	Eletroquímico	0 – 25 %	≤ ± 0,3 %

**Fonte:** Manual do aparelho Dräger X-am 7000.

A calibração do aparelho foi realizada quinzenalmente com diferentes gases padrões, com composição de 50% de CH<sub>4</sub> e com 50% de CO<sub>2</sub>, e de 500 ppm de H<sub>2</sub>S com 500 ppm de N<sub>2</sub>.

#### 4.3.3 Medição da vazão do biogás

Para medir a vazão do biogás produzido foi utilizado o Termo-Anemômetro da marca Airflow modelo TA45, que mede velocidade (m/s) e temperatura (°C) do gás, através de sensores do tipo de fio quente. O sensor está fixado em uma haste com diâmetro de 8 mm, Figura 24.



**Figura 14** - Termo-Anemômetro TA45.

Fonte: [www.airflow.com](http://www.airflow.com)

Este aparelho armazena as leituras, indicando os valores mínimos ou máximos com duas opções de modos. O modo contínuo, que pode reter as leituras de pontos no mostrador digital para verificações comparativas. Ou, o modo de médias, que armazena as leituras e o valor médio pode ser atualizado duas vezes em cada segundo, e no final da medição uma média geral é indicada no mostrador.

A Tabela 20 apresenta a escala de medição e a precisão do aparelho, de acordo com o manual do mesmo.

**Tabela 20.** Escala de medição e precisão do Termo-Anemômetro TA45.

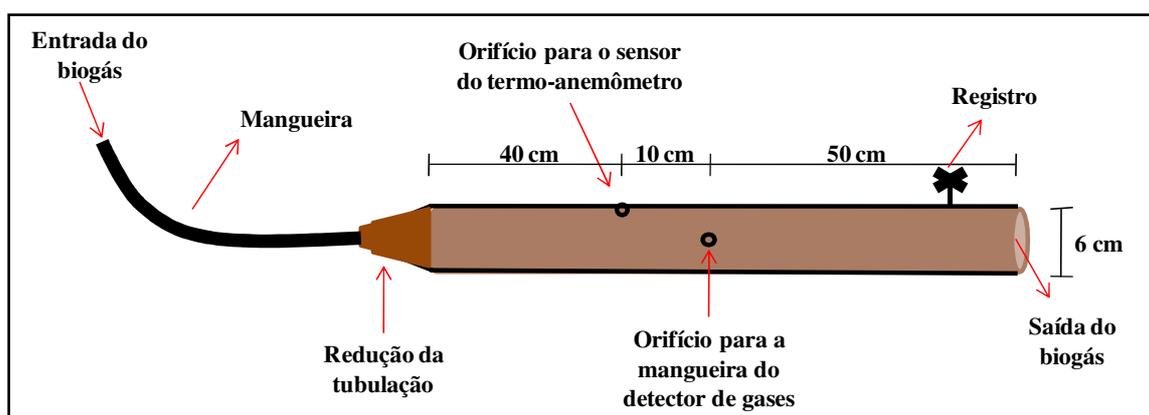
Parâmetro	Faixa de Medição	Erro
Velocidade (m/s)	0 – 30	+/- 0,06
Temperatura (°C)	0 – 80	+/- 1
Seção transversal (m <sup>2</sup> )	0,008 – 90	

Fonte: Manual do Termo-Anemômetro TA45.

#### 4.3.4 Condições para as medições em campo

Para realizar a avaliação da composição através do medidor Drager X-am 7000, e da vazão com o anemômetro, foi preparado um sistema que seguiu as recomendações da Norma NBR 10701 - Determinação de pontos de amostragem em dutos ou chaminés de fontes estacionárias – Procedimento.

Esse sistema consistiu em uma tubulação, com 1 m de comprimento e 60 mm de diâmetro externo (Figura 25 e 26(a)), possível de ser conectada nas canalizações de saída do biogás nos diferentes reatores anaeróbios de modo a padronizar todas as medidas de biogás (concentração dos componentes e velocidade) conforme a Figura 26(b). Essa adaptação torna o fluxo laminar diminuindo as interferências na leitura dos gases. Essa tubulação possui dois orifícios, um para conexão da sonda do termo-anemômetro, a 40 cm da extremidade inicial do tubo, e o outro em que é conectada a mangueira do medidor de gases, a 10 cm do orifício anterior.



**Figura 15** – Esquema do adaptador utilizado nas medições.

Ainda utilizou-se uma mangueira de plástico de 1,5 m para conectar a saída do biogás canalizado ao sistema de adaptação feito para padronizar todas as medições.

Nas Figuras 26 (a), 27 (a), (b) e (c) são apresentadas fotos de como foi feita a conexão entre o adaptador, desenvolvido neste trabalho, e a canalização de saída do biogás existente nos diferentes biodigestores estudados. Esta conexão foi igual para todas as propriedades localizadas em Concórdia.



(a) Conexão entre o adaptador e a saída do biogás, na propriedade P1.

(b) Medidor de gases (Dräger X-am 7000), tubulação e termo-anemômetro (TA45).

**Figura 16** – (a) Tubulação conectada à saída de gás do biodigestor; (b) Medidor de gases (Dräger X-am 7000), tubulação e termo-anemômetro (TA45).



(a) Conexão entre o adaptador e a saída do biogás, na propriedade P8.



(b) Conexão entre o adaptador e a saída do biogás, numa das propriedades localizadas em Concórdia.



(c) Conexão entre mangueira do adaptador e a saída do biogás, numa das propriedades de Concórdia.

**Figura 17** – Diferentes conexões entre o adaptador desenvolvido e a canalização de saída do biogás conforme o biodigestor.

O tempo de medição do Dräger X-am 7000, para cada uma das análises foi de uma hora, registrando-se valores em cada 30 segundos. Estas medições foram realizadas no período da manhã e da tarde.

Para medir a velocidade e temperatura do biogás, o termo-anemômetro TA45 foi instalado perpendicular ao fluxo do biogás no primeiro orifício, como referido anteriormente. Esta medição realizou-se duas vezes, em cada período, uma antes e outra depois da análise de uma hora das concentrações dos gases. Por fim se obteve, para cada biodigestor, quatro valores de velocidade convertidos em vazão (m<sup>3</sup>/h) a partir de uma seção conhecida.

#### 4.3.5 Determinação da vazão

Para o cálculo da vazão utilizou-se a seguinte equação:

$$Q = (v \times A) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Q: vazão do biogás (m<sup>3</sup>/s)

v: velocidade de saída do biogás (m/s)

No entanto foi necessário determinar a vazão normalizada, utilizando-se um fator de correção de acordo com a pressão atmosférica de cada região e temperatura do biogás medido em cada biodigestor. Para isso assumiu-se que o biogás apresenta comportamento de um gás ideal e calculou-se a vazão volumétrica, nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP) recomendadas pela International Union of Pure and Applied Chemistry (MILLS et al. 1993). Foi utilizado a equação 4:

$$Q = (v \times A) \times \frac{273,15}{273,15 + T} \times P \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

Q: vazão do biogás (m<sup>3</sup>/s)

v: velocidade de saída do biogás (m/s)

A: área da seção de passagem do fluido (m<sup>2</sup>)

T: temperatura de saída do biogás (°C)

P: pressão atmosférica (bar/atm)

#### 4.4 Análises dos dejetos

Os parâmetros físico-químicos medidos *in situ* foram pH, potencial redox e temperatura, do afluente e efluente de cada biodigestor. Para estas análises utilizou-se um pHmetro portátil da marca Hanna Instruments modelo HI991003, com uma sonda conjugada.

As análises físico-químicas: demanda química de oxigênio total (DQO<sub>total</sub>), sólidos totais (ST) e sólidos voláteis totais (SV), do afluente e efluente de cada biodigestor, foram realizadas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, da UFSC. Estas análises seguiram os procedimentos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, (APHA, 1998).

As coletas das amostras para estas análises ocorreram nos mesmos dias que se fez a medição do biogás de cada propriedade, tendo sido coletadas em garrafas plásticas de 250 mL e 100 mL, para a série de sólidos e DQO, respectivamente. As amostras de DQO foram acidificadas. E ambas as amostras foram congeladas para posterior análise de laboratório.

Na propriedade P10 não foi coletado amostra do afluente porque esta se encontrava sem animais há 15 dias, ou seja, não houve alimentação do biodigestor durante esse período.

##### 4.4.1 Sólidos totais e voláteis

Para determinar os sólidos totais (ST) e voláteis (SV) utilizou-se os seguintes equipamentos: estufa da marca Deleo tipo 4, a 105°C, mufla da marca Quimis, modelo Q3182d24 funcionando a 550°C, para a ignição de cadinhos antes de serem pesados e para queima total de sólidos orgânicos das amostras; chapa de aquecimento modelo DB-II da marca Vertex.

Para a determinação desta série de sólidos utilizou-se 10 mL de amostra. Os resultados são expressos em massa por massa (g/Kg), para esta conversão foi considerado uma densidade média dos dejetos de 1022 Kg/m<sup>3</sup> para cada amostra.

##### 4.4.2 Demanda Química de Oxigênio total (DQO<sub>total</sub>)

A DQO<sub>total</sub> foi analisada através do método colorimétrico, utilizando o bloco de aquecimento Hanna Instruments, modelo COD-Reator HI 839800, 25 canais e o espectrofotômetro da Hach, modelo DR4000 para leitura.

Para realização da DQO foi necessário diluir as amostras, tanto do afluente como do efluente. Na maioria das amostras a fator de diluição foi de 100 vezes, exceto para as amostras das propriedades P1, P2 e P8. O afluente da P1 foi diluído 200 vezes e o efluente 20 vezes. Tanto as amostras do afluente como o efluente das P2 e P8 foram diluídas 20 vezes. Estas amostras foram analisadas por meio da média das concentrações sobre duplicatas, para evitar ou diminuir erros analíticos ou sistemáticos. Os resultados são também apresentados em g DQO/Kg, considerando a mesma densidade média referida anteriormente.

#### 4.5 Cronograma dos testes e medições

A Tabela 21 apresenta o cronograma dos testes e das medições realizadas nesta pesquisa desde novembro de 2007 a maio de 2008.

**Tabela 21.** Cronograma dos testes e medições.

Atividade	1º Teste *	2º Teste *	Calibração do aparelho	3º Teste	4º Teste	1ª Medição - Verão			2ª Medição - Outono	
Data	out/07	out/07	nov/07	nov/07	jan/07	fev/08 e mar/08			mai/08	
Localidade	Braço do Norte	Concórdia	São Paulo	Braço do Norte	Braço do Norte	Concórdia	Campos Novos	Braço do Norte	Braço do Norte	Concórdia
Uso adaptador	Sem	Com	-	com adaptador após calibração	Com	Com			Com	
Biodigestor	P1	Biodigestor da Embrapa	-	P1	P1 e P2	P3 a P7 P9 a P13	P8	P1 e P2	P1	P6 e P12
Período de medição	-	-	-	Manhã	P1=Manhã e Tarde; P2=Tarde	Manhã e Tarde			Manhã e Tarde	
Coleta das amostras	-	-	-	-	-	Afluente e efluente dos biodigestores			Afluente e efluente dos biodigestores	

\* os resultados das medições teste 1 e 2 não foram considerados

O primeiro teste de medição da composição do biogás realizou-se sem qualquer adaptação, colocando o medidor da qualidade diretamente na saída do biogás. O resultado obtido sofreu algumas interferências, principalmente, relacionadas com o fluxo do biogás na saída da tubulação.

O segundo teste ocorreu em Concórdia, desta vez foi construído um adaptador para medir a composição do biogás. Esse adaptador surgiu pela necessidade de tornar o fluxo de biogás laminar para diminuir os erros durante as medições. O adaptador consistiu numa tubulação de 1 m de comprimento e 0,60 m de diâmetro, como descrito anteriormente (item 4.3.4).

## 4.6 Tratamento dos dados

Para análise dos dados de vazão de biogás foi utilizado o programa Microsoft Excel, através do qual foram elaborados tabelas e gráficos que expressem os resultados em relação às diferentes propriedades.

Os dados da composição do biogás, nas 13 propriedades foram tratados estatisticamente utilizando a análise descritiva, por meio dos diagramas de caixa (medianas e quartis) e tabelas contendo médias, desvio padrão, valores de mínimo e máximo. Para isso utilizou-se o software STATISTICA 7.0.

### 4.6.1 Análise descritiva

A análise descritiva é utilizada como uma descrição de um conjunto de valores. Os resultados são expressos por média e desvio padrão quando apresentam distribuição normal, pois a média representa bem os dados apenas quando existe simetria, quando não são afetadas por valores extremos, altos ou baixos, chamados de “*out-liers*”. Em casos onde não existe simetria dos dados são usados a mediana, 1º quartil (25% dos dados) e 3º quartil (75% dos dados), tornando-se uma maneira mais adequada de representação dos dados. Os valores de máximo e mínimo complementam a análise, para que o pesquisador tenha uma visão geral da variabilidade dos dados coletados (OGLIARI e PACHECO, 2004).

Através dos diagramas de caixa (*box-plot*) pode-se comparar a diferença na distribuição de dados, de dois ou mais grupos. Pode-se usar como medida central a média ou a mediana, conforme tipo de distribuição (simétrica ou assimétrica).

No presente estudo foram usados valores de média, mediana, moda, desvio padrão, variância, máximo e mínimo para a análise inicial dos dados das concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, os quais foram reunidos em tabelas (APÊNDICE C). Nos diagramas de caixa foram utilizados os valores de mediana e quartis.

## 4.7 Cálculos

### 4.7.1 Estimativa da quantidade de dejetos produzidos

As quantidades de dejetos produzidos por dia para cada propriedade estudada nesta pesquisa, foram estimadas pelo número total de matrizes existentes no caso das propriedades caracterizadas por sistemas de criação CC e UPL, e pelo número de animais nas propriedades CT.

Para este cálculo utilizou-se o valor médio de 21,5 L/matriz.dia, obtido através dos dados de produção de dejetos entre uma porca em gestação e uma porca em lactação, valores referidos por Oliveira et al. (1993). E considerou-se uma produção de dejetos de 7 L/suíno.dia.

#### 4.7.2 Carga orgânica aplicada e removida

A carga orgânica aplicada e removida, para todos os biodigestores, foi estimada em termos de DQO (Kg DQO/dia) e de SV (Kg SV/dia) utilizando-se a equação 5:

$$CO = \frac{(C \times Q)}{1.000} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

CO – Carga orgânica (Kg/dia);

C – Concentração do afluente ou concentração removida ( $C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}$ ), (mg/L);

Q – Vazão dos dejetos ( $\text{m}^3/\text{dia}$ );

1.000 – Fator de conversão de unidade (g/Kg).

#### 4.7.3 Carga orgânica volumétrica

O cálculo da carga orgânica volumétrica (COV) foi determinado para os SV, através da seguinte equação:

$$COV = \frac{(C \times Q)}{1.000 \times V} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

COV – Carga orgânica volumétrica ( $\text{Kg}/\text{m}^3.\text{dia}$ );

C – Concentração de SV do afluente (mg/L);

Q – Vazão dos dejetos ( $\text{m}^3/\text{dia}$ );

V – Volume do reator ( $\text{m}^3$ );

1.000 – Fator de conversão de unidade (g/Kg).

### 4.7.3 Eficiência de remoção

A eficiência de remoção foi calculada para a DQO e para a série de sólidos, através da seguinte relação:

$$E = \frac{(C_{Af} - C_{Ef})}{C_{Af}} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

E – Eficiência de remoção (%);

$C_{Af}$  – Concentração do afluente (mg/L);

$C_{Ef}$  – Concentração do efluente (mg/L).

## 4.8 Regionalização de coeficientes

### 4.8.1 Produção de biogás e de CH<sub>4</sub> em relação à quantidade de carga orgânica removida

Estimou-se a quantidade de biogás e de CH<sub>4</sub> produzida através dos valores de vazão diários e da respectiva carga orgânica removida, em função de SV e de DQO, obtidas em cada biodigestor.

### 4.8.2 Produção de biogás e de CH<sub>4</sub> em relação ao número de matrizes e de animais

Através dos dados de vazão obtidos durante as medições, e do número de matrizes e de animais existente em cada propriedade, avaliou-se a quantidade de biogás e de CH<sub>4</sub> por matriz, no caso das propriedades com sistema de criação CC e UPL, e por animal nas propriedades de CT.

## 4.9 Estimativa do potencial de geração de biogás e de CH<sub>4</sub> em Santa Catarina

Para estimar o potencial de geração de biogás e de CH<sub>4</sub> utilizaram-se os números oficiais da criação de suínos existentes no estado de Santa Catarina, através dos dados adquiridos no Levantamento Agropecuário Catarinense (LAC, 2005, ICEPA, 2005). Assim obteve-se o número total de porcas reprodutoras e de suínos em recria e em fase de terminação no estado e de acordo com a produção de biogás e de CH<sub>4</sub> por matriz e por suíno alcançada neste trabalho pode-se estimar o potencial de produção destes dois parâmetros, em Santa Catarina.

Para determinar o potencial de geração de biogás, de CH<sub>4</sub> e de CO<sub>2</sub> em toneladas foi necessário converter o peso molecular, tanto do biogás como do CH<sub>4</sub> e do CO<sub>2</sub>, em concentração (g/m<sup>3</sup>) e para isso, assumiu-se que ambos apresentam o comportamento de um gás ideal nas CNTP, ou seja, considerou-se o volume molar igual a 22,4 L/mol. O cálculo foi realizado através da equação seguinte:

$$C = \frac{C' \times PM \times 1000 \text{ L/m}^3}{22,4} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

C é a concentração em g de biogás (CH<sub>4</sub> ou CO<sub>2</sub>) por m<sup>3</sup>;

C' é a concentração em m<sup>3</sup> de biogás (CH<sub>4</sub> ou CO<sub>2</sub>) por dia;

PM é o peso molecular do gás considerado em g/mol (PM<sub>CH<sub>4</sub></sub> = 16 g/mol, PM<sub>CO<sub>2</sub></sub> = 44 g/mol; PM<sub>Biogás</sub> = 25,24 g/mol, considerando 67% de CH<sub>4</sub> e 33% de CO<sub>2</sub>);

22,4 é o volume molar em L/mol, correspondente a massa molecular de um gás considerado perfeito nas CNTP.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Identificação e Caracterização das Propriedades

A identificação das treze propriedades em estudo com a respectiva localidade, número de animais e de matrizes, e a produção diária de dejetos calculada segundo o sistema de produção de suínos, é apresentada na Tabela 22.

O volume de dejetos líquidos produzido por hora e por dia, para cada uma das propriedades, foi estimado de acordo com Oliveira et al. (1993). Assim, foi considerada uma produção de dejetos de 7 L/suíno.dia e em relação à matriz considerou-se um valor médio de 21,5 L/matriz.dia, obtido através dos dados de produção de dejetos entre uma porca em gestação e uma porca em lactação.

**Tabela 22.** Identificação e Produção diária de dejetos de suínos (m<sup>3</sup>/dia) das treze propriedades estudadas.

Propriedade	Tipo de Sistema de Produção	Localidade	Número de Matrizes <sup>1</sup>	Número de Leitões <sup>2</sup>	Número de Animais	Produção de Dejetos (L/h)	Produção de Dejetos (m <sup>3</sup> /dia)
P1	Ciclo Completo (CC)	Braço do Norte	50	-	300	44,8	1,1
P2		Braço do Norte	480	-	4.800	430,0	10,3
P3	Unidade de Produção de Leitões (UPL)	Concórdia	120	600	-	107,5	2,6
P4		Concórdia	180	600	-	161,3	3,9
P5		Concórdia	180	407	-	161,3	3,9
P6		Concórdia	180	580	-	161,3	3,9
P7		Concórdia	115	335	-	103,0	2,5
P8		Campos Novos	3.500	10.000	-	3135,4	75,3
P9	Unidade de Crescimento e Terminação (UCT)	Concórdia	-	-	640	186,7	4,5
P10		Concórdia	-	-	495 <sup>3</sup>	144,4	3,5
P11		Concórdia	-	-	598	186,7	4,5
P12		Concórdia	-	-	590	172,1	4,1
P13		Concórdia	-	-	810	236,3	5,7

<sup>1</sup> Valor correspondente à capacidade máxima das propriedades.

<sup>2</sup> Valor correspondente ao número de leitões existentes no dia da medição.

<sup>3</sup> Valor correspondente à capacidade máxima de animais na propriedade P10. Obs.: no momento da medição a propriedade encontrava-se sem suínos há 15 dias.

As propriedades com maior produção de dejetos que são também as de maior número de animais, correspondem à P2 e à P8, com cerca de 10 e 75 m<sup>3</sup>/dia, respectivamente (Tabela 22).

Na Tabela 23 figuram as temperaturas médias ambientais registradas com o termômetro, durante as medições a campo nas diferentes propriedades, no período da manhã e da tarde.

**Tabela 23.** Temperaturas médias ambientais.

	Propriedade	Temperatura ambiente (°C)		
		Manhã	Tarde	
Verão	CC	P1	22,8	24,2
		P2	25,8	-
	UPL	P3	30,4	31,0
		P4	30,3	27,9
		P5	31,0	29,4
		P6	22,0	-
		P7	24,0	-
		P8	26,7	29,5
		P9	25,3	29,2
		P10	25,1	29,4
	CT	P11	26,5	-
		P12	26,0	28,0
		P13	26,2	27,0
Outono	CC	P1	21,7	22,6
	UPL	P6	16,1	22,1
	CT	P12	20,6	23,2

As temperaturas médias ambientais no período da manhã, na época do verão, variaram entre 22°C (P6) e 31°C (P5). No período da tarde, a temperatura mínima foi de 24,2°C (P1) e a máxima de 31°C (P3). Observou-se que na maioria dos casos, a temperatura foi superior no período da tarde.

Nas medições efetuadas durante o outono, a temperatura média variou entre 16,1°C (P6) e 21,7°C (P1), no período da manhã, e entre 22,1°C (P6) e 23,1°C (P12), no período da tarde.

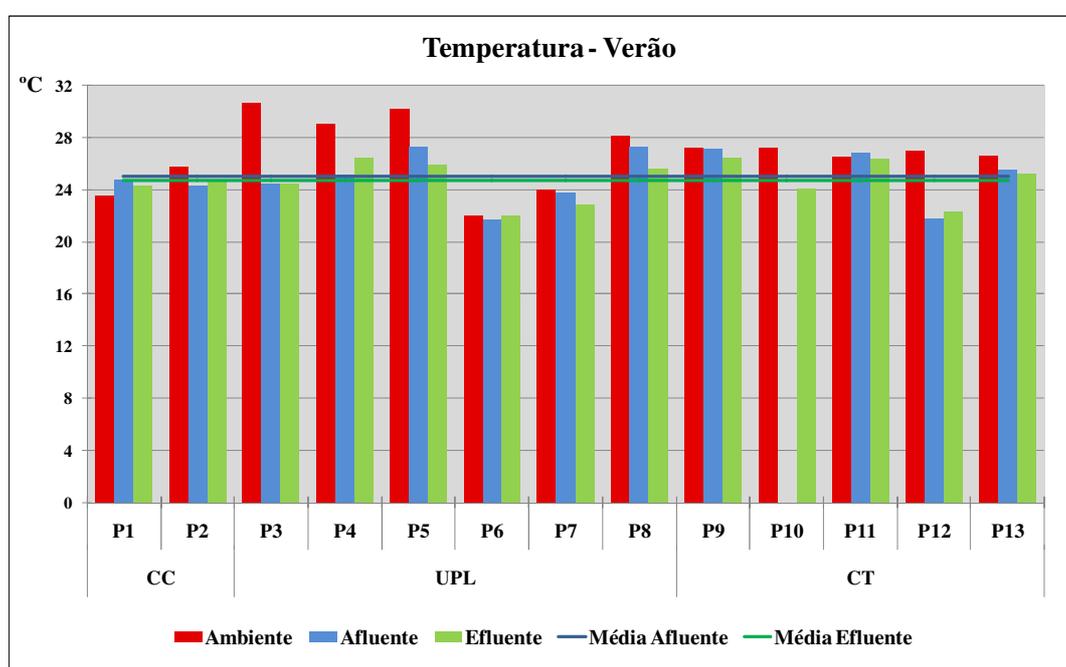
## 5.2 Análise dos parâmetros físico-químicos *in situ*

Os parâmetros físico-químicos analisados no afluente e no efluente de cada biodigestor foram medições pontuais, como referido na metodologia, realizadas no mesmo dia da medição do biogás. Esta informação foi necessária para a análise físico-química conjunta dos biodigestores.

Na propriedade P10 não foi coletada amostra do afluente porque esta se encontrava sem animais há 15 dias, e portanto sem alimentação do biodigestor.

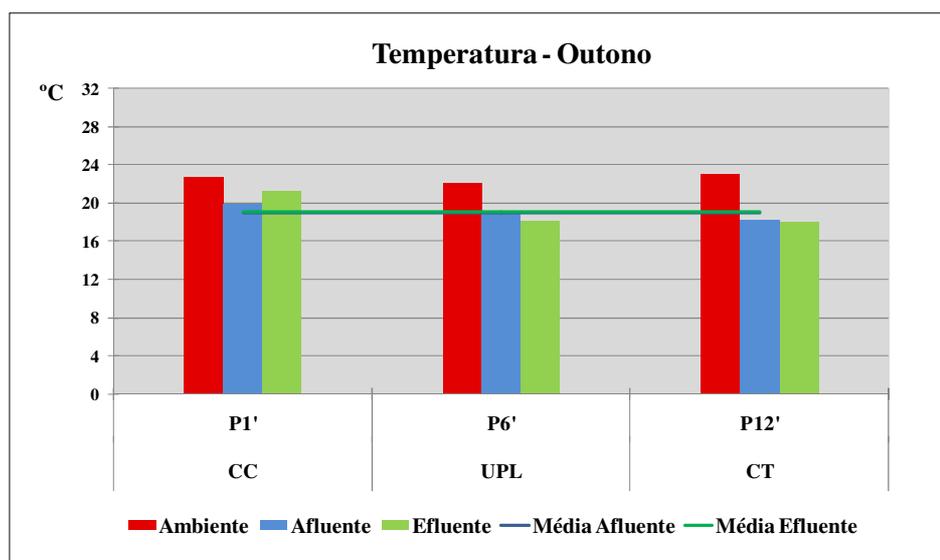
### 5.2.1 Temperatura

Conforme pode ser verificado na Figura 28, a temperatura média registrada no afluente foi de 25 °C variando entre 21,7 (P6) e 27,3°C (P8), no verão. No caso do efluente dos biodigestores, obteve-se uma temperatura média de 24,7°C, variando entre 22 (P6) e 26,4°C (P4 e P9), (APÊNDICE C).



**Figura 18** – Temperatura ambiente e temperatura do afluente e efluente dos biodigestores estudados na época do verão.

No outono (Figura 29), as temperaturas registradas, tanto no afluente como no efluente, foram inferiores em comparação com as de verão, onde se verificou também uma temperatura ambiente relativamente menor. Nesta época a temperatura média do afluente foi 19°C, variando entre 18,2 (P12) e 19,9°C (P1) e a temperatura média do efluente foi 19,1°C, variando entre 18 (P12) e 21,3°C (P1).



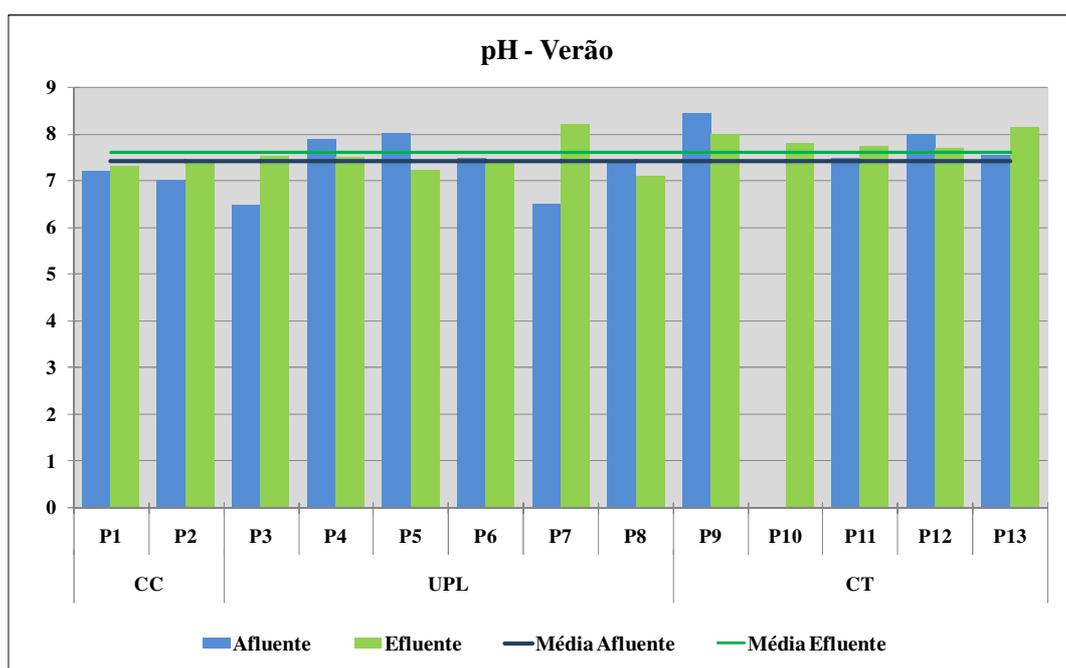
**Figura 19** – Temperatura ambiente e temperatura do afluente e efluente dos biodigestores estudados na época do outono.

Durante as medições realizadas no verão os valores da temperatura na maioria dos biodigestores estudados (P4, P5, P8, P9, P11 e P13) encontravam-se próximos do limite inferior da faixa de valores considerada ótima para a digestão anaeróbia, isto é, a um nível mesófilo entre 25 e 40°C (CCE, 2000).

Mesmo nos casos em que a temperatura se manteve abaixo dos valores ótimos, o processo anaeróbio ocorreu como foi verificado no local quer pelo volume da lona dos biodigestores e quer pela própria medição do biogás. Na realidade e de acordo com Safley & Westerman (1993, apud CARMO, 1998), a digestão anaeróbia de dejetos de suínos também é possível a temperaturas mais baixas, entre 10 a 23°C, embora a eficiência e taxa de digestão diminuam acentuadamente com o decréscimo da temperatura (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). Se comparar as temperaturas dos afluentes e efluentes, com a temperatura ambiente (Figura 28 e Figura 29), verifica-se que os valores estão próximos, mostrando que a temperatura dentro do biodigestor é influenciada pela temperatura externa. Por esse motivo, muitos autores, (CHERNICHARO, 1997; CCE, 2000; OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006), concordam com a necessidade de aquecer o efluente para manter este a uma temperatura constante durante as diferentes épocas do ano, principalmente nos meses mais frios.

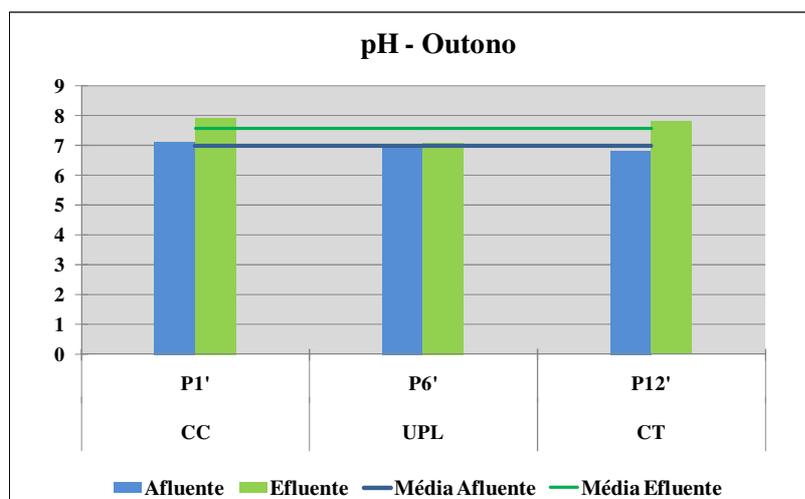
### 5.2.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH obtidos para o afluente e o efluente dos treze biodigestores, estudados durante o verão, são apresentados na Figura 30, (APÊNDICE C). Nesta época, o pH dos dejetos brutos, afluentes dos biodigestores, variou entre 6,5, no P3, e 8,4 no P9. No caso dos efluentes, o pH foi um pouco superior ao pH neutro, apresentando um valor mínimo de 7,1 no P8 e um máximo de 8,2 no P7.



**Figura 20** – pH no afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão.

Em relação ao outono (Figura 31), os valores de pH permaneceram praticamente iguais aos valores obtidos no verão, permanecendo próximos da neutralidade, exceto no caso de P12 em que o pH no afluente obtido no outono (6,8) foi inferior ao observado no verão (8,0). Nos afluentes o pH variou de 6,8 (P12) a 7,1 (P1) e nos efluentes de 7,1 (P6) a 7,9 (P1), (APÊNDICE E).

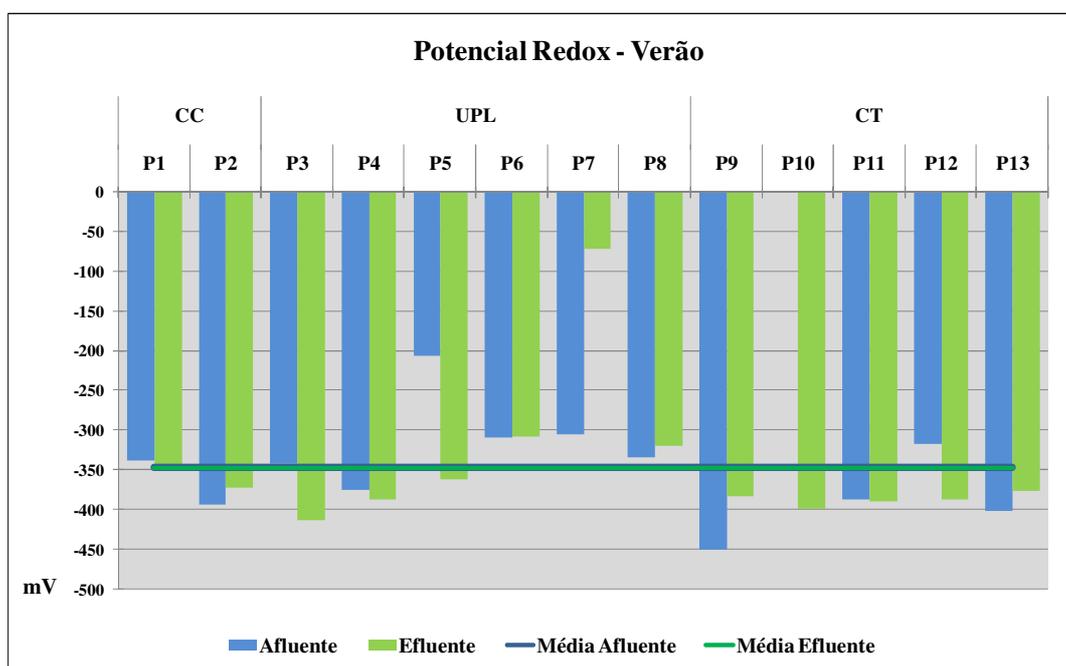


**Figura 21** – pH no afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono.

De modo geral, verifica-se os valores médios de pH obtidos para o afluente e efluente, nas duas épocas (exceto no afluente da P5, P9 e no efluente da P7 e P13) encontram-se compreendidos entre 6,0 e 8,0. Estes valores correspondem à faixa ampla de pH em que se consegue estabilidade na formação de metano, embora o ideal para o crescimento das bactérias produtoras de metano se situe numa faixa mais estreita, entre 6,6 e 7,6, com um ótimo de 7 (MAUNOIR, 1991; apud BELLI F<sup>o</sup>., 1995). Nesta faixa estreita de pH estão incluídos alguns dos valores registrados nos afluentes (P1, P2, P6, P8, P11, P13, P1', P6', P12') e efluentes (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P8, P6') dos biodigestores das propriedades em estudo.

### 5.2.3 Potencial Redox (Eh)

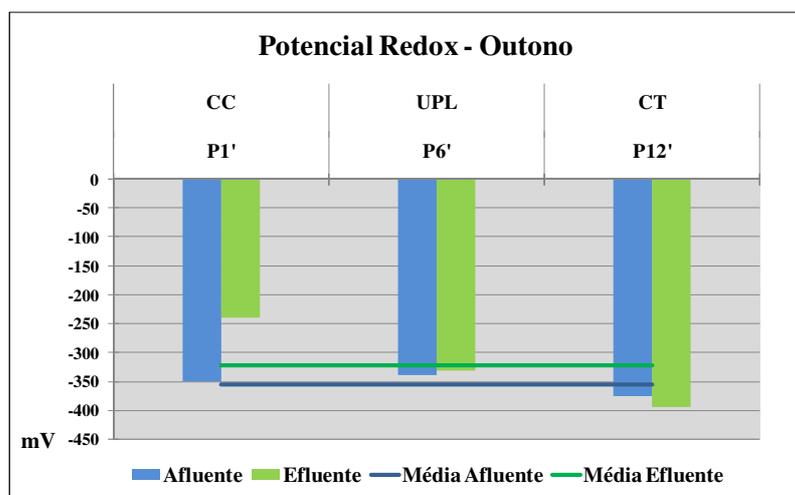
A Figura 32 apresenta o potencial redox (Eh) medido no afluente e no efluente de cada biodigestor estudado, durante a época de verão, (APÊNDICE C). Os valores máximos e mínimos para este parâmetro obtido pelo afluente nos diferentes biodigestores foram -451 (P9) e -207 mV (P5) respectivamente. O potencial redox do efluente variou entre -414, no P3, e -71 mV, na P7. O baixo valor obtido para o efluente da propriedade P7 ocorreu, provavelmente, devido a uma falha de amostragem, como a homogeneização insuficiente no ponto de coleta.



**Figura 22** – Potencial redox (mV) no afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão.

Em termos gerais, os valores médios de potencial redox para o afluente foi -347 mV e para o efluente -348 mV. Estes dados mostram que se encontram num meio redutor, ideal para atividade das bactérias anaeróbias.

No outono, o Eh obtido para os afluentes das 3 propriedades, apresentado na Figura 33, variou entre -376 (P12) e -340 mV (P6). O efluente apresentou valores de -339 (P1), -332 (P6) e -395 mV (P12), (APÊNDICE C), sendo os valores médios de potencial redox para o afluente de -356 mV e para o efluente de -322 mV.



**Figura 23** – Potencial redox (mV) no afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono.

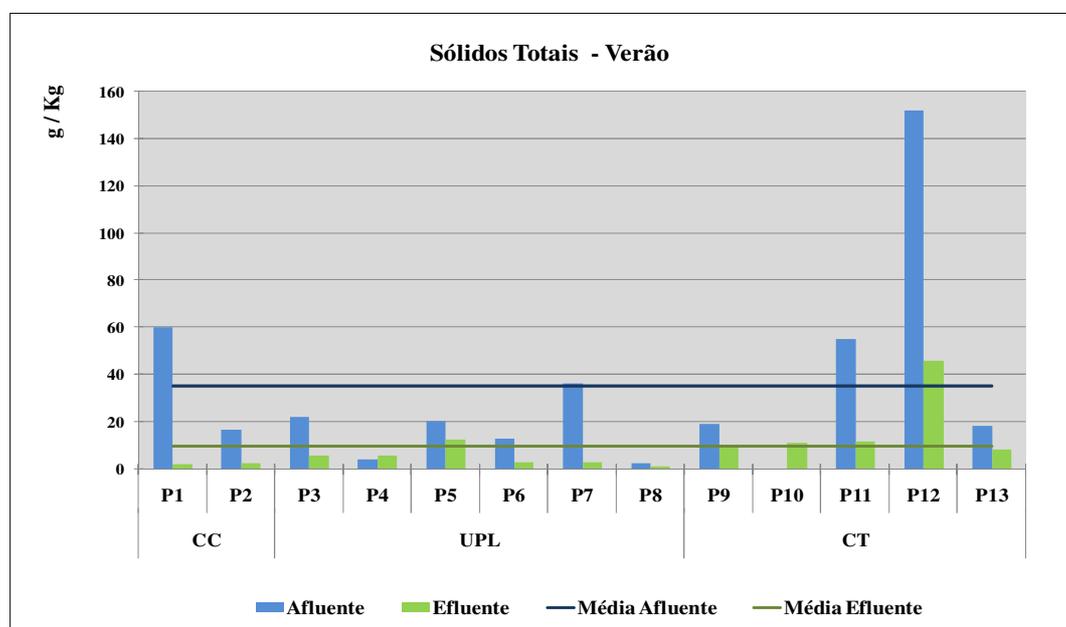
Pelos resultados observados, verifica-se que o ambiente, nos 13 biodigestores, medidos durante o verão, e nos 3 biodigestores estudados no outono, se encontra num meio redutor, fundamental para a digestão anaeróbia, pois as bactérias anaeróbias só se multiplicam na ausência de oxigênio, com taxa de oxi-redução compreendida entre -40 mV e -400 mV (BELLI Fº, 1995). Esta taxa de oxi-redução foi observada na maioria destes dados, exceto no afluente da P9 (-451 mV) e da P13 (-402 mV). Nestes dois casos, embora os valores ultrapassem a faixa, estão muito próximos dos valores referidos como os corretos para o crescimento das bactérias anaeróbias. Portanto, será possível afirmar, que a concentração de bactérias anaeróbias está adequada dentro dos biodigestores. No entanto, de acordo com Malina Jr. & Pohland (1992), Belli Filho (1995) e Metcalf & Eddy (2003) o valor ideal seria de -300 mV.

### 5.3 Avaliação de série de sólidos

#### 5.3.1 Sólidos Totais (ST)

Os resultados obtidos de sólidos totais (ST) para as propriedades em estudo, para o afluente e efluente de cada biodigestor, medidos durante a época do verão, estão apresentados na Figura 34, (APÊNDICE D). A concentração média de ST do dejetto bruto foi de  $35,1 \pm 11,8$  g/Kg. Este valor é relativamente próximo do valor médio de 36,11 g/Kg obtido por Henn (2005) em

dejetos brutos de suínos em ciclo completo, numa propriedade com cerca de 50 matrizes e com a implantação de bebedouros ecológicos.



**Figura 24** – Sólidos Totais (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão.

No entanto, algumas propriedades apresentaram valores muito baixos de sólidos totais como a P8 (2,4 g/Kg), a P4 (4,1 g/Kg) e a P10 (7,8 g/Kg), abaixo do valor mínimo obtido por Silva (1996), (12,7 g/Kg). O oposto ocorreu na P12 que apresentou a concentração máxima de ST, de 152,2 g/Kg, entre os afluentes dos 13 biodigestores estudados. As concentrações de ST estão relacionadas com o manejo dos dejetos na granja. Assim, é provável que o elevado valor registrado na P12 seja consequência do vazamento da fração líquida ocorrida na propriedade no dia anterior ao da coleta, dando lugar a uma concentração maior dos dejetos na fase sólida. No entanto, valores mais elevados do que o aqui verificado, foram observados por Monteiro (2005) em sua pesquisa, na propriedade P1, onde alcançou um valor máximo de ST de 191 g/Kg, embora a média tenha sido de 73 g/Kg. Os valores elevados de ST são, de acordo com Monteiro (2005) devido à existência de bebedouros ecológicos nas granjas, o que diminuiu a quantidade de água desperdiçada, reduzindo assim, a diluição dos dejetos.

De acordo com informações recolhidas na revisão bibliográfica e com o que gráfico da figura anterior destaca (Figura 34) observa-se alguma dificuldade na caracterização do dejetos bruto com grandes variações na concentração de sólidos totais entre os diversos autores. O tipo de granja, a quantidade de dejetos produzidos, modo de limpeza das granjas, o tipo de bebedouros, entre outros, são fatores que poderão influenciar a concentração de ST dos dejetos dos suínos.

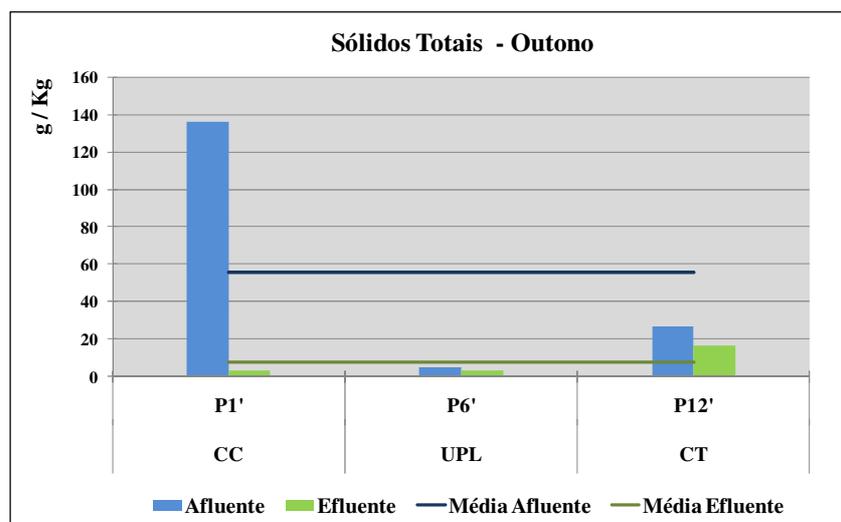
Konzen (1980) observou um valor de ST de 90 g/Kg em suínos em crescimento e terminação em sistema de piso ripado. Medri (1997) avaliando suínos em terminação encontrou valor de ST de 17,24 g/Kg, valor próximo aos obtidos nas propriedades P2, P3, P5, P6, P9 e P13.

Já Alves (2007), verificou um valor de ST de 8,5 g/Kg, para dejetos de suínos influenciados pela diluição, devido ao cotidiano da propriedade de ciclo completo com 200 matrizes, e pela existência de uma caixa de acumulação por onde passou o dejetos e onde foi removido parte do sedimentado.

Magbanua Jr. et al. (2001), em seus estudos, testaram a digestão anaeróbia com dejetos de suínos com uma concentração de 9,75 g ST/Kg. No caso de Chae et al. (2004) os dejetos brutos possuíam um valor de ST em torno de 23,88 g/Kg, valor semelhante aos obtidos nas propriedades P3 e P5.

Em relação à concentração média de ST dos efluentes, entre as propriedades medidas durante a época do verão, obteve-se uma concentração de  $9,5 \pm 3,2$  g/Kg. O valor mínimo e máximo, deste parâmetro, nos efluentes, foi de 1,1 g/Kg, na P8, e 46,0 g/Kg, na P12, respectivamente. Este último valor parece ser muito elevado para a saída do biodigestor, embora se verificou uma eficiência de redução de ST em torno de 69,8%, conforme a Tabela 24.

Os valores obtidos de ST para o afluente e efluente dos biodigestores em estudo, medidos durante a época do outono, são apresentados na Figura 35, (APÊNDICE D). A concentração média de ST do dejetos bruto foi de  $55,9 \pm 40,5$  g/Kg, variando entre 5 (P6') e 136 g/Kg (P1'). Também nesta época do ano a amplitude de resultados nas várias propriedades para esta determinação é muito elevada demonstrando mais uma vez a enorme diferença entre os valores referidos pelos diversos investigadores.



**Figura 25** – Sólidos Totais (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono.

A concentração média de ST dos efluentes, entre as três propriedades, foi de  $7,8 \pm 4,3$  g/Kg, variando entre 3 g/Kg, na propriedade P6', a 16 g/Kg, valor máximo obtido na P12'.

Entre as duas épocas observou-se uma grande diferença da concentração dos ST obtidos para os afluentes dos biodigestores das propriedades P1 e P12. Uma das razões que explica essa diferença é o fato de que este parâmetro ter sido analisado de forma pontual e não contínua.

Em relação às eficiências de ST dos biodigestores das 13 propriedades (Tabela 24), verificou-se que o biodigestor da propriedade P4 não obteve valor positivo. Este fato pode ser justificado pelo fato da propriedade P4 estar em limpeza no dia da medição, gerando uma maior diluição dos dejetos brutos, afluente do biodigestor.

**Tabela 24.** Eficiência de remoção dos sólidos totais (%) nos biodigestores.

Propriedade	CC		UPL						CT					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	
<b>Verão</b>	%	96,5	85,1	73,4	-	38,9	76,1	91,5	54,8	49,6	-	79,0	69,8	54,9
<b>Outono</b>	%	97,3	-	-	-	-	30,5	-	-	-	-	-	38,8	-

A eficiência de ST nos biodigestores das propriedades analisadas durante o verão variou entre 38,9% (P5) e 96,5% (P1), com uma média de aproximadamente 70%. No caso do outono, a eficiência de ST foi de 97,3% na P1, próximo ao valor obtido anteriormente (96,5%), e de 30,5%

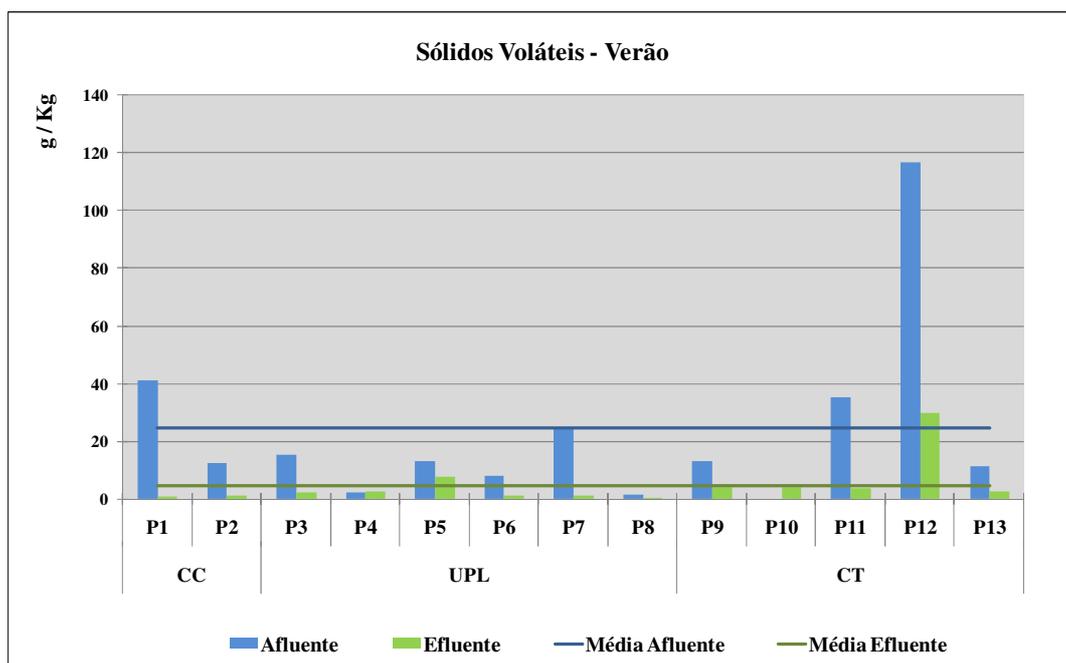
e 38,8% para a P6 e P12, respectivamente. Estas duas eficiências observadas em propriedades em Concórdia, apresentaram-se inferiores às obtidas no verão, possivelmente devido à influência da menor temperatura ambiente no outono (Tabela 23). Nas explorações P6 e P12 a temperatura da manhã diminuiu cerca de 6 °C entre o verão e o outono, enquanto que na P1, em Braço do Norte, a diferença de temperaturas registradas entre estas duas épocas e no período da manhã foi apenas de 1,1 °C .

No presente estudo, de forma geral, as eficiências de remoção de ST foram superiores àquelas obtidas por Fischer et al. (1979) de 55%, mas próximas aos valores obtidos por Monteiro (2005) e Schoenhels et al. (2007) de 73 e 72,5%, respectivamente. No entanto, somente as propriedades P1 e P2 se aproximaram dos valores alcançados por Henn (2005) (88%) e por Santana & Oliveira (2005) (85,6 – 87,8%).

### 5.3.2 Sólidos Voláteis (SV)

#### 5.3.2.1 Avaliação dos biodigestores

No caso dos sólidos voláteis (SV), os resultados obtidos para o afluente e efluente de cada biodigestor, das propriedades em estudo, medidos durante a época do verão, são apresentados na Figura 36, (APÊNDICE D). O valor médio de SV, para o afluente, foi de  $24,5 \pm 9,1$  g/Kg, valor relativamente alto em comparação ao valor médio obtido por Silva (1996), (16,4 g/Kg). Em comparação com outros trabalhos, como o realizado por Henn (2005), que caracterizou os dejetos brutos na mesma propriedade P1, obteve uma concentração de 25,23 g/Kg, valor próximo à média estimada nesta pesquisa.



**Figura 26** – Sólidos Voláteis (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão.

O afluente dos 13 biodigestores, tal como nos ST, apresentou concentração mínima de SV na propriedade P8 com 1,4 g/Kg. Este valor e as concentrações obtidas nas propriedades P6 (7,9 g/Kg), P4 (2,3 g/Kg) e na P10 (3,2 g/Kg) apresentam-se inferiores ao valor mínimo de SV de 8,43 g/Kg alcançado por Silva (1996), e de 5,29 g/Kg registrado por Alves (2007). A concentração máxima de SV, nos afluentes, ocorreu na P12, com 166,7 g/Kg. Como se referiu anteriormente, este valor pode ter ocorrido devido ao manejo inadequado dos dejetos na granja, originando essa concentração alta no dia da coleta do dejetos bruto.

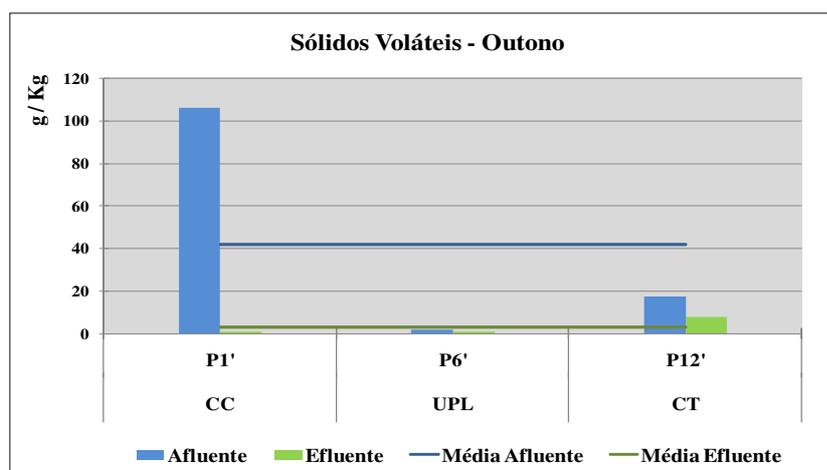
No entanto, tal como acontece com os ST, verifica-se que existe uma diferença de valores de SV entre as propriedades em estudo e entre diferentes autores, referidos na revisão bibliográfica, que caracterizaram dejetos de suínos. Konzen (1980) encontrou um valor de SV de 75 g/Kg, valor que não foi alcançado nas 13 propriedades. Segundo Medri (1997) os dejetos brutos contêm uma concentração de SV de 10,27 g/Kg, valor próximo aos obtidos nas propriedades P2, P3, P5, P6, P9 e P13.

Já Magbanua Jr. et al. (2001) obtiveram em torno de 9,4 g de SV/Kg para dejetos brutos de suínos, semelhante ao alcançado por Medri (1997) e por algumas das propriedades em estudo

(P2, P6 e P13). Conforme Chae et al. (2004), os dejetos brutos possuíam um valor de SV de 16,31 g/Kg.

Em termos dos efluentes dos biodigestores, a concentração média de SV, foi de  $4,7 \pm 2,2$  g/Kg e a concentração mínima e máxima foram de 0,4 g/Kg (P8), e 29,9 g/Kg (P12), respectivamente. Este último valor foi relativamente elevado para o efluente do biodigestor, e também em comparação com os outros efluentes analisados, no entanto, neste biodigestor, P12, houve uma redução de SV de 74,4%, (Tabela 25).

Os valores obtidos de SV no afluente e efluente dos 3 biodigestores medidos durante a época do outono são apresentados na Figura 37. O valor médio registrado para o afluente, foi de  $41,8 \text{ g/Kg} \pm 32,4$ , valor relativamente alto em comparação ao valor médio obtido na época verão ( $24,5 \text{ g/Kg}$ ). Essa média deve-se principalmente ao valor elevado alcançado na propriedade P1', de 106,03 g SV/Kg, que ocorreu devido à existência de bebedouros ecológicos. O valor mínimo foi obtido na propriedade P6' com 2,0 g/Kg.



**Figura 27** – Sólidos Voláteis (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono.

Em relação à concentração de SV nos efluentes dos biodigestores medidos no outono a média foi de  $3,2 \pm 2,2$  g/Kg, variando de 0,97 (P6') a 7,6 g/Kg (P12').

A concentração máxima de SV alcançada nos afluentes das propriedades P12, no verão ( $166,66 \text{ g/Kg}$ ), e da P1', no outono, ( $106,03 \text{ g/Kg}$ ), são as mais elevadas das propriedades em estudo, e superiores ao valor máximo obtido por Silva (1996) ( $39,024 \text{ g/Kg}$ ). Porém, Monteiro

(2005) em seu trabalho, na propriedade P1, encontrou um valor máximo de SV de 166 g/Kg, embora o valor médio estimado em sua pesquisa foi da ordem de 53 g de SV/Kg.

A propriedade P1 e P12 apresentaram valores de SV, nos afluentes, diferentes entre as duas épocas. No caso da P1, a concentração de SV foi muito superior no outono. Em ambos os casos pode ter ocorrido um erro de amostragem, no momento da homogeneização da amostra.

Analisando os resultados obtidos na Tabela 25, relativos à eficiência de degradação dos sólidos, constata-se que a maioria dos biodigestores, apresentou uma boa eficiência, no verão, entre 68,7% (P9) e 98,2% (P1), exceto o biodigestor da propriedade P5 (42,1%) e da P4, que não apresentou valores positivos.

**Tabela 25.** Eficiência de remoção de sólidos voláteis (%) nos biodigestores.

Propriedade	CC		UPL						CT					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	
Verão	%	98,2	92,4	85,0	-	42,1	84,8	95,6	74,4	68,7	-	89,4	74,4	78,7
Outono	%	99,1	-	-	-	-	52,2	-	-	-	-	-	55,8	-

No caso do outono, a eficiência de SV foi de 99,1% na P1, próximo ao valor obtido anteriormente (98,2%), de 52,2% para a P6, e de 55,8% para a P12. Estas duas eficiências apresentaram-se menores em relação às obtidas anteriormente no verão. Isso ocorreu, como explicado para os ST, devido à influência da temperatura ambiente sobre a biomassa dos biodigestores.

As altas eficiências de remoção de SV registradas neste trabalho ocorreram devido ao elevado TRH de 40 dias nos biodigestores.

De modo geral, observou-se que neste trabalho as eficiências de remoção de SV foram próximas àquelas alcançadas por Henn (2005) com 92%, por Monteiro (2005) com 87% e por Santana & Oliveira (2005) variando entre 85,6 a 88,2%.

### 5.3.2.2 Carga orgânica volumétrica em termos de sólidos voláteis

A carga orgânica volumétrica estimada de acordo com a quantidade de SV no afluente e com o volume teórico de dejetos calculados anteriormente para cada um dos biodigestores em estudo é representada na seguinte Tabela 26. As propriedades P1' e P12 foram excluídas desta avaliação por apresentarem valores de SV relativamente elevados em comparação às demais propriedades. Como se referiu anteriormente, esses valores ocorreram, provavelmente, devido a

um manejo inadequado dos dejetos na granja ou a uma falha de amostragem, no momento da coleta.

**Tabela 26.** Carga Orgânica Volumétrica nos biodigestores.

		Propriedade	Carga Orgânica Volumétrica (Kg/m <sup>3</sup> .dia)
Verão	CC	P1	0,49
		P2	0,03
	UPL	P3	0,10
		P4	0,03
		P5	0,12
		P6	0,08
		P7	0,20
		P8	0,02
		CT	P9
	P10		-
	P11		0,63
	P12		-
	Outono	CC	P13
P1'			-
UPL		P6'	0,02
CT		P12'	0,58
		<b>Média</b>	0,21

A COV média foi de 0,21 Kg/m<sup>3</sup>.dia, variando de 0,02 (P8) a 0,49 Kg/m<sup>3</sup>.dia (P1). O valor mínimo obtido na P8 ocorreu, principalmente, devido à baixa quantidade de SV (1,365 g/Kg) e ao grande volume do biodigestor (6.500 m<sup>3</sup>).

Segundo Malina Jr. & Pohland (1992) as lagoas anaeróbias cobertas devem ser operadas com COV menor que 2 Kg SV/m<sup>3</sup>.dia, e Medri (1997) recomenda, em se tratando de dejetos de suínos, que a COV seja de 0,14 Kg SV/m<sup>3</sup>.dia. Observa-se que os dados obtidos neste trabalho se encontram inferiores ao considerado por Malina Jr. & Pohland. No entanto, somente as propriedades P3, P5 e P13 estão próximos ao valor referido por Medri.

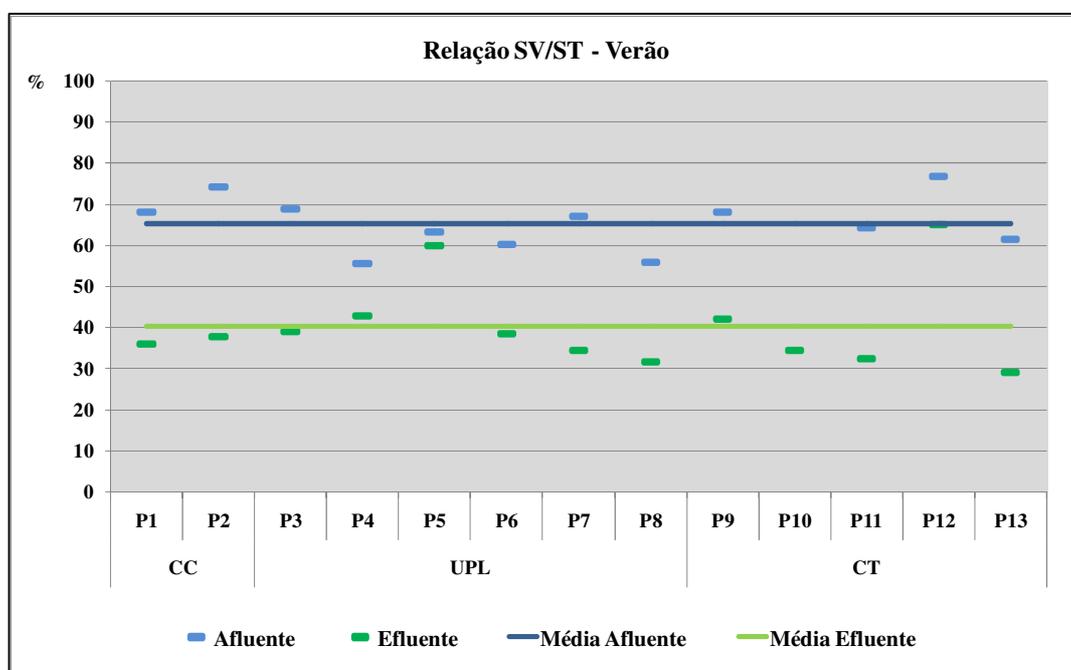
Já Alves (2007) obteve uma COV média na lagoa anaeróbia coberta de 0,07 Kg SV/m<sup>3</sup>.dia, valor próximo aos obtidos nas propriedades P3 e P6.

### 5.3.3 Relação SV/ ST

Segundo Lucas Junior (1994) e La Farge (1995), os sólidos voláteis (SV) representam entre 70 a 75% dos ST dos dejetos de suínos, e estão diretamente relacionados com a produção de biogás. Isso significa que quanto maior for a concentração de SV na alimentação diária do biodigestor, maior será a capacidade do biodigestor de produzir biogás (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006). Essa quantidade de biogás também será tanto maior quanto menor for a relação SV/ST do efluente do biodigestor.

A relação SV/ST indica a degradabilidade de um resíduo orgânico, quanto maior forem os valores dessa relação, maior a capacidade de fermentação do resíduo. Ou seja, se a relação SV/ST do afluente for maior que 60% e a relação SV/ST do efluente for menor que 40%, ocorre mineralização e conseqüentemente há conversão dos SV para biogás. No entanto, parte fica retida no interior do digestor.

As Figuras 38 e 39 apresentam a relação SV/ST para afluente e efluente das propriedades estudadas durante o período do verão e do outono, respectivamente. De modo geral, a porcentagem média de SV/ST no afluente foi aproximadamente 65%, enquanto que o valor médio no efluente foi 40%, ou seja, os biodigestores estão em condições favoráveis à produção de biogás através da conversão dos SV.

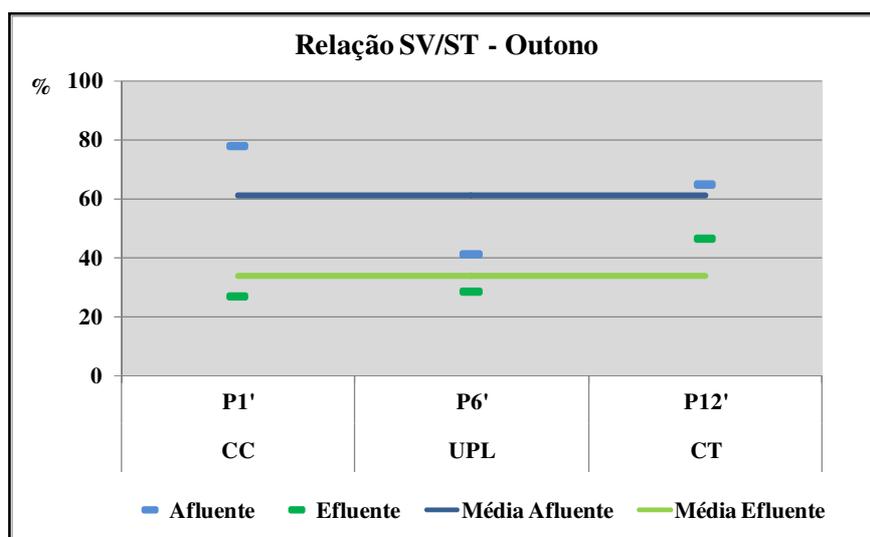


**Figura 28** – Relação SV/ST obtida para os biodigestores medidos na época do verão.

Ao analisar a Figura 38 verifica-se que apenas a P2 (74,3%) está dentro dos valores referidos pelos autores (LUCAS JUNIOR, 1994; LA FARGE, 1995). No entanto, os valores obtidos pelas propriedades P1, P3, P7, P9 e P12, estão próximos dos números mencionados anteriormente. Teoricamente os biodigestores destas cinco propriedades proporcionam uma maior produção de biogás em relação às outras propriedades.

Nos biodigestores P1, P2, P3, P7, P9, P11 e P13, observaram-se uma alta relação entre SV/ST para os respectivos afluentes, superior a 60%, e uma baixa relação para os efluentes, inferior a 42%, indicando que ocorre mineralização e conseqüentemente os biodigestores destas propriedades produziram uma maior quantidade de biogás.

Em relação aos biodigestores medidos durante a época do outono (Figura 39), verificou-se que apenas a propriedade P1' apresentou um valor elevado de SV/ST dos afluentes, em torno de 78%, e uma relação SV/ST dos efluentes baixa, com valor de 27%.



**Figura 29** – Relação SV/ST obtida para os biodigestores medidos na época do outono.

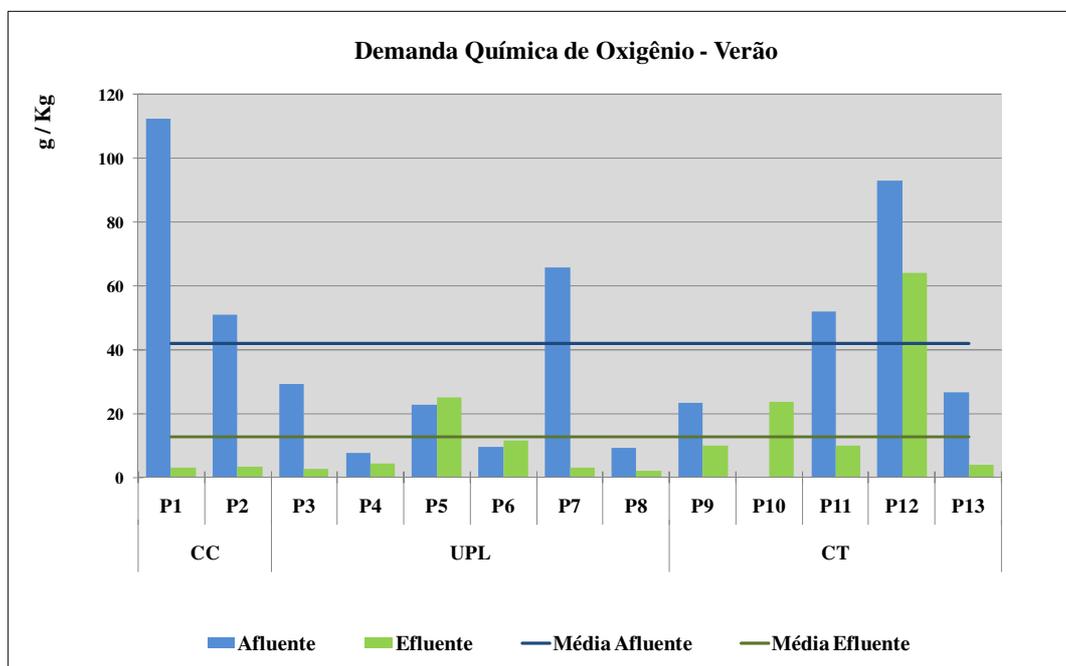
Em termos médios, a relação SV/ST do afluente e do efluente no outono foi de 61% e 34%, respectivamente. Estes valores indicam que, de um modo geral, nestes biodigestores na época do outono ocorreu a mineralização e a conversão de SV para biogás.

#### 5.4 Demanda Química de Oxigênio total (DQOt)

Os resultados obtidos da demanda química de oxigênio total (DQOt) para o afluente e efluente dos biodigestores medidos durante a época do verão são apresentados na Figura 40, (APÊNDICE D). A concentração média de DQO para o dejetto bruto, entre todos os casos, foi em torno de  $41,8 \pm 9,8$  g/Kg. Este valor encontra-se relativamente próximo ao obtido por Henn (2005), com 43,4 g/Kg, que trabalhou na propriedade P1.

A concentração mínima de DQO obtida para o afluente ocorreu na P4 com 7,6 g/Kg. Este valor, assim como os observados nas propriedades P6 (9,5 g/Kg), P8 (9,1 g/Kg) e na P10 (10,8 g/Kg), estão abaixo do valor mínimo de DQO de 11,53 g/Kg alcançado por Silva (1996), e de 12,58 g/Kg observado por Alves (2007).

As concentrações máximas de DQO afluente foram observadas para as propriedades P1 (112,5 g/Kg) e para a P12, (92,9 g/Kg). Estes valores são superiores aos valores mencionados na revisão bibliográfica. No entanto, no trabalho de Monteiro (2005), realizado na propriedade P1, a concentração máxima registrada foi de 171 g/Kg, valor este superior aos avaliados nesta pesquisa, embora o valor médio obtido por esse autor foi da ordem de 85 g/Kg.

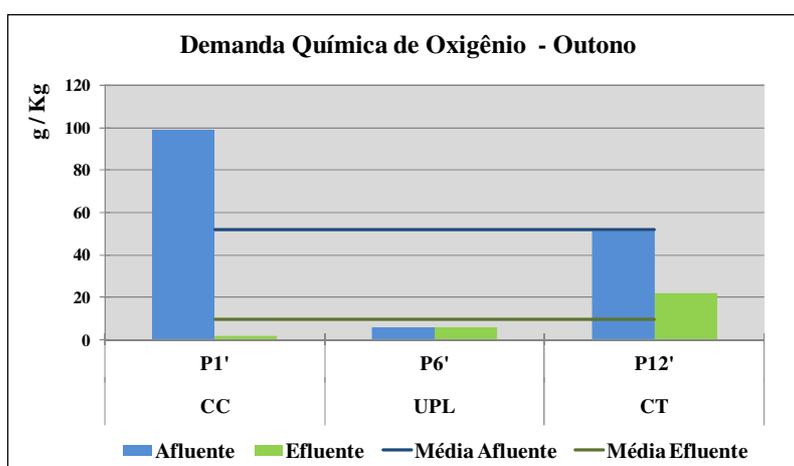


**Figura 30** – Demanda química de oxigênio (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do verão.

Através dos trabalhos de caracterização química dos dejetos de suínos observados na literatura, nota-se que existe uma diferença dos valores de DQO entre os autores. Segundo Konzen (1980), dejetos brutos de suínos possuem um valor de DQO em torno de 98,64 g/Kg, valor próximo ao obtido na propriedade P12. Medri (1997) encontrou um valor em torno de 21,65 g/Kg, semelhante aos obtidos nas propriedades P3, P5, P9 e P13. Já Chae et al. (2004) obtiveram um valor de DQO de 42,35 g/Kg. No entanto, Pagilla et al. (2000) caracterizando os dejetos de suínos avaliaram uma quantidade de DQO de 14,33 g/Kg.

Em relação ao efluente, a concentração média de DQO foi de  $12,8 \pm 4,8$  g/Kg e os valores mínimos de DQO foram registrados nas propriedades P8 com 1,9 g/Kg, P3 com 2,5 g/Kg e na P7, com 3,0 g/Kg. A concentração máxima foi obtida para o efluente da propriedade P12, com 64,1 g/Kg.

Os valores obtidos de DQO para o afluente e efluente dos biodigestores em estudo, medidos na época do outono, são apresentados na Figura 41, (APÊNDICE D). A concentração média de DQO do dejetos bruto foi de 51,7 g/Kg, variando entre 5,3 (P6') e 99,0 g/Kg (P1').



**Figura 31** – Demanda química de oxigênio (g/Kg) do afluente e efluente dos biodigestores medidos na época do outono.

No caso do efluente, a média de DQO obtida, entre os biodigestores estudados durante a época de outono, foi de  $9,6 \pm 6,1$  g/Kg. A concentração mínima ocorreu na P1' com 1,7 g/Kg, e a máxima na P12' com 21,6 g/Kg.

Comparando os resultados adquiridos nas duas épocas, verifica-se que as 3 propriedades apresentaram uma concentração maior de DQO no verão, o que se justifica pela influência da temperatura ambiente, relativamente menor no outono (Tabela 23).

Analisando a Tabela 27 das eficiências de remoção de DQO, pode-se afirmar que a degradação dos dejetos, na maioria dos biodigestores medidos durante o verão foi bastante satisfatória, com uma média de 75%, variando entre 31% (P12) e 97,3% (P1).

**Tabela 27.** Eficiência de remoção da demanda química de oxigênio (%) nos biodigestores.

Propriedade	CC		UPL						CT					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	
Verão	%	97,3	93,3	91,5	42,4	-	-	95,5	79,6	57,0	-	81,1	31,0	85,6
Outono	%	98,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57,6	-

No caso dos biodigestores das propriedades P5 e P6, tal não aconteceu, a concentração de DQO foi maior no efluente, o que significa que, nestes casos, não houve uma remoção da matéria orgânica mas uma acumulação. Estes acontecimentos devem-se, provavelmente, a uma falha de amostragem, como a homogeneização insuficiente no ponto de coleta.

Em relação aos biodigestores medidos durante o outono, a eficiência de DQO foi de 98,2% na P1, valor próximo ao obtido anteriormente (97,3%), e de 57,6% para a P12. Esta última eficiência apresenta-se maior à obtida anteriormente no verão de 31%.

Nesta pesquisa, a maioria das eficiências de remoção de DQO foram superiores àquelas obtidas por Alves (2007), variando entre 51 e 71%, somente a propriedade P9 se encontra dentro dessa faixa. Em comparação com outros trabalhos, como o de Henn (2005) e o de Monteiro (2005), ambos com uma eficiência de remoção de 92%, próximo aos valores obtidos nas propriedades P2, P3 e P7.

As altas eficiências de remoção de DQO observadas neste trabalho ocorreram devido ao elevado TRH de 40 dias nos biodigestores.

### 5.5 Avaliação Preliminar da Composição do biogás

Uma avaliação preliminar da composição do biogás foi realizada para testar e aferir a metodologia que foi adotada para as medições a campo do biogás.

O teste que foi realizado no mês de Novembro de 2007, em Braço do Norte, na propriedade P1, após a calibração do aparelho, e utilizando o adaptador, obteve como resultados médios 32% de CO<sub>2</sub>, 67% de CH<sub>4</sub> e 0,4% de O<sub>2</sub>. Estes valores mostram que o biogás nesta propriedade apresenta uma boa composição em termos de quantidade de CH<sub>4</sub> e são consistentes com os valores da bibliografia em que a porcentagem de CO<sub>2</sub> varia entre 25 e 40%, a de CH<sub>4</sub> entre 50 e 75% e o O<sub>2</sub> menos de 1% (PIRES, 2000; apud PINTO, 2006).

Em janeiro de 2008 foi realizado outro teste onde foram analisadas as duas propriedades localizadas em Braço do Norte, P1 e P2. Devido a certas limitações que ocorreram em campo, na propriedade P2, foi realizada apenas uma medição, no período da tarde. Na Tabela 28 são apresentados os resultados médios obtidos nestas medições.

**Tabela 28.** Avaliação preliminar da composição média do biogás (%), nas propriedades P1 e P2.

Propriedade	Período	Composição do biogás		
		Média ± Desvio Padrão (%)		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>
P1	Manhã	33,2 ± 0,34	66,3 ± 0,52	0,5 ± 0,56
	Tarde	32,8 ± 0,81	65,7 ± 1,31	1,5 ± 1,93
P2	Manhã	-	-	-
	Tarde	35,9 ± 0,30	63,6 ± 0,44	0,5 ± 0,31

Neste teste, na propriedade P1, verificou-se uma diferença na composição do biogás entre os dois períodos e em relação ao teste anterior. Contudo, o biogás apresentou uma boa composição em termos de CH<sub>4</sub>.

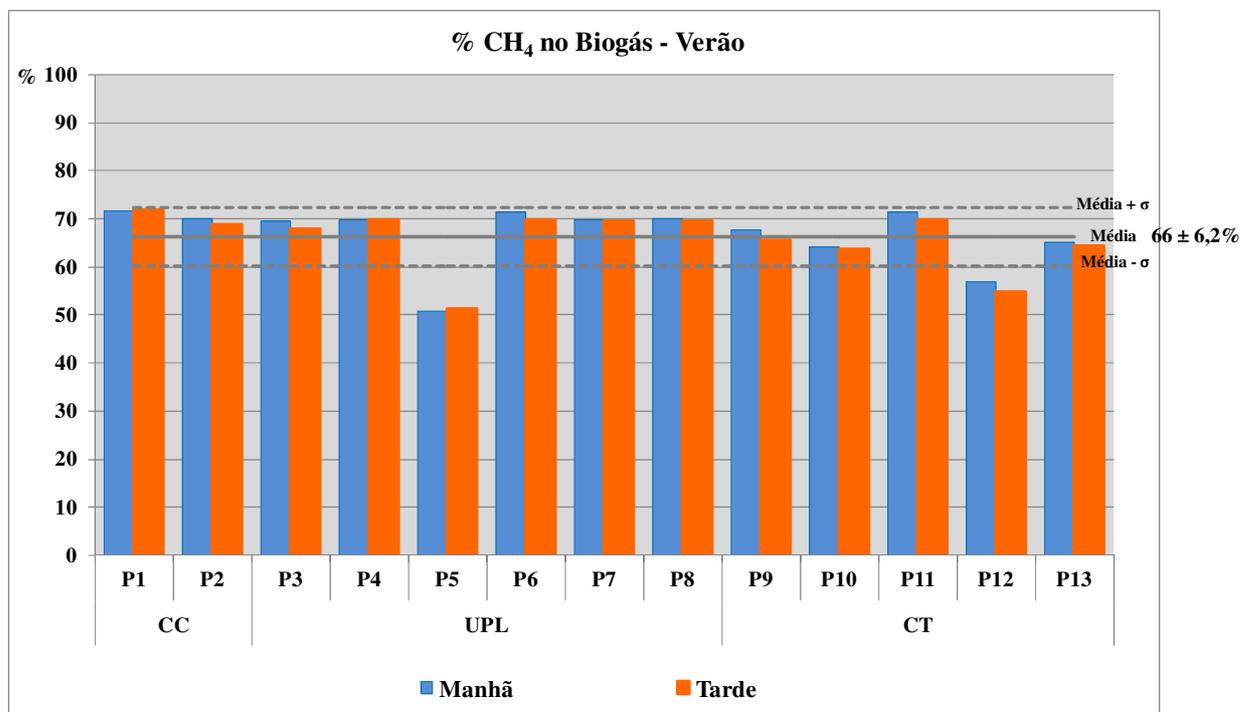
Na propriedade P2 também se registrou uma boa concentração de CH<sub>4</sub> embora inferior à da P1.

## 5.6 Avaliação da composição do biogás nos biodigestores

### 5.6.1 Metano (CH<sub>4</sub>)

Os resultados das concentrações médias de CH<sub>4</sub> no biogás, nos biodigestores das treze propriedades estudadas, tanto no período da manhã como no da tarde, durante a época de verão, estão apresentados na Figura 42. O gráfico foi construído através dos dados tratados

estatisticamente, por meio da média e do desvio padrão da concentração de CH<sub>4</sub> nas treze propriedades (APÊNDICE E).



**Figura 32** - Concentrações de CH<sub>4</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, na época de verão.

O valor médio da concentração de CH<sub>4</sub>, considerando todas as propriedades medidas na época do verão, foi de  $66 \pm 6,2\%$ , variando entre 50 e 72%. Valores esperados para a digestão anaeróbia de dejetos de suínos em biodigestores, segundo Pires (2000, apud PINTO, 2006).

É importante destacar as propriedades P1, P6 e P11, com as concentrações mais elevadas, apresentando valores acima de 70%. Estas propriedades correspondem a sistemas de produção de suínos diferentes, com quantidades de dejetos também distintos, variando entre 1,1 m<sup>3</sup>/dia na P1, 3,9 m<sup>3</sup>/dia na P6 e 4,2 m<sup>3</sup>/dia na P11. No entanto, nestas três propriedades verificou-se uma boa eficiência de remoção de SV, acima de 85%. Na propriedade P1 e P11 também foi possível constatar uma elevada eficiência de remoção de DQO em torno de 97 e 81%, respectivamente.

A Tabela 29 mostra os valores médios de CH<sub>4</sub> estimados entre as propriedades com o mesmo sistema de criação de suínos. No sistema de criação CC observou-se a maior

concentração de CH<sub>4</sub> com  $70,8 \pm 1,28\%$  no período da manhã e  $70,4 \pm 2,13\%$  no período da tarde. O menor valor de CH<sub>4</sub> encontrou-se no sistema de CT, com  $65 \pm 5,41\%$  e  $63,7 \pm 5,48\%$ , no período da manhã e da tarde, respectivamente.

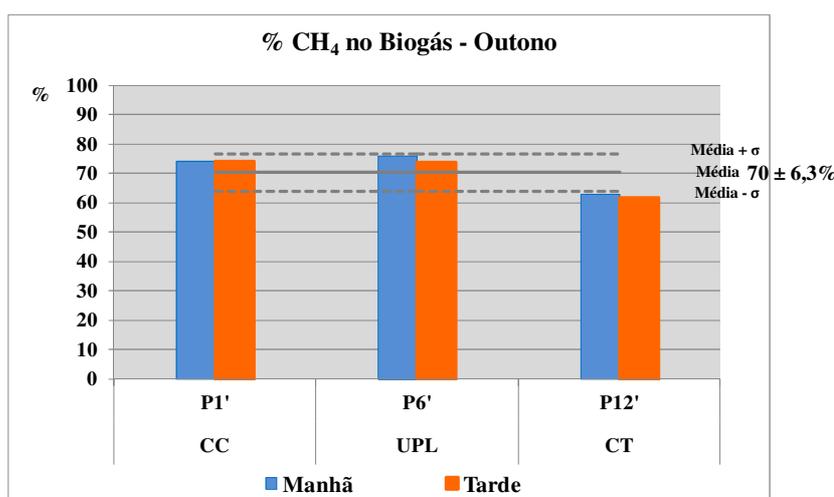
**Tabela 29.** Concentração de CH<sub>4</sub> (%) entre as propriedades com o mesmo sistema de criação.

Sistema de Criação	Concentração de CH <sub>4</sub> (%)	
	Manhã	Tarde
CC	$70,8 \pm 1,28$	$70,4 \pm 2,13$
UPL	$66,9 \pm 7,89$	$66,3 \pm 7,43$
CT	$65 \pm 5,41$	$63,7 \pm 5,48$

Comparando as propriedades de UPL verifica-se que a maioria tem uma concentração superior às médias de  $66,9 \pm 7,89\%$  (manhã) e de  $66,3 \pm 7,43\%$  (tarde), com exceção da P5. Esta última apresenta a concentração mais baixa de metano, em torno de  $51\% \pm 0,5\%$ . Este valor se deve, possivelmente, à baixa remoção de SV de  $42,1\%$  e também ao alto valor de potencial redox observado no afluyente deste biodigestor em torno de  $-207$  mV.

Algumas das unidades de crescimento e terminação apresentam valores de concentração de CH<sub>4</sub> abaixo das médias ( $65 \pm 5,41\%$ , manhã e  $63,7 \pm 5,48\%$ , tarde), com exceção da P9 e da P11. Na realidade a P10, a P12 e a P13 apresentam concentrações de  $64 \pm 5,6\%$ ,  $55,8 \pm 1,4\%$  e  $64,8 \pm 2,88\%$ , respectivamente. No caso da P10, o biodigestor não era alimentado há 15 dias, o que poderá ter influenciado essa concentração de CH<sub>4</sub>. Já na propriedade P12, verificou-se uma baixa remoção de DQO em torno de  $31\%$ . A P13 apresentou valores elevados de eficiência de remoção de SV ( $78,7\%$ ) e de DQO ( $85,6\%$ ). Talvez um manejo dos dejetos menos exigente poderá ser responsável por estas diferenças.

Os valores pontuais de CH<sub>4</sub> observados na época de outono nas propriedades P1, P6 e P12 estão representados na Figura 43. O valor médio da concentração de CH<sub>4</sub> obtido, considerando as 3 propriedades medidas nesta época, foi de  $70 \pm 6,3\%$  variando entre  $62,2 \pm 0,76\%$  (P12') e  $74,8 \pm 1,26\%$  (P6').



**Figura 33** - Concentrações de CH<sub>4</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, na época de outono.

Neste trabalho, embora tenha sido uma análise pontual, verificou-se que a concentração de CH<sub>4</sub> foi maior no outono, nas três propriedades avaliadas nessa época, P1, P6 e P12. Em relação à propriedade P1, verificou-se que tanto a remoção de SV como de DQO, foi um pouco maior na amostra coletada durante a época de outono. Provavelmente, essas eficiências terão influenciado a maior quantidade de CH<sub>4</sub> obtida nesta época.

No caso da P12 houve uma melhoria da eficiência de remoção de DQO no outono com 57,6%, em relação à obtida no verão de 31%.

Na maioria das propriedades verificou-se que o biogás apresentou uma boa qualidade em termos de CH<sub>4</sub>, superior a 65%. Semelhante ao observado por diversos autores como Sanchez et al. (2005) que obteve cerca de 60% de CH<sub>4</sub> no tratamento de dejetos de suínos com um reator UASB em escala laboratorial. Mesmo algumas das propriedades P9, P10, P13 e P12' apresentaram teores médios de CH<sub>4</sub> próximos aos obtidos nos EUA, no Colorado, em unidades com cerca de 6.300 matrizes, com uma concentração de CH<sub>4</sub> de 66,3% (SRI/USEPA, 2002).

No entanto, nenhuma das propriedades em estudo, com exceção da P6', alcançou os valores superiores a 75% obtidos por Santana & Oliveira (2005), com dejetos de suínos na fase de terminação com um reator UASB.

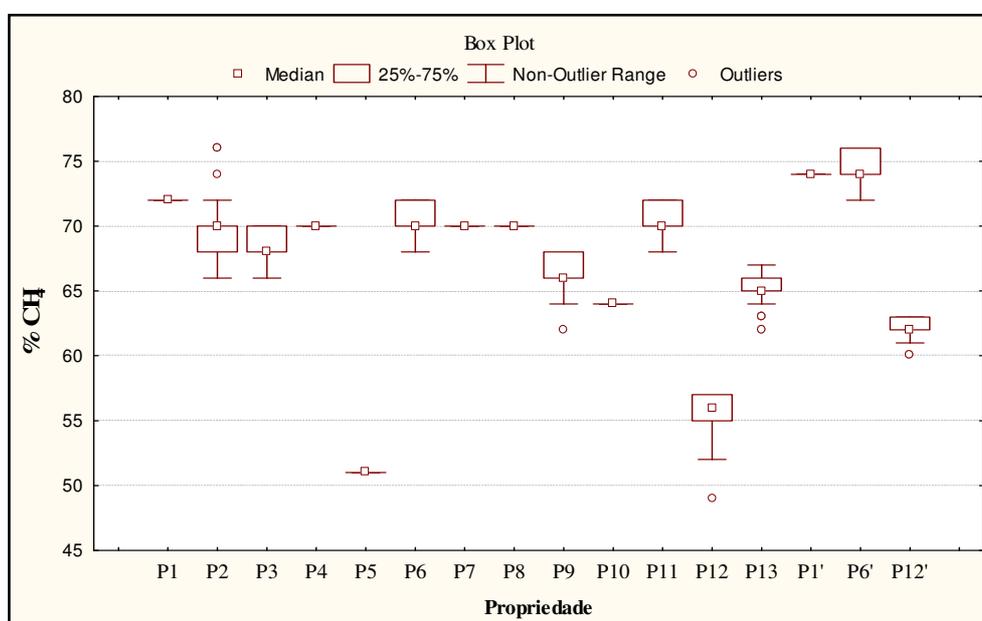
Em comparação com o trabalho de Pinto (2006) em que o percentual de CH<sub>4</sub> nos ensaios com 100%, 50% e 40% de dejetos suínos variaram entre 83 e 85% de CH<sub>4</sub>, também nenhuma das 13 propriedades atingiu tais valores de CH<sub>4</sub>.

As concentrações de  $\text{CH}_4$  nas propriedades P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8, P11, P1' e P6', aproximaram-se dos valores alcançados por Fernandes & Oliveira (2006) que avaliaram o efeito das águas residuais de suinocultura no desempenho de processo anaeróbio em dois estágios obtendo teores médios de  $\text{CH}_4$  no biogás acima de 70%.

Hansen et al. (1997), em seus estudos, testaram a digestão anaeróbia com dejetos de suínos a temperaturas diferentes: 37°, 45°, 55° e 60°C; e encontraram concentrações de  $\text{CH}_4$  de 71, 69, 51 e 40%, respectivamente. Já Chae et al. (2004) obtiveram valores em torno de 44, 55 e 60% de  $\text{CH}_4$  para temperaturas de 25, 30 e 35°C.

A unidade P1 tinha já sido sujeita a um estudo anterior (Monteiro, 2005) no qual a concentração determinada de  $\text{CH}_4$  foi de 54,4%, valor este inferior ao obtido no presente trabalho (72,9% média das duas épocas). É possível que o valor obtido aqui corresponda a uma estabilização do biodigestor, pois ele foi reativado em 2006.

Na Figura 44 apresenta-se a distribuição dos valores recolhidos em cada uma das propriedades em estudo. Esta análise exploratória, onde os dados ( $n=232$ ) são apresentados através de diagramas de caixa, que mostram os valores medianos, os quartis (25-75%) e os *outliers*, permitem visualizar a variação de dados registrados durante o período de uma hora de medição.



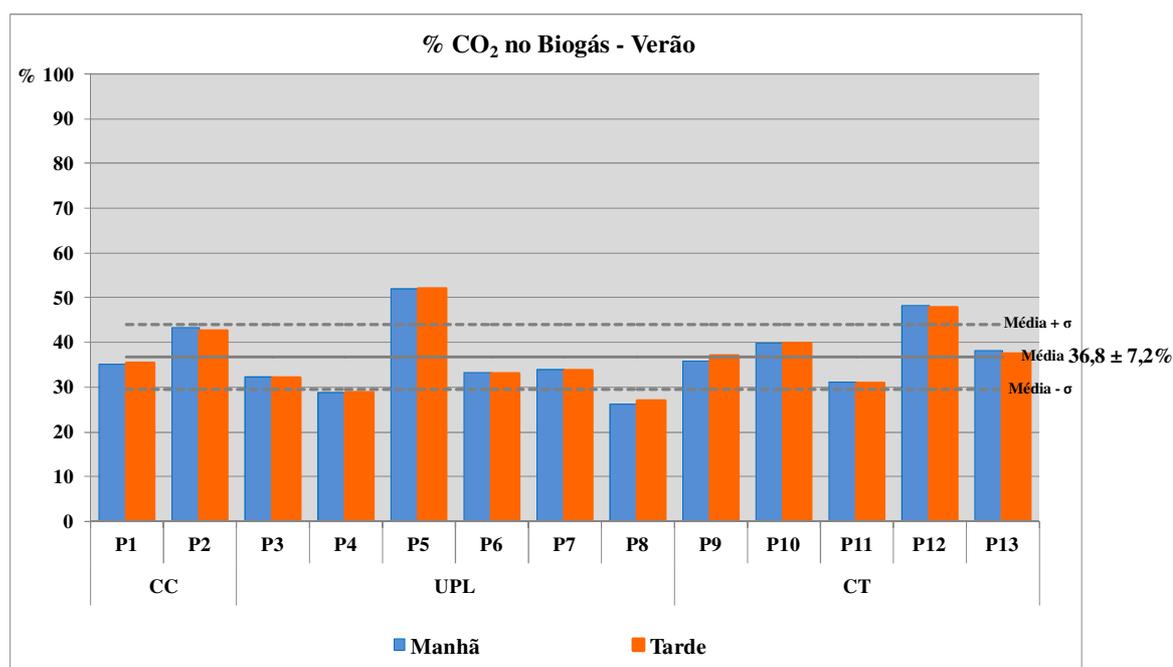
**Figura 34** – Distribuição dos dados da concentração de  $\text{CH}_4$  (%) nos biodigestores..

Os *out-liers*, ou seja, os valores que se distanciam dos outros, foram observados nos diagramas de caixa de alguns dos acontecimentos, especificamente, nas propriedades P2, P9, P12, P13 e P12'. No entanto, as propriedades P1, P4, P5, P7, P8, P10 e P1', apresentaram uma baixíssima dispersão dos dados.

Observou-se claramente que as propriedades P5, P12 e P12' afastam-se um pouco das outras propriedades, apresentando valores mais baixos de CH<sub>4</sub>.

### 5.6.2 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

As concentrações médias de CO<sub>2</sub> no biogás obtidas nos biodigestores das treze propriedades estudadas, tanto no período da manhã como no da tarde, durante a época de verão, estão apresentados na Figura 45 (APÊNDICE E).



**Figura 35** - Concentrações de CO<sub>2</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, na época de verão.

O valor médio da concentração de CO<sub>2</sub> no biogás, considerando todas as propriedades medidas na época de verão, foi de  $36,8 \pm 7,2\%$ , variando entre  $26,6 \pm 0,51\%$  (P8) e  $52 \pm 0,26\%$  (P5). Nas propriedades P5 e P12 a concentração do CO<sub>2</sub> foi destacadamente superior à média com a conseqüente menor porcentagem de CH<sub>4</sub> nestas propriedades. Estas duas propriedades têm

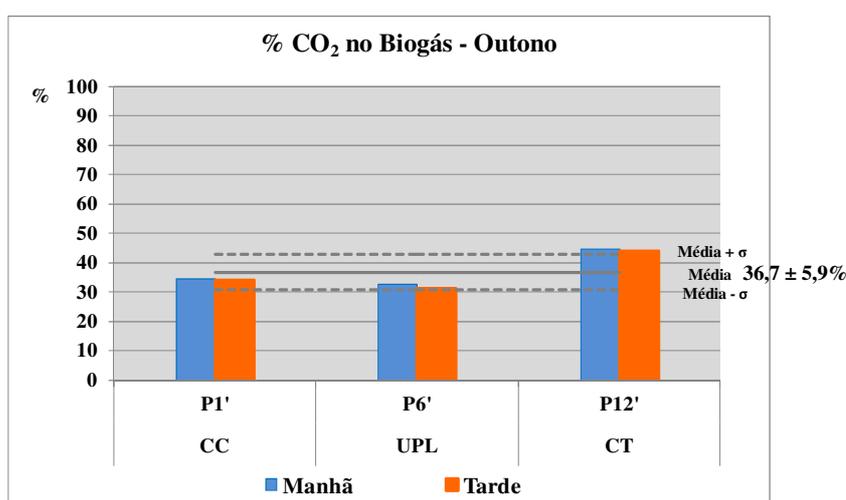
sistemas de criação de suínos diferentes, UPL no caso da P5, e CT na P12. No entanto, a produção de dejetos é semelhante entre estas duas propriedades, a P5 possui cerca de 3,9 m<sup>3</sup>/dia e a P12 em torno de 4,1 m<sup>3</sup>/dia.

A Tabela 30 mostra os valores médios de CO<sub>2</sub> calculados entre as propriedades com o mesmo sistema de criação de suínos. A maior concentração de CO<sub>2</sub> observou-se no sistema de criação CC com 39,1 ± 5,8% no período da manhã. O sistema UPL apresentou o menor valor com 34,3 ± 8,98%, no período da tarde.

**Tabela 30.** Concentração de CO<sub>2</sub> (%) entre as propriedades com o mesmo sistema de criação.

Sistema de Criação	Concentração de CO <sub>2</sub> (%)	
	Manhã	Tarde
CC	39,1 ± 5,80	39,0 ± 5,14
UPL	34,4 ± 9,10	34,3 ± 8,98
CT	38,6 ± 6,32	38,6 ± 6,10

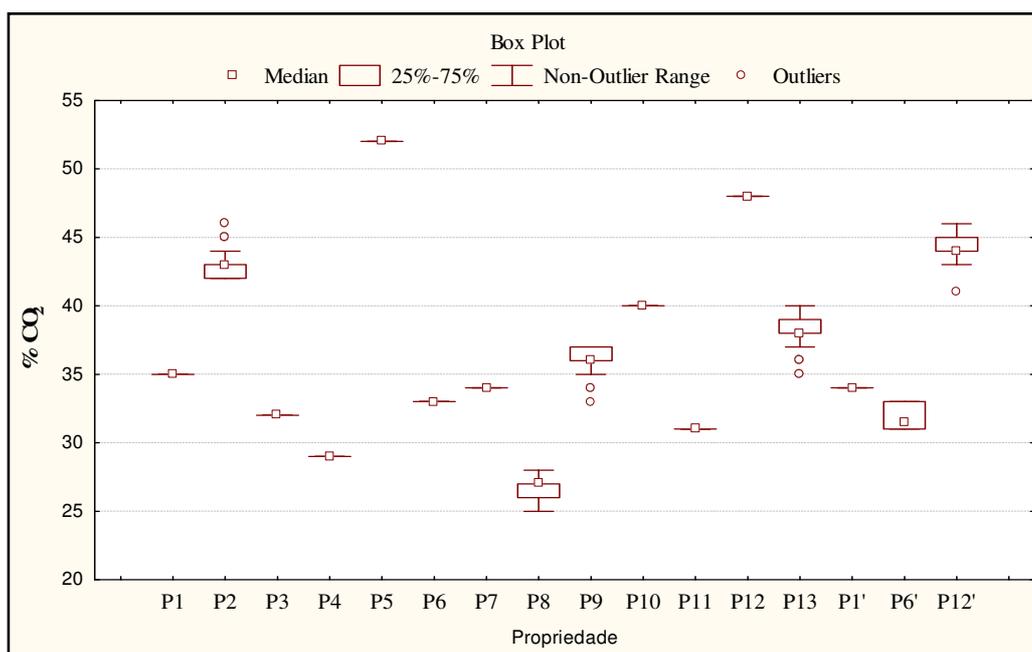
Os valores CO<sub>2</sub> observados na época de outono nas propriedades P1, P6 e P12, estão representados na Figura 46. O valor médio da concentração de CO<sub>2</sub>, considerando as 3 propriedades medidas nesta época, foi de 36,7 ± 5,9% variando entre 31,8 ± 0,88% (P6') e 44,2 ± 0,61% (P12').



**Figura 36** - Concentrações de CO<sub>2</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, na época de outono.

Os valores obtidos para a concentração deste gás, exceto nas propriedades P5, P12 e P12', encontram-se dentro da faixa teórica de concentração considerada por Pires (2000) (apud PINTO, 2006), obtida pelo tratamento de dejetos através da digestão anaeróbia, entre 25 a 40%.

A Figura 47 mostra a distribuição dos valores coletados em cada uma das propriedades em estudo, através da análise exploratória, onde os dados são apresentados através de diagramas de caixa (n=232).

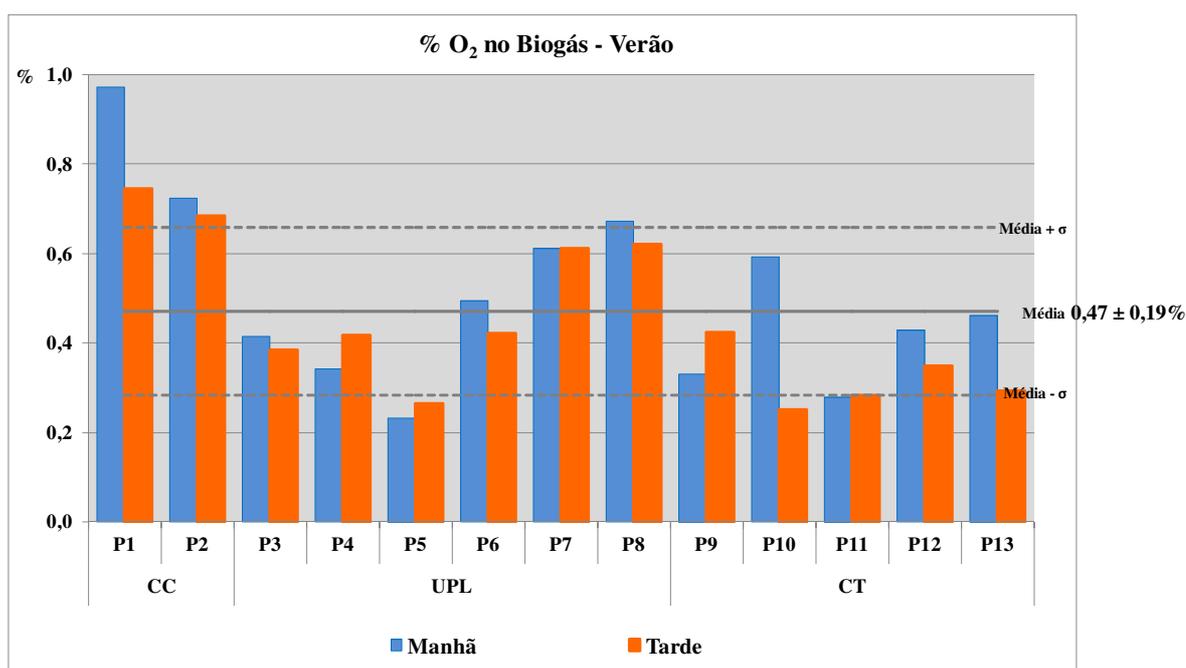


**Figura 37** – Distribuição dos dados da concentração de CO<sub>2</sub> (%) nos biodigestores.

A existência de *out-liers* ocorreu nos diagramas de caixa das propriedades P2, P9, P13 e P12', indicando que nessas medições houve uma variação dos dados registrados durante o período de uma hora (Figura 47).

### 5.6.3 Oxigênio (O<sub>2</sub>)

A Figura 48 apresenta os resultados das concentrações médias de O<sub>2</sub> no biogás, nos biodigestores das propriedades estudadas, no período da manhã e da tarde durante a época de verão, (APÊNDICE E).



**Figura 38** - Concentrações de O<sub>2</sub> (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, durante a época de verão.

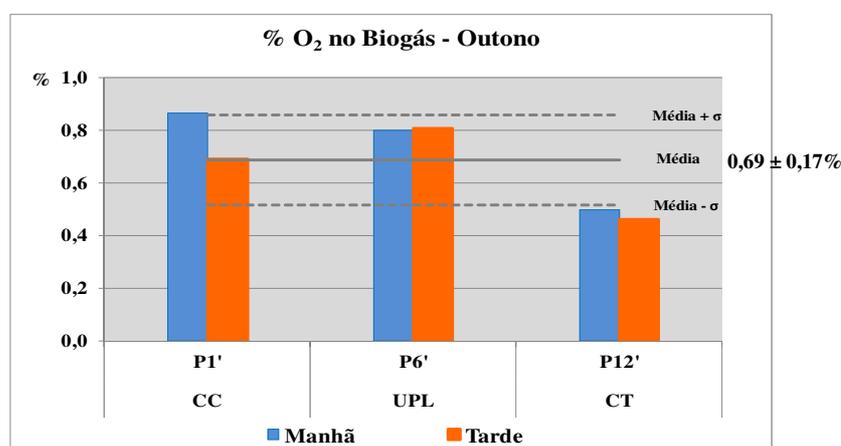
O valor médio, considerando todas as medições no verão, foi de 0,47% com desvio padrão de  $\pm 0,19\%$ . Tanto no período da manhã como no da tarde, a concentração média de O<sub>2</sub> nas propriedades apresentou-se relativamente baixa, inferior a 1%.

Os valores médios de O<sub>2</sub> avaliados entre as propriedades com o mesmo sistema de criação de suínos são apresentados na Tabela 31. A maior concentração de O<sub>2</sub> registrou-se no sistema de criação CC com  $0,85 \pm 0,17\%$  no período da manhã e  $0,72 \pm 0,04\%$  no período da tarde. O sistema CT apresentou o menor valor com  $0,42 \pm 0,12\%$  e  $0,32 \pm 0,07\%$ , no período da manhã e da tarde, respectivamente.

**Tabela 31.** Concentração de O<sub>2</sub> (%) entre as propriedades com o mesmo sistema de criação.

Sistema de Criação	Concentração de O <sub>2</sub> (%)	
	Manhã	Tarde
CC	$0,85 \pm 0,17$	$0,72 \pm 0,04$
UPL	$0,46 \pm 0,17$	$0,45 \pm 0,14$
CT	$0,42 \pm 0,12$	$0,32 \pm 0,07$

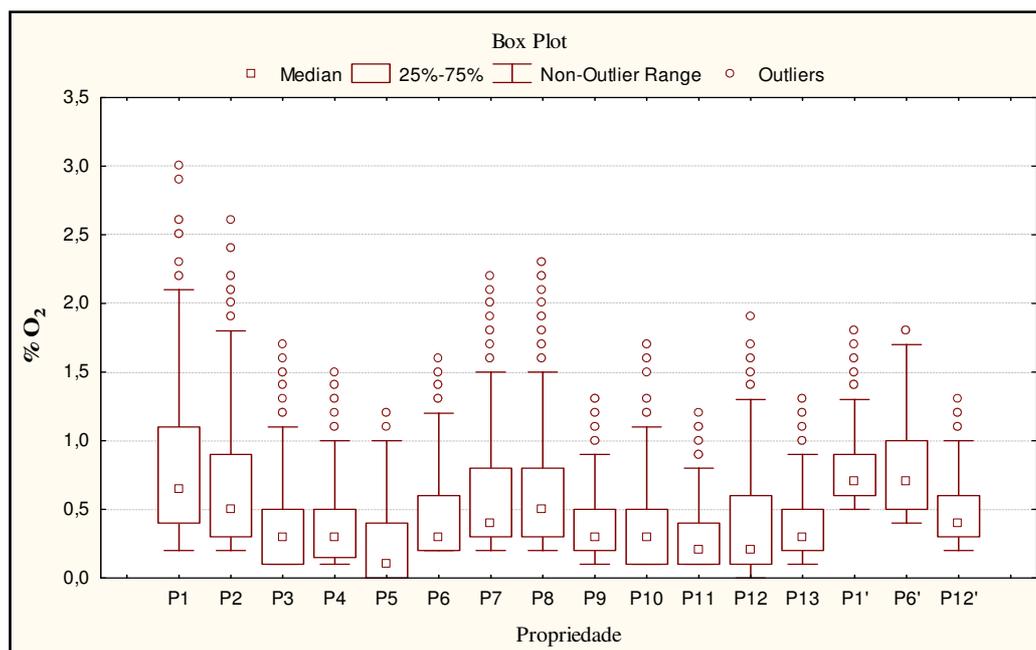
O valor médio da concentração de  $O_2$  considerando as 3 propriedades medidas na época de outono, (Figura 49), foi de  $0,69 \pm 0,17\%$  variando entre  $0,48 \pm 0,22\%$  (P12') e  $0,80 \pm 0,32\%$  (P6'), um pouco maior em comparação ao obtido anteriormente.



**Figura 39** - Concentrações de  $O_2$  (%) nos biodigestores, no período da manhã e da tarde, durante a época de outono.

De acordo com Pires (2000), (apud PINTO, 2006), a faixa teórica de concentração de  $O_2$  obtida pelo tratamento de dejetos através da digestão anaeróbia, varia entre 0,1 e 1%. Os valores médios alcançados de  $O_2$ , neste trabalho, em ambos os períodos e épocas, encontram-se dentro dessa faixa. Provavelmente, a presença de  $O_2$  no biogás em todos os biodigestores deve-se também à entrada desse gás em algum lugar no biodigestor ou na conexão do adaptador com a saída do biogás, no momento da medição.

Os dados da concentração de  $O_2$ , medidos durante uma hora, apresentados através de diagramas de caixa, mostrando os valores medianos, os quartis (25-75%) e *out-liers* (n=232) para cada biodigestor são representados na Figura 50.



**Figura 40** – Distribuição dos dados da concentração de O<sub>2</sub> (%) nos biodigestores.

Analisando a figura anterior observa-se que, em todos os biodigestores, os dados de concentração de O<sub>2</sub> variaram durante a medição de uma hora. Na maioria dos casos a mediana se encontrou abaixo de 0,5%, exceto nas propriedades P1, P1' e P6'. Em todas as medições observam-se *out-liers*, ou seja, valores que se distanciam dos demais.

No entanto, através dos gráficos, da variação da concentração durante o período medido, fornecidos em APÊNDICE B, verifica-se que os valores mais altos de O<sub>2</sub> que correspondem aos *out-liers*, ocorrem nos primeiros minutos da medição, e diminuem até certo ponto onde estabilizam ou diminuem gradualmente até ao fim da medição. Essa variação que ocorreu nos primeiros minutos e se deve à introdução do aparelho no circuito, correspondendo a uma fase de adaptação da medição.

#### 5.6.4 Gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S)

Em relação à concentração de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) verificou-se que em todos os biodigestores esse gás excedeu os 1.000 ppm, valor limite do sensor instalado no medidor da qualidade do biogás, Drager X-am 7000.

### 5.6.5 Observação Final

Os sensores do aparelho funcionam de forma independente ocasionando valores acima de 100% na soma do CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. Os erros dos sensores também são independentes, portanto não é adequado efetuar uma correção matemática simples, como a regra de três, já que deste modo consideraria que os erros são todos lineares.

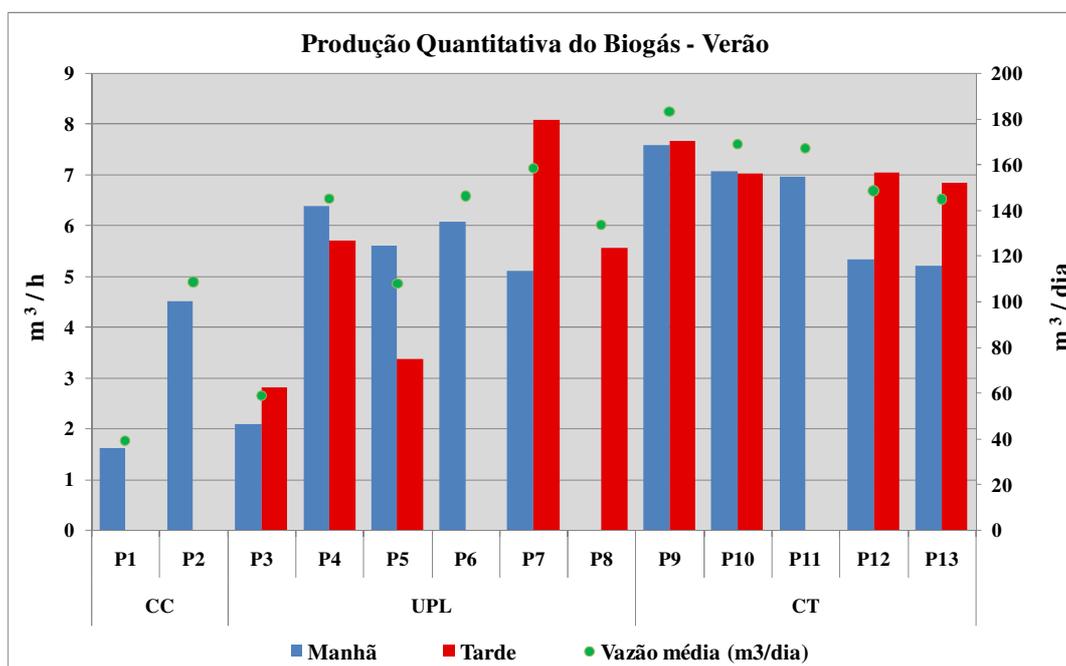
O aparelho X-am 7000 era calibrado antes das medições a campo, portanto pode-se concluir que a falta de precisão não é devido às falhas individuais dos sensores, mas sim à alguns fatores externos (co-variáveis), que interferiram na medição, entre eles a umidade do biogás, a qual não foi medida neste estudo.

O uso de cromatografia gasosa em laboratório seria uma alternativa para se obter maior precisão e para fazer um comparativo com os valores encontrados a campo utilizando o medidor portátil, favorecendo a confiabilidade do método utilizado.

## 5.7 Produção quantitativa do biogás (vazão)

O resultado médio de vazão (m<sup>3</sup>/h) do biogás, obtido em cada medição realizada nas treze propriedades, no período da manhã e da tarde, durante a época do verão é apresentado na Figura 51, (APÊNDICE F). Na mesma figura está representada a vazão média estimada em m<sup>3</sup>/dia para cada propriedade.

Não foi possível medir a velocidade do biogás, devido a problemas técnicos no termo-anemômetro, no período da manhã, na propriedade P8, e no período da tarde, nas propriedades P1, P2, P6 e P11.



**Figura 41** - Produção quantitativa do biogás, no período da manhã e da tarde, nas propriedades avaliadas durante a época de verão.

Os resultados obtidos demonstram que existe uma variação da vazão produzida entre as diversas propriedades registrando-se valores médios em torno de 1,6 (P1) a valores superiores a 7,6 m<sup>3</sup>/h (P7 e P9) (Figura 51). Também se observaram dentro da mesma propriedade diferenças acentuadas entre o período da manhã e o período da tarde, com exceção da P9 e P10. No entanto, estas diferenças não se expressaram no mesmo sentido: nas P3, P7, P12, P13 os valores mais altos registraram-se no período da tarde enquanto nas P4 e P5 foram durante a manhã.

A temperatura do biogás medida em cada período para cada propriedade é apresentada na Tabela 32, observa-se que existem diferenças acentuadas entre o período da manhã e da tarde, nas propriedades. Na P4, a temperatura do biogás foi praticamente igual nos dois períodos.

Em termos de valores diários, a vazão máxima produzida foi de 183,3 m<sup>3</sup> de biogás na propriedade P9, e a vazão mínima foi de 39,3 m<sup>3</sup> na P1.

**Tabela 32.** Temperatura do biogás e vazão média do biogás obtida nas propriedades.

Propriedade	Temperatura Biogás (°C)		Vazão Média do Biogás (m <sup>3</sup> /h)			
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde		
Verão	CC	P1	25,0	-	1,64	-
		P2	28,3	-	4,53	-
	UPL	P3	30,2	30,6	2,10	2,82
		P4	30,5	30,6	6,40	5,71
		P5	31,7	29,1	5,62	3,39
		P6	-	-	6,10	-
		P7	24,4	26,8	5,13	8,08
		P8	25,0	35,3	-	5,57
	CT	P9	29,2	32,1	7,61	7,67
		P10	25,5	30,5	7,08	7,03
		P11	27,2	-	6,97	-
		P12	24,7	35,3	5,34	7,06
		P13	27,2	32,0	5,23	6,86
Outono	CC	P1	24,4	23,2	1,18	0,58
	UPL	P6	15,8	25,2	9,09	6,84
	CT	P12	20,7	23,5	6,58	4,07

A influência do sistema de produção na produção de biogás é no caso do ciclo completo difícil de comparar. As duas propriedades em estudo com este sistema de produção diferem na vazão de biogás produzida, a P2 com cerca de 4,5 m<sup>3</sup>/h enquanto a P1 com 1,6 m<sup>3</sup>/h. A primeira é uma unidade com cerca de 480 matrizes e com um volume de dejetos em torno de 10,3 m<sup>3</sup>/dia enquanto a segunda é uma unidade de pequena dimensão, com cerca de 50 matrizes e com um volume de dejetos de 1,1 m<sup>3</sup>/dia. Também, o sistema de tratamento difere: na P2 é um biodigestor tipo lagoa anaeróbia coberta, enquanto na segunda o tratamento é efetuado num biodigestor circular com manta de lodo com um volume de 90 m<sup>3</sup>. A eficiência de remoção, em termos de SV e DQO, entre estes dois tipos também foi um pouco diferente como se podem observar nos capítulos anteriores, na P1 as eficiências foram superiores. Por estes motivos, e principalmente pela diferença da quantidade de dejetos produzidos, explica-se que a produção de biogás seja maior na P2 do que na P1.

Nas unidades de produção de leitões o valor da produção horária de biogás não se afastou muito uns dos outros, com exceção dos casos da propriedade P3, em ambos os períodos (2,1 e 2,8 m<sup>3</sup>/h) e da P5, período da tarde (3,4 m<sup>3</sup>/h) em que a vazão foi menor. A maior produção foi obtida na P7, no período da tarde com 8,1 m<sup>3</sup>/h.

No caso específico da P3 esta baixa vazão foi devida a problemas existentes na lona do biodigestor, mais vazia do que o normal, conforme foi observado no trabalho de campo, (Figura

52). Esta constatação permitiu deduzir que a ocorrência de vazamentos foi responsável pelos resultados verificados, depois de eliminada a hipótese das baixas eficiências de remoção de DQO e SV. Os valores obtidos para estes dois parâmetros foram de 91 e 85%, respectivamente, (Item 5.3.2 e 5.4).



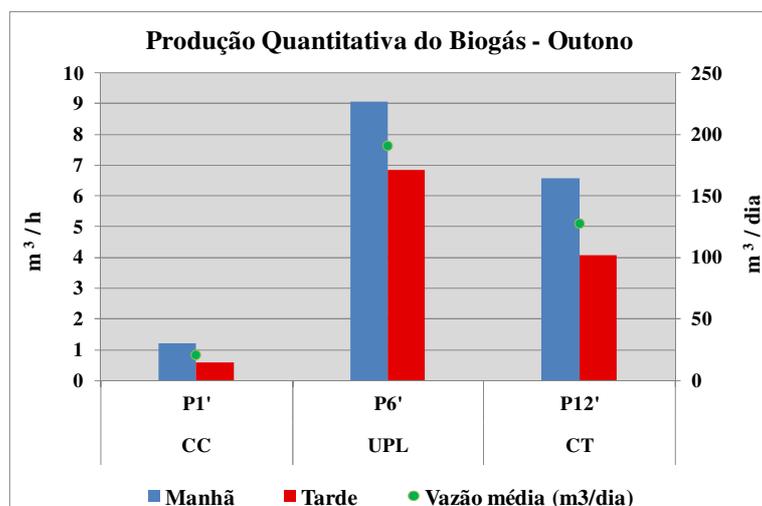
**Figura 42** – Biodigestor da propriedade P3.

No caso da propriedade P5 a baixa vazão observada se deve provavelmente à baixa eficiência de remoção de SV, (da ordem dos 42%, Item 5.3.2.1).

Comparando as cinco propriedades de CT, observa-se que a produção de biogás foi semelhante, a vazão avaliada variou entre 5,2 m<sup>3</sup>/h na P13, período da manhã, a 7,7 m<sup>3</sup>/dia na P9, no período da tarde. Todas as unidades de CT, exceto a P10, possuíam, no momento da medição, um volume de dejetos entre 4,1 m<sup>3</sup>/dia (P12) e 5,7 m<sup>3</sup>/dia (P13).

A propriedade P10, mesmo sem animais há 15 dias, ou seja, sem alimentação do biodigestor, produziu uma vazão média em torno de 7,1 m<sup>3</sup>/h. Existe produção de biogás devido à existência de biomassa ainda no biodigestor.

Os valores médios de vazão obtidos nas propriedades, medidas durante a época do outono, são apresentados na Figura 53. Os resultados demonstram uma menor vazão na propriedade P1', variando entre 0,6 e 1,2 m<sup>3</sup>/h, e uma maior vazão na P6', entre 6,8 e 9,1 m<sup>3</sup>/h. Também se observaram que dentro da mesma propriedade houve diferenças entre o período da manhã e o período da tarde, sendo maior no período da manhã, nos 3 casos. No caso da P1', a temperatura do biogás (Tabela 32) foi superior no período da manhã. No entanto, nas propriedades P6' e P12', a temperatura do biogás foi maior no período da tarde onde se registrou uma vazão menor.



**Figura 43** - Produção quantitativa do biogás, no período da manhã e da tarde, nas propriedades avaliadas durante a época de outono.

Devido aos problemas referidos anteriormente, apenas se estudou o efeito da época nos dois períodos na propriedade 12. Aqui os valores médios da vazão em  $\text{m}^3/\text{h}$  foram menores no outono ( $5,3 \text{ m}^3/\text{h}$ ) do que no verão ( $6,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ) embora a hierarquia dos resultados do período se tenham invertido: no verão o valor mais elevado foi à tarde e no outono foi de manhã. Na P6, embora o resultado da tarde não tenha sido determinado no verão, observa-se uma maior vazão no outono do que no verão, relativamente ao período da manhã.

Em termos de valores diários, a vazão máxima produzida, no outono, foi de  $191,1 \text{ m}^3$  de biogás na propriedade P6' e a vazão mínima foi de  $21,1 \text{ m}^3$  na P1'.

A produção de biogás das propriedades em estudo, em particular de todas as unidades de CT e a maior parte das de UPL, está próxima dos valores registrados por Gosmann et al. (2004), em propriedades produtoras de suínos com 1.100 animais ( $150 \text{ m}^3/\text{dia}$ ), e muito superiores aos valores de vazão obtidos por Oliveira & Higarashi (2006) quando analisou comportamento do biodigestor ( $60 \text{ m}^3/\text{dia}$ ), no verão, numa propriedade com 400 animais nas fases de crescimento e terminação.

A propriedade P1 foi já objeto de dois estudos anteriores (HENN, 2005; e MONTEIRO, 2005) cujos resultados da produção de biogás ( $32,3$  e  $32 \text{ m}^3/\text{dia}$ , respectivamente), obtidos por um rotâmetro acoplado ao biodigestor, foram superiores aos obtidos no presente estudo durante a época de outono. No entanto, a vazão alcançada durante o verão foi maior à dos autores citados.

Num trabalho muito recente, Alves (2007), realizado numa propriedade de produção de suínos, de média dimensão, no município de Braço do Norte, obteve uma produção média de biogás de 6,26 m<sup>3</sup>/dia, num biodigestor de lodo, com um volume útil de 30 m<sup>3</sup>. Neste caso, a vazão do biogás foi analisada através de um medidor volumétrico de gás. Nenhuma das propriedades em estudo apresentou um valor tão baixo.

### 5.8 Produção de biogás, eficiências de remoção e carga orgânica

Os resultados obtidos dos parâmetros que mais variaram e influenciam a produção de biogás para as propriedades em estudo, são apresentados na Tabela 33. Entre esses parâmetros estão a produção diária de dejetos, a carga orgânica do afluente e efluente, a eficiência de remoção de SV e de DQO.

Em relação à concentração de CH<sub>4</sub>, as propriedades P1, P6, P11, P1' e P6', corresponderam aos valores mais elevados, apresentando concentrações acima de 70%. As propriedades P1, P6 e P11, representam sistemas de produção de suínos diferentes, com quantidades de dejetos também distintos, variando entre 1,1 m<sup>3</sup>/dia (P1), 3,9 m<sup>3</sup>/dia (P6) e 4,2 m<sup>3</sup>/dia (P11). No entanto, nestas cinco propriedades verificou-se uma boa eficiência de remoção de SV, acima de 85%, com exceção da P6'. Na propriedade P1, P11 e P1' também foi possível observar uma elevada eficiência de remoção de DQO em torno de 97, 81 e 99%, respectivamente.

**Tabela 33.** Produção de biogás e principais parâmetros intervenientes.

Propriedade	Média CH <sub>4</sub> (%)	Vazão média do biogás (m <sup>3</sup> /h)	Produção de Dejetos (m <sup>3</sup> /dia)	Carga Orgânica (SV)			Carga Orgânica (DQO)				
				Afluente (Kg/dia)	Efluente (Kg/dia)	Remoção de SV (%)	Afluente (Kg/dia)	Efluente (Kg/dia)	Remoção de DQO (%)		
Verão	CC	P1	71,8	1,6	1,1	44,1	0,8	98,1	120,9	3,3	97,3
		P2	69,4	4,5	10,3	128,9	9,8	92,4	524,4	35,2	93,3
	UPL	P3	68,8	2,5	2,6	39,4	5,9	85,0	75,5	6,4	91,5
		P4	69,8	6,1	3,9	8,8	9,6	-	29,4	16,9	42,4
		P5	51,1	4,5	3,9	50,4	29,2	42,1	88,1	97,3	-
		P6	70,7	6,1	3,9	30,5	4,6	84,8	36,8	44,5	-
		P7	69,7	6,6	2,5	60,7	2,6	95,6	162,5	7,3	95,5
		P8	69,7	5,6	75,3	102,7	26,3	74,4	686,5	139,7	79,6
		P9	66,7	7,6	4,5	59,0	18,5	68,7	104,3	44,8	57,0
		P10	63,9	7,1	3,5	-	13,5	-	37,5	82,0	-
CT	P11	70,7	7,0	4,2	147,8	15,7	89,4	217,5	41,1	81,1	
	P12	55,8	6,2	4,1	481,8	123,6	74,4	383,7	264,6	31,0	
	P13	64,8	6,0	5,7	64,3	13,7	78,7	150,5	21,6	85,6	
Outono	CC	P1'	74,0	0,9	1,1	114,0	1,1	99,1	106,4	1,9	98,2
		P6'	74,8	8,0	3,9	7,9	3,8	52,2	20,6	20,5	-
	CT	P12'	62,2	5,3	4,1	71,4	31,5	55,8	210,5	89,4	57,6

Em termos de quantidade média de biogás produzida, verificou-se que as maiores vazões ocorreram nas propriedades de CT (P9 a P13), variando entre 6 (P13) e 7,6 m<sup>3</sup>/h (P9) e na propriedade P6', com 8 m<sup>3</sup>/h. Nas propriedades P9, P11 e P13 registrou-se uma elevada eficiência de remoção de SV, superior a 68%, e de DQO acima de 57%, o que contribuiu para a produção de biogás elevada nestes biodigestores.

Na propriedade P10 mesmo sem animais há 15 dias, ou seja, sem alimentação do biodigestor durante esse período, observou-se uma vazão em torno de 7,1 m<sup>3</sup>/h. Isto se deve à existência de biomassa ainda no biodigestor.

No caso da P12, com uma vazão de 6,2 m<sup>3</sup>/h, ocorreu uma boa eficiência de remoção de SV (74%) mas uma baixa remoção de DQO (31%).

A menor vazão produzida ocorreu na P1, em ambas as épocas, propriedade com a menor produção de dejetos, em comparação as demais. No entanto, nesta propriedade se observou altas eficiências de remoção de SV e de DQO.

As menores cargas orgânicas aplicadas, tanto em termos de SV como de DQO, ocorreram nas propriedades P4 e P6', com menos de 9 Kg SV/dia e menos de 30 Kg DQO/dia.

## **5.9 Regionalização de coeficientes**

### **5.9.1 Considerações iniciais**

Com as informações dos itens anteriores obtidos em cada propriedade, nomeadamente a produção de biogás, a quantidade de CH<sub>4</sub> e a carga orgânica removida em função da quantidade de SV e de DQO, estimaram-se os coeficientes regionalizados que permitem quantificar a produção de biogás e de CH<sub>4</sub>.

As reduções das cargas orgânicas nos reatores anaeróbios para dejetos de suínos estão diretamente ligadas à produtividade do biogás. A degradação da matéria orgânica está relacionada com as características dos reatores, tipos de despejos, fatores ambientais e características operacionais, cujos efeitos vão se refletir na produção de CH<sub>4</sub>.

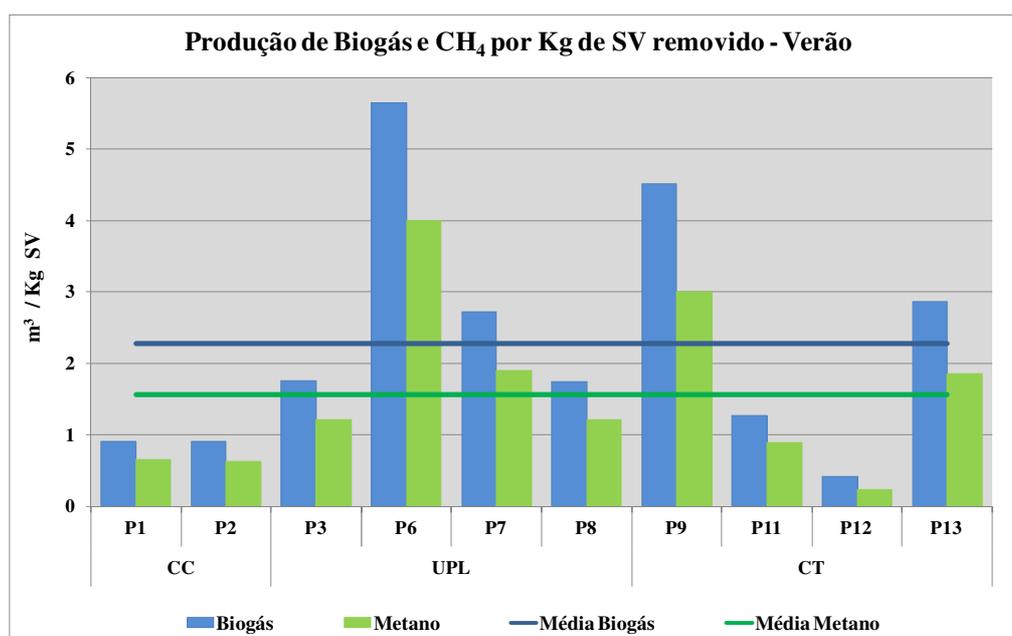
Para estimar estes coeficientes foram considerados somente os biodigestores das propriedades que apresentaram um comportamento estável em sua atividade biológica e que mostraram boas eficiências de degradação da matéria orgânica.

Os valores de produção de biogás utilizados no cálculo destes coeficientes são dados pontuais, ou seja, não mostram a variação da produção de biogás que ocorre durante um dia.

Esses dados pontuais podem ser valores exagerados ou relativamente baixos em relação à produção diária, o que torna a regionalização dos coeficientes uma análise também pontual.

### 5.9.2 Produção de biogás e de metano em relação à quantidade de sólidos voláteis removidos

Os coeficientes regionalizados da produção de biogás e de CH<sub>4</sub> em função de sólidos voláteis (SV) removidos avaliados nas propriedades mensuradas durante a época do verão estão apresentados na Figura 54. A Figura 55 mostra essas produções obtidas durante o outono, (APÊNDICE G). As propriedades P5 e P6' foram excluídas desta análise por apresentarem valores baixos de eficiência de remoção de SV, inferiores a 55%. Estas duas propriedades não mostram a situação real da eficiência de remoção de SV dos biodigestores instalados no tratamento de dejetos de suínos. Na propriedade P4 não houve remoção de SV, e por isso não consta no gráfico.



**Figura 44** – Produção de biogás e de CH<sub>4</sub> em função de SV removidos - Verão.

A produção média de biogás alcançada através das medições pontuais na época de verão, foi de 2,28 m<sup>3</sup>/Kg SV removido, este valor é superior à faixa teórica de 0,75 a 1,12 m<sup>3</sup>/Kg de SV referido por Metcalf & Eddy (2003) ou à faixa de 0,75 - 1,0 m<sup>3</sup>/Kg de SV considerada por Malina & Pohland (1992) para a produção de biogás. No entanto, as propriedades P1 e P2 se encontram dentro dessa faixa.

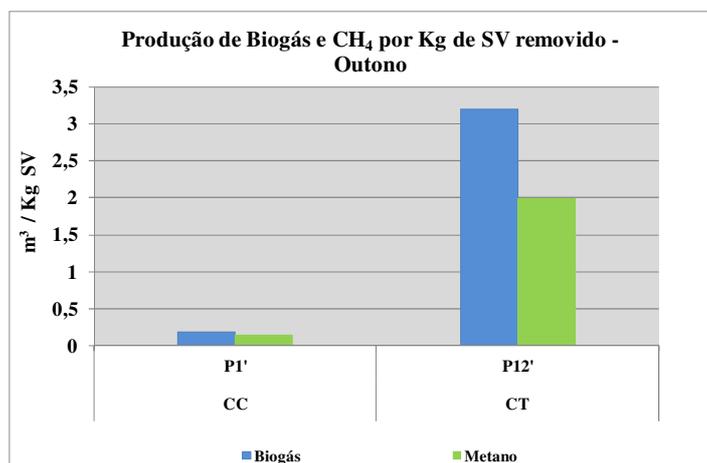
Já o valor médio de produção de  $\text{CH}_4$  foi  $1,56 \text{ m}^3/\text{Kg SV}$  removido, valor este superior à escala de  $0,45 - 0,78 \text{ m}^3$  de  $\text{CH}_4/\text{Kg SV}$  apresentada por Metcalf & Eddy (2003) e superior ao valor de  $0,45 \text{ m}^3$  de  $\text{CH}_4/\text{Kg SV}$  removido referido por La Farge (1995). Apesar disso, verificou-se que as produções das propriedades P1 e P2 estão dentro dessa faixa.

Nota-se claramente que a maior produção, tanto de biogás como de  $\text{CH}_4$ , ocorreu na propriedade P6, com  $5,65$  e  $4 \text{ m}^3/\text{Kg SV}$ , respectivamente, e na P9 com  $4,52 \text{ m}^3$  de biogás/ $\text{Kg SV}$  e  $3,01 \text{ m}^3$  de  $\text{CH}_4/\text{Kg SV}$ .

A propriedade P12 foi a que registrou menor valor de produção de biogás com de  $0,42 \text{ m}^3/\text{Kg}$  de SV removidos, e de  $\text{CH}_4$  com  $0,23 \text{ m}^3/\text{Kg}$  de SV removidos.

Os altos valores e as variações destas produções de biogás e de  $\text{CH}_4/\text{Kg SV}$  removido ocorreram devido aos dados de vazão do biogás utilizados para esta estimação serem dados pontuais. Ou seja, não representam a variação da produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  que ocorre durante 24 horas, tornando esta regionalização uma análise também pontual.

No outono (Figura 55), verificou-se uma baixa produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  na propriedade P1', ( $0,19 \text{ m}^3$  biogás/ $\text{Kg}$  de SV e  $0,14 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Kg}$  de SV), valores inferiores aos obtidos anteriormente. No entanto, na propriedade P12', observou-se uma maior produção, tanto de biogás ( $3,21 \text{ m}^3/\text{Kg}$  de SV) como de  $\text{CH}_4$  ( $1,99 \text{ m}^3/\text{Kg}$  de SV), em comparação à obtida no verão.



**Figura 45** – Produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  em função de SV removidos - Outono.

Embora o baixo valor estimado na propriedade P1, no outono, esteja abaixo da média das medições consideradas, não se afasta dos valores determinados por Magbanua Jr. et al. (2001)

para a produção de biogás e de CH<sub>4</sub> (0,2 m<sup>3</sup> biogás/Kg SV e de 0,13 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Kg SV). Já Chae et al. (2004) encontraram uma produção de biogás em torno de 1,12 m<sup>3</sup>/Kg SV e de CH<sub>4</sub> de 0,724 m<sup>3</sup>/Kg SV, valores próximos aos obtidos nas propriedades P1 (0,91 m<sup>3</sup> biogás/Kg SV e de 0,65 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Kg SV), P2 (0,91 m<sup>3</sup> biogás/Kg SV e de 0,63 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Kg SV) e P11 (1,18 m<sup>3</sup> biogás/Kg SV e de 0,84 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Kg SV).

Também Fischer et al. (1979, apud LUCAS JR., sem data), trabalhando em escala piloto, e operando um biodigestor com um volume de 0,45 m<sup>3</sup>, com tempo de retenção de 15 dias, sob agitação e mantido a 35°C durante 351 dias, registraram uma produção de biogás de 0,9 m<sup>3</sup>/Kg SV removido. Valor próximo aos resultados obtidos nas propriedades P1 (0,91 m<sup>3</sup> biogás/Kg SV) e P2 (0,91 m<sup>3</sup> biogás/Kg SV).

Ao relacionar o sistema de produção com a produção de biogás e de CH<sub>4</sub> em termos de SV removidos (Tabela 34), verifica-se que a menor produção de ambos foi obtida no sistema de criação caracterizado por CC, e a maior produção no UPL.

**Tabela 34.** Média e desvio padrão da produção biogás, e de CH<sub>4</sub>, em função de SV removidos em cada sistema de criação.

Sistema de Criação	Média ± Desvio Padrão	
	m <sup>3</sup> Biogás/kg SV <sub>removido</sub>	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg SV <sub>removido</sub>
CC	0,67 ± 0,42	0,47 ± 0,29
UPL	2,97 ± 1,84	2,08 ± 1,31
CT	2,45 ± 1,84	2,08 ± 1,07

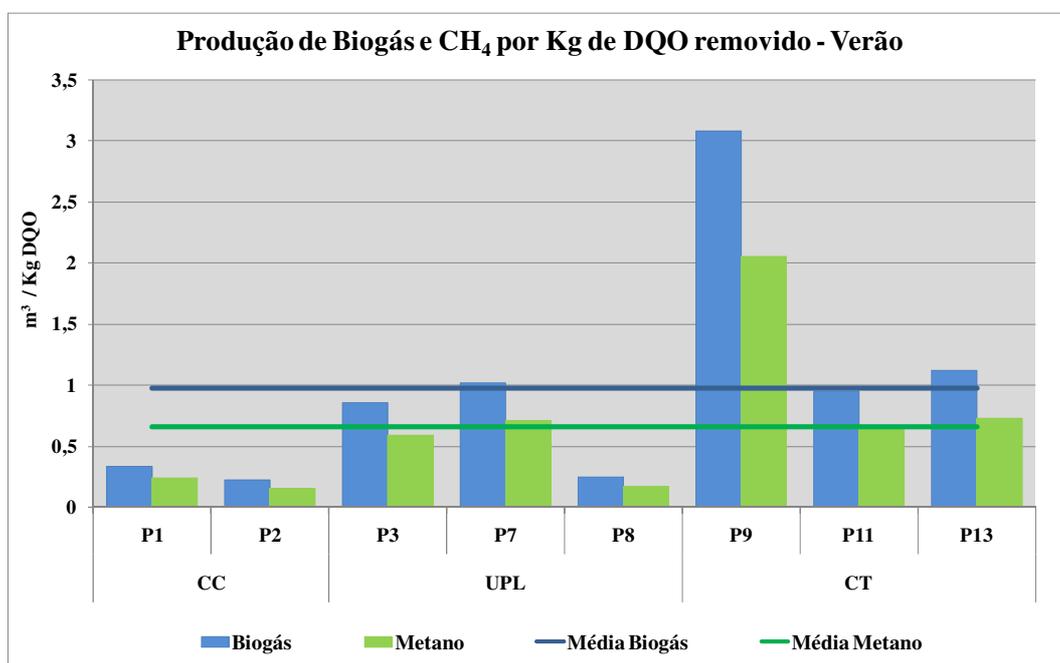
### 5.9.3 Produção de biogás e de metano em relação à quantidade de DQO removida

A produção de biogás e de CH<sub>4</sub> em termos de DQO removida nas unidades em estudo durante a época de verão e de outono, estão representadas nas Figuras 56 e 57 respectivamente, (APÊNDICE G). Nas propriedades P5 e P6 (ambas as épocas) não houve remoção de DQO, por isso não figuram no gráfico. As propriedades P4 e P12 também foram excluídas desta análise por apresentarem eficiência de remoção de DQO inferiores a 42%, não mostrando a condição real da eficiência de remoção de DQO dos biodigestores instalados no tratamento de dejetos de suínos.

A média alcançada entre as restantes propriedades foi de 0,96 m<sup>3</sup> biogás/Kg DQO removida. Em relação à produção de CH<sub>4</sub> a média obtida foi de 0,66 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/Kg DQO removida. Estes valores são superiores aos valores teóricos considerados por Malina e Pohland

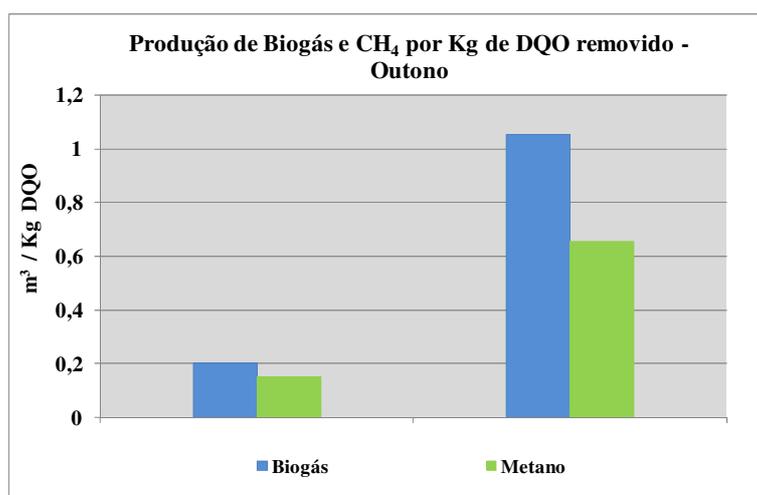
(1992), de  $0,5 \text{ m}^3$  biogás/Kg de DQO removida e por Metcalf e Eddy (2003), de  $0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ /Kg de DQO removida.

Analisando o gráfico da Figura 56, observa-se que o valor máximo de produção ocorreu na propriedade P9 ( $3,08 \text{ m}^3$  biogás e  $2,06 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ /Kg de DQO removido). Este valor alto de biogás relativamente à DQO removida resulta da mais elevada produção de biogás por hora ( $7,64 \text{ m}^3/\text{h}$ ) nesta propriedade comparativamente às outras, já que a diferença entre as quantidades de DQO removida registradas não é tão acentuada.



**Figura 46** – Produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  em função de DQO removida – Verão.

No outono (Figura 57), verificou-se uma baixa produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  na propriedade P1' ( $0,20$  e  $0,15 \text{ m}^3/\text{Kg}$  de DQO removido, respectivamente), valores inferiores aos obtidos anteriormente. No entanto, na propriedade P12', observou-se uma produção de  $1,05 \text{ m}^3$  de biogás/Kg de DQO e de  $0,66 \text{ m}^3$  de  $\text{CH}_4$ /Kg de DQO.



**Figura 47** – Produção de biogás e de CH<sub>4</sub> em função de DQO removida - Outono.

Os valores mínimos de produção de biogás observaram-se nas propriedades P1, em ambas as épocas, (0,33 no verão e 0,20 m<sup>3</sup>/Kg de DQO no outono), na P2 (0,22 m<sup>3</sup>/Kg de DQO) e na P8 (0,24 m<sup>3</sup>/Kg de DQO).

Como aconteceu no item anterior, os altos valores e as variações das produções de biogás e de CH<sub>4</sub>/Kg DQO removido, ocorreram devido aos dados de vazão do biogás utilizados para esta estimativa serem dados pontuais. Ou seja, estes coeficientes não representam 24 horas de observação, tornando esta regionalização uma análise também pontual.

Na Tabela 35 são apresentadas as médias de produção biogás e de CH<sub>4</sub> em função de DQO removida, obtidas para cada sistema de criação.

**Tabela 35.** Média e desvio padrão da produção de biogás e de CH<sub>4</sub>, em função de DQO removida em cada sistema de criação.

Sistema de Criação	Média ± Desvio Padrão	
	m <sup>3</sup> Biogás/kg DQO <sub>removido</sub>	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg DQO <sub>removido</sub>
CC	0,25 ± 0,07	0,18 ± 0,05
UPL	0,71 ± 0,41	0,49 ± 0,28
CT	1,55 ± 1,02	1,03 ± 0,69

Analisando a tabela anterior observa-se que a menor produção de biogás e de CH<sub>4</sub> foi obtida no sistema de criação de CC, e as maiores produções foram no sistema de criação CT.

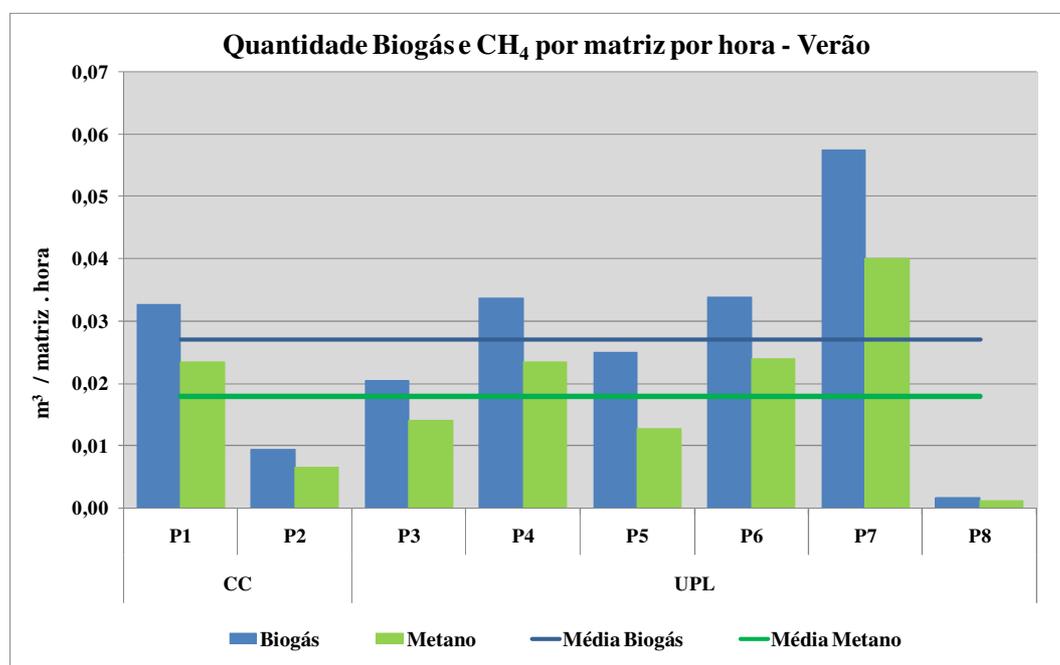
#### 5.9.4 Produção de biogás e de metano em relação ao número de matrizes e de animais

A regionalização de coeficientes também foi realizada tendo em consideração o número de matrizes e de animais existentes em cada propriedade no dia das medições.

A quantidade de biogás e de CH<sub>4</sub> por matriz nas propriedades de CC e UPL estudadas durante a época de verão é apresentada na Figura 58. Esta quantidade foi estimada pela relação entre a vazão de biogás horária e o número matrizes presentes em cada propriedade. A Figura 59 mostra as produções de biogás e de CH<sub>4</sub> por animal por hora nas propriedades CT medidas também na época de verão, (APÊNDICE H).

Os coeficientes da quantidade de biogás e de CH<sub>4</sub> por matriz e por animal apresentados nos gráficos seguintes são referentes a uma hora pois a vazão do biogás foi obtida de forma pontual, num espaço de uma hora, no período da manhã e da tarde. Também para minimizar os erros não se extrapolou a produção de biogás e de CH<sub>4</sub> por dia.

A propriedade P10 no momento da medição encontrava-se sem suínos há 15 dias, neste caso, para o cálculo da produção foi usado o valor correspondente à capacidade máxima de animais como anteriormente referido na Metodologia.

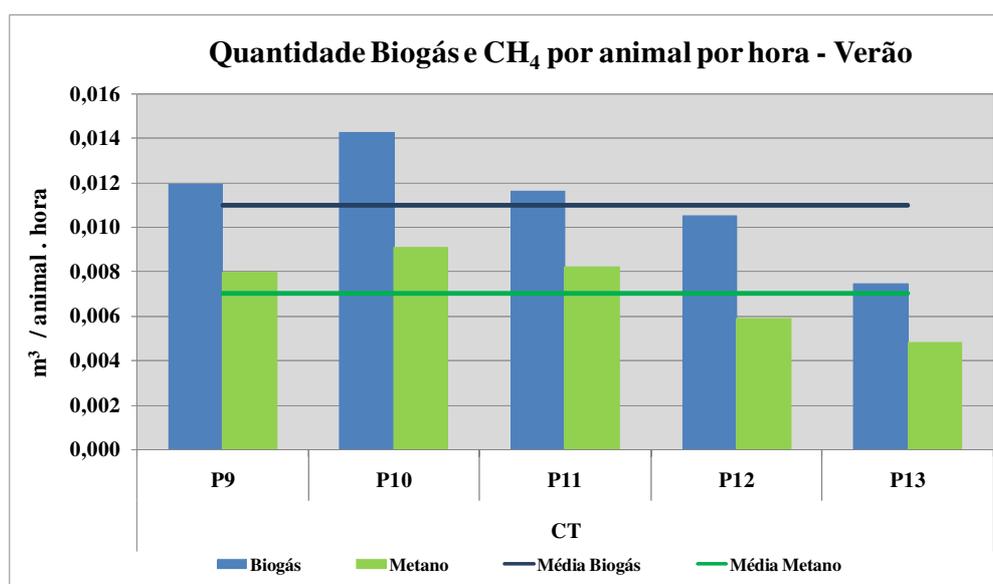


**Figura 48** – Produção de biogás e de CH<sub>4</sub>/matriz.hora nas propriedades de CC e UPL.

A média obtida em todas as propriedades CC e UPL avaliadas durante o verão foi em torno de  $0,027 \text{ m}^3$  biogás/matriz.hora e  $0,018 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ /matriz.hora.

Os valores mínimos de produção de biogás ( $0,002 \text{ m}^3$ /matriz.dia) e de  $\text{CH}_4$  ( $0,001 \text{ m}^3$ /matriz.dia) observaram-se na propriedade P8. Nesta propriedade verificou-se que tanto a vazão de biogás como a quantidade de  $\text{CH}_4$  medidas no local foram elevadas ( $5,57 \text{ m}^3$ /hora e  $69,7\%$ , respectivamente), no entanto, como o número de matrizes é muito superior às outras propriedades, em torno de 3.500, determina a baixa produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  por matriz.

A propriedade P7 registrou o maior valor de produção, em torno de  $0,057 \text{ m}^3$  biogás/matriz.hora. Este valor deve-se ao baixo número de matrizes (335) em comparação com as demais e a uma vazão horária de biogás relativamente próxima às obtidas nas outras propriedades. Também na propriedade P7 registrou-se o maior valor de produção de  $\text{CH}_4$ , em torno de  $0,040 \text{ m}^3$ /matriz.dia.



**Figura 49** – Produção de biogás e de  $\text{CH}_4$ /animal.dia nas propriedades de CT.

Entre as propriedades de CT, (Figura 59), na P10 observou-se o maior valor de produção, em torno de  $0,0014 \text{ m}^3$  biogás/animal.hora e  $0,009 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ /animal.hora. Este valor deve-se a uma vazão horária de biogás relativamente elevada e ao baixo número de animais (495) em comparação com as demais. A menor quantidade de biogás e de  $\text{CH}_4$  foi obtida na propriedade P13 com  $0,007 \text{ m}^3$  biogás/animal.hora e  $0,005 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ /animal.hora.

Na Tabela 36 é apresentada a quantidade de biogás e de CH<sub>4</sub> por matriz ou por animal, nas propriedades estudadas durante o outono.

**Tabela 36.** Produção de biogás e de CH<sub>4</sub> nas propriedades medidas no outono.

Propriedade		Produção de Biogás	Produção de CH <sub>4</sub>
CC	P1'	0,018 m <sup>3</sup> /matriz.hora	0,013 m <sup>3</sup> /matriz.hora
UPL	P6'	0,044 m <sup>3</sup> /matriz.hora	0,033 m <sup>3</sup> /matriz.hora
CT	P12'	0,009 m <sup>3</sup> /animal.hora	0,006 m <sup>3</sup> /animal.hora

As médias de produção biogás e de CH<sub>4</sub> por matriz ou por animal, entre as propriedades do mesmo sistema de criação são observadas na Tabela 37.

**Tabela 37.** Média e desvio padrão da produção biogás e de CH<sub>4</sub> em cada sistema de criação.

Sistema de Criação	Média ± Desvio Padrão	
	Produção de Biogás	Produção de CH <sub>4</sub>
CC	0,020 ± 0,012 m <sup>3</sup> /matriz.hora	0,014 ± 0,008 m <sup>3</sup> /matriz.hora
UPL	0,031 ± 0,018 m <sup>3</sup> /matriz.hora	0,021 ± 0,013 m <sup>3</sup> /matriz.hora
CT	0,011 ± 0,002 m <sup>3</sup> /animal.hora	0,007 ± 0,002 m <sup>3</sup> /animal.hora

As produções médias de biogás e de CH<sub>4</sub> obtidas entre as duas propriedades de CC foram 0,020 ± 0,012 m<sup>3</sup>/matriz.hora e 0,014 ± 0,008 m<sup>3</sup>/matriz.hora, respectivamente, valores inferiores aos considerados por CRPA (1996, apud CCE, 2000), que refere que uma matriz em ciclo completo produz aproximadamente 0,036 m<sup>3</sup> biogás/hora (0,866 m<sup>3</sup> biogás/dia) e 0,023 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/hora (0,563 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/dia).

Já a média de biogás entre as propriedades de UPL foi de 0,031 ± 0,018 m<sup>3</sup>/matriz.hora, valor inferior a 0,039 m<sup>3</sup> biogás/matriz.hora (0,933 m<sup>3</sup> biogás/matriz.dia), estimado por CRPA (1996, apud CCE, 2000), e a produção média de CH<sub>4</sub> foi 0,021 ± 0,013 m<sup>3</sup>/matriz.hora, também menor ao considerado por CRPA (1996, apud CCE, 2000) de 0,025 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/matriz.hora (0,606

$\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{matriz.dia}$ ). Os valores obtidos nas propriedades P4 e P6 são os que mais se aproximam desses valores teóricos.

Entre as propriedades de CT a média foi de  $0,011 \text{ m}^3 \text{ biogás}/\text{animal.hora}$ , valor este próximo ao teórico considerado por Oliveira et al. (1993) de  $0,01 \text{ m}^3 \text{ biogás}/\text{animal.hora}$  ( $0,24 \text{ m}^3 \text{ biogás}/\text{animal.dia}$ ). As propriedades com dados mais próximos a esse valor teórico foram P9 ( $0,012 \text{ m}^3 \text{ biogás}/\text{animal.hora}$ ), P11 ( $0,012 \text{ m}^3 \text{ biogás}/\text{animal.hora}$ ) e P12 ( $0,012 \text{ m}^3 \text{ biogás}/\text{animal.hora}$ ). A principal razão para a proximidade destes valores deve-se a um número de animais e a uma vazão de biogás produzida semelhante entre estas três propriedades.

No entanto, Lenz (1980, apud ZAGO, 2003), refere que cada suíno em média produz  $0,006 \text{ m}^3$  de biogás/hora ( $0,1431 \text{ m}^3$  de biogás/dia) e Aisse & Obladen (1981), consideram um valor em torno de  $0,0075 \text{ m}^3$  de biogás/hora ( $0,18 \text{ m}^3$  de biogás/animal.dia), valor igual ao obtido na propriedade P13.

Através destes coeficientes obtidos para cada sistema de criação de suínos é possível estimar a potencialidade de produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  para o estado de Santa Catarina, como descrito no seguinte item.

### 5.10 Potencial de Santa Catarina

Considerando o número efetivo de suínos segundo a categoria dos animais existentes em Santa Catarina, apresentado no LAC (Levantamento Agropecuário de Santa Catarina, 2005) e na Tabela 38, estimou-se o potencial de produção de biogás. Apesar deste levantamento agropecuário ser referente a valores de 2003 e não corresponder ao número de total de suínos considerados pelo IBGE (2006; 7,158 milhões), é o único que relata o número de animais por categoria.

**Tabela 38.** Efetivo de suínos segundo a categoria dos animais em Santa Catarina.

	Total	Reprodutor(a)	Leitão em aleitamento	Leitão em recria	Animais em terminação	Sem declaração
<b>Santa Catarina</b>	5.609.711	453.683	1.197.535	1.234.531	2.669.507	54.455

A Tabela 39 apresenta especificamente essa potencialidade do Estado em gerar biogás,  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , em  $\text{m}^3$  por hora, dia, mês e ano. Para isso, consideraram-se as médias de produção

por matriz (UPL) e por animal (CT), obtidas neste trabalho. Rejeitou-se a produção média de biogás por matriz em CC porque o valor obtido foi relativamente baixo e o LAC não faz distinção das reprodutoras entre CC e UPL. Para estimar a potencialidade de produção de biogás no caso da UPL apenas se relacionou com o número de reprodutores, desconsiderando os leitões em aleitamento, pois o cálculo de produção de biogás foi feito segundo o número de matrizes existentes nas propriedades. A Tabela 40 mostra esses valores de potencial de produção convertidos em toneladas.

**Tabela 39.** Potencialidade de geração de biogás, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (m<sup>3</sup>) em Santa Catarina.

	Produção média*	Potencialidade (mil m <sup>3</sup> /hora)	Potencialidade (mil m <sup>3</sup> /dia)	Potencialidade (milhões m <sup>3</sup> /mês)	Potencialidade (milhões m <sup>3</sup> /ano)
<b>Biogás</b>	0,031 m <sup>3</sup> /matriz.hora	14,02	336,45	10,09	122,80
	0,011 m <sup>3</sup> /animal.hora	42,16	1011,93	30,36	369,35
	<b>Total</b>	<b>56,18</b>	<b>1348,38</b>	<b>40,45</b>	<b>492,15</b>
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,021 m <sup>3</sup> /matriz.hora	9,39	225,42	6,76	82,28
	0,007 m <sup>3</sup> /animal.hora	28,25	677,99	20,34	247,47
	<b>Total</b>	<b>37,64</b>	<b>903,41</b>	<b>27,10</b>	<b>329,75</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,010 m <sup>3</sup> /matriz.hora	4,63	111,03	3,33	40,52
	0,004 m <sup>3</sup> /animal.hora	13,91	333,93	10,02	121,89
	<b>Total</b>	<b>18,54</b>	<b>444,96</b>	<b>13,35</b>	<b>162,41</b>

\* Produção referente aos valores médios obtidos no presente trabalho.

**Tabela 40.** Potencialidade de geração de biogás, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (tonelada) em Santa Catarina.

	Produção média*	Potencialidade (ton/hora)	Potencialidade (ton/dia)	Potencialidade (mil ton/mês)	Potencialidade (mil ton/ano)
<b>Biogás</b>	0,031 m <sup>3</sup> /matriz.hora	15,80	379,11	11,37	138,37
	0,011 m <sup>3</sup> /animal.hora	47,51	1140,22	34,21	416,18
	<b>Total</b>	<b>63,31</b>	<b>1519,33</b>	<b>45,58</b>	<b>554,55</b>
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,021 m <sup>3</sup> /matriz.hora	6,71	161,02	4,83	58,77
	0,007 m <sup>3</sup> /animal.hora	20,18	484,28	14,53	176,76
	<b>Total</b>	<b>26,89</b>	<b>645,30</b>	<b>19,36</b>	<b>235,53</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,010 m <sup>3</sup> /matriz.hora	9,09	218,09	6,54	79,60
	0,004 m <sup>3</sup> /animal.hora	27,33	655,95	19,68	239,42
	<b>Total</b>	<b>36,42</b>	<b>874,04</b>	<b>26,22</b>	<b>319,02</b>

\* Produção referente aos valores médios obtidos no presente trabalho.

Constata-se que Santa Catarina tem um potencial de gerar aproximadamente 492,15 milhões de m<sup>3</sup> de biogás/ano, equivalente a 554,55 mil toneladas de biogás/ano, e em torno de 329,75 milhões de m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ano.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 Conclusões

Com base nas análises e discussões dos resultados obtidos no presente trabalho pode concluir-se que:

- A maioria dos biodigestores apresentou boas condições de equilíbrio de pH (próximo da neutralidade), dentro da faixa em que se consegue estabilidade na formação de metano e de valores de potencial redox negativos, também dentro faixa considerada adequada para a atividade das bactérias anaeróbias, o que indica um meio redutor.

- Em apenas alguns biodigestores, a temperatura registrada no afluente e efluente aproximou-se do limite inferior da faixa de temperatura considerada ótima para a digestão anaeróbia, que ocorre em nível mesófilo (25-40°C). Verificou-se que essas temperaturas foram influenciadas diretamente pela temperatura ambiente.

- Os dejetos brutos avaliados no verão apresentaram valores médios de pH 7,4 e de Eh em torno de -347 mV. A concentração média de ST foi 35,1 g /Kg, de SV 24,5 g /Kg e de DQO foi 41,8 g/Kg.

- No outono, os dejetos brutos registraram valores médios de pH 7, Eh -356 mV, 55,9 g de ST/Kg, 41,8 g de SV/Kg e 51,7 g de DQO/Kg.

- A redução média de sólidos totais foi de 70%, considerando todos os biodigestores medidos durante o verão, apresentando uma eficiência satisfatória. Nos biodigestores avaliados durante o outono, a eficiência de remoção foi menor, aproximadamente 55%, devido à influência da temperatura ambiente, que no outono foi inferior à do verão.

- De acordo com as eficiências de remoção de SV obtidas, constata-se que a maioria dos biodigestores no verão, apresentou uma boa eficiência, com uma média de 80%, variando entre 69% (P9) a 98% (P1), exceto no biodigestor da propriedade P5 que apresentou cerca de 42%. A média registrada entre os biodigestores medidos durante o outono foi em torno de 69%. Essas eficiências ocorreram devido ao TRH de 40 dias.

- As eficiências de remoção de DQO mostraram que a degradação da matéria orgânica presente nos dejetos na maioria dos biodigestores avaliados durante o verão e o outono foi eficaz, com uma média de 75% e 78%, respectivamente, devido principalmente ao TRH de 40 dias.

- A utilização de reatores anaeróbios nos sistemas de tratamento dos dejetos de suínos possibilitam a formação do biogás com qualidade. Isso se deve ao percentual da produção metano, o qual apresentou valores dentro de uma faixa qualitativa esperada, com uma média em torno de  $66\% \pm 6,2\%$  nas propriedades medidas durante o verão, e de  $70\% \pm 6,3\%$  no outono.

- Para a composição do biogás, em termos da concentração de  $\text{CH}_4$ , verificou-se que na maioria das propriedades existem diferenças significativas entre si. A razão dessa diferença se deve à produção de dejetos e às eficiências de remoção de SV e de DQO, que são distintas entre as propriedades e possivelmente ao manejo dos animais que é diferente em cada uma.

- Em relação à concentração de  $\text{CO}_2$ , o valor médio no biogás, foi de  $37\% \pm 7,2\%$  considerando todas as propriedades estudadas na época de verão, e de  $37\% \pm 5,9\%$  nas propriedades avaliadas no outono.

- A produção de biogás mostrou-se variável entre as diversas propriedades registrando-se valores médios em torno de 1,6 (P1) a valores superiores a  $7,6 \text{ m}^3/\text{h}$  (P7 e P9). Estas diferenças devem-se, principalmente, à quantidade de dejetos produzidos que diferem entre as propriedades e às eficiências dos biodigestores em relação aos SV e à DQO. Também se observaram dentro da mesma propriedade diferenças acentuadas entre o período da manhã e o período da tarde.

- A menor produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  em função da carga orgânica removida (SV e DQO) foi obtida no sistema de criação caracterizado por ciclo completo, com  $0,67 \text{ m}^3$  biogás/Kg SV removido;  $0,47 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Kg}$  SV removido;  $0,25 \text{ m}^3$  biogás/Kg DQO removido e  $0,18 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Kg}$  SV removido.

- A maior produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  por carga orgânica removida (SV) foi determinada entre as UPL, com  $2,97 \text{ m}^3$  biogás/Kg SVremovido e  $2,08 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Kg}$  SVremovido.

- A maior produção de biogás e de  $\text{CH}_4$  por carga orgânica removida (DQO) foi determinada entre as unidades de crescimento e terminação, com  $1,55 \text{ m}^3$  biogás/DQO removido e  $1,03 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Kg}$  SV removido.

- Em relação ao número de matrizes e de animais, as produções médias de biogás e de  $\text{CH}_4$  foram de  $0,02 \text{ m}^3$  biogás/matriz.hora e  $0,014 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{matriz.hora}$  para o sistema de criação CC; de  $0,03 \text{ m}^3$  biogás/matriz.hora e  $0,021 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{matriz.hora}$  para as UPL; e de  $0,011 \text{ m}^3$  biogás/animal.hora e  $0,007 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{animal.hora}$  no caso do CT.

- Foi possível verificar que Santa Catarina tem um potencial de gerar aproximadamente 492,15 milhões de m<sup>3</sup> de biogás/ano, equivalente a 554,55 mil toneladas de biogás/ano, e em torno de 329,55 milhões de m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/ano.

## **6.2 Recomendações**

Obter informações mais precisas dos biodigestores, em relação às suas dimensões, volume, TRH, COV, e outros parâmetros que estejam diretamente relacionados com a produção de dejetos e o respectivo biodigestor.

Avaliar uma metodologia que determine o volume de dejetos produzidos em uma propriedade produtora de suínos, considerando e controlando o consumo de água.

Monitorar a composição e a produção de biogás nos diferentes sistemas de criação de modo a envolver a evolução do crescimento das diferentes fases dos suínos. Ao mesmo tempo, fazer o monitoramento físico-químico do afluente e do efluente do biodigestor, principalmente em relação à demanda química de oxigênio e aos sólidos voláteis.

Medir a temperatura da biomassa do biodigestor e analisar a sua influência na produção do biogás.

Avaliar o tipo de alimentação dos animais e verificar a sua interferência na composição do biogás.

Caracterizar diferentes tipos de manejo dos dejetos e sua influência na composição e produção de biogás.

Realizar um inventário da produção e composição do biogás proveniente dos efluentes gerados na suinocultura.

Valorizar a produção de biogás como alternativa energética e como energia renovável, divulgando a sua importância e seus benefícios junto aos suinocultores, e ao mercado em geral, e às indústrias de equipamentos, em particular, de modo a entenderem a importância da fabricação de equipamentos de medição de biogás precisos e de baixo custo.

Realizar um balanço econômico da produção de energia, através do biogás, com avaliação do tempo de retorno do investimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. G. C. M. **Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processo anaeróbio – operação e avaliação de diversos reatores em escala real.** 2007. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ACCS. Associação Catarinense de Criadores de Suínos. Histórico da Suinocultura. 2006. Disponível em: <http://www.accs.org.br>. Acesso em: 29/01/2007.

AISSE, M. M; OBLADEN, N. L. **Tratamento de esgotos por biodigestão anaeróbia.** Curitiba. CNPq/ITAH. 1981. 99 f.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20<sup>th</sup> ed. Washington: APHA, 1998.

ATLAS, R. M. & BARTHA, R. **Microbial ecology fundamentals and applications.** 2<sup>nd</sup> ed., California, The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1987. 252p.

BELLI F<sup>o</sup>, P. **Stockage e odeurs des dejections animales, cas du lisier de porc.** 1995. 250 f. Tese de doutorado. Université de Rennes, France, 1995.

BRAÇO DO NORTE. **Dados de localização e metereológicos.** Disponível em: [www.bracodonorte.sc.gov.br](http://www.bracodonorte.sc.gov.br). Acesso em: 22/08/2008.

Cadernos NAE / **Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República** – nº 3, (fev. 2005). – Brasília, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005.

CAMPOS, C. M. M.; BOTELHO, C. M.; DAMASCENO, L. H. S.; MOCHIZUKI, E. T. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manata de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 848-856, 2005 (2002). Disponível em: [http://www.editora.ufla.br/revista/29\\_4/art18.pdf](http://www.editora.ufla.br/revista/29_4/art18.pdf). Acesso em: 11/04/2008.

CAMPOS NOVOS. **Histórico do Município de Campos Novos.** Disponível em: <http://www.amplasc.org.br>. Acesso em: 22/08/2008.

CARMO JR., G. N. R. **Aplicabilidade do reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) para o tratamento de resíduos líquidos da suinocultura.** 1998, 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

CAZARRÉ, M. **Otimização de lagoas anaeróbias para o tratamento de dejetos de suínos.** 2001, 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

CENTRO PARA A CONVERSÃO DE ENERGIA. **Guia técnico de biogás.** Amadora, Portugal: AGEEN – Agência para a Energia, 2000. 117p.

CHAE, K. J.; JANG, A.; YIM, S. K.; KIM, I. S.; The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogás yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. **Bioresource Technology**, v.99, p.001-006, 2008.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFMG. Vol.5. Belo Horizonte – MG, 1997. 246p.

DALAVÉQUIA, M. A. **Avaliação de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos de suínos.** 2000, 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.C.J.P; ROSSI, M.; TAVARES, R. **Biodigestores Rurais: Modelos Indiano, Chinês e Batelada.** Trabalho apresentado no AGRENER 2002. Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru, São Paulo, 2002.

DESSUTTER, T. M.; HAM, J. M. Lagoon-Biogas Emissions and Carbon Balance Estimates of a Swine Production Facility. **Journal of Environmental Quality**, v.34, p. 198-206, 2005.

EMBRAPA. Sistemas de tratamento de dejetos de suínos – Inventário Tecnológico. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/relacao.html>. Acesso em: 11/08/2008.

EPA, U.S. Environmental Protection Agency, **Swine Waste Electric Power and Heat Production Systems: Capstone MicroTurbine and Martin Machinery Internal Combustion Engine.** SRI/USEPA-GHG-QAP-22. November 2002.

FENG, C.; SHIMADA, S.; ZHANG, Z.; MAEKAWA, T. A pilot plant two-phase anaerobic digestion system for bioenergy recovery from swine wastes and garbage. **Waste Management**, 2007.

FERNANDES, G. F. R.; OLIVEIRA, R. A. de. Desempenho de processo anaeróbio em dois estágios (reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, 2006 .

Equipe de reportagem. Protocolo de Kyoto completa um ano, enfraquecido e sem os EUA. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 16 fevereiro 2006, nº 92526. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u14281.shtml>. Acesso em: 20/05/2007.

GONÇALVES, R. G.; PALMEIRA, E. M. **Suinocultura Brasileira**. Observatorio de la Economía Latinoamericana, Número 71, 2006. Disponível em: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/>. Acesso em: 15/02/2007.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR**. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GOSMANN, H. A. **Estudos Comparativos com Bioesterqueira e Esterqueira para o Armazenamento e Valorização dos Dejetos de Suínos**. 1997. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

HANSEN, K. H.; ANGELIDAKI, I.; AHRING, B. K. Anaerobic Digestion of Swine Manure: Inhibition by Ammonia. **Water Research**, v. 32, nº q, p. 5-12, 1998.

HENN, A. **Comportamento de partida e evolução de um sistema de tratamento e armazenamento de dejetos suínos em uma pequena propriedade rural no município de Braço do Norte/SC**. 2005. 157 f. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal, 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 21/11/2007.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário, 2006**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 25/11/2007.

Instituto CEPA/SC. **Levantamento Agropecuário Catarinense - LAC**. Florianópolis – SC, 2005, 256 p. Disponível em: <http://cepa.epagri.sc.gov.br/>. Acesso em: 03/07/2008.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2007. Fourth assessment report: Climate change 2007. Synthesis Report. **Cambridge University Press**. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>. Acesso em: 13/06/2008.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2001. Third assessment report: Climate change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. **Cambridge University Press**. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>. Acesso em: 21/03/2007.

KONZEN, E. A. **Avaliação quantitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejos em forma líquida**. 1980. 111 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1980.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1983. 32p. (EMBRAPA - CNPSA. Circular Técnica, 6).

KONZEN, E. A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. 2003. V Seminário Técnico da Cultura de Milho. Videira, SC. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/destaques/dejetos/dejetos.pdf>. Acesso em: 15/02/2007

LA FARGE, B. de. **Le biogaz: procedes de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1995. 273 p.

LUCAS JR., J. **Manejo de dejetos em suinocultura: biodigestores**. Palestra. Disponível em: [http://www.acrismat.com.br/arquivos\\_pesquisas/Manejo%20de%20Dejetos%20em%20Suinocultura%20Biodigestores%20-%20Jorge%20de%20Lucas%20Junior.pdf](http://www.acrismat.com.br/arquivos_pesquisas/Manejo%20de%20Dejetos%20em%20Suinocultura%20Biodigestores%20-%20Jorge%20de%20Lucas%20Junior.pdf). Acesso em: 28/07/2008.

Mapa interativo de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.mapainterativo.ciasc.gov.br/>. Acesso em: 27/07/2008.

MAGBANUA JUNIOR, B. S.; ADAMS, T. T.; JOHNSTON, P. Anaerobic codigestion of hog and poultry waste. **Bioresource Technology**, v. 76, p. 165-168, 2001.

MALINA Jr., J.F.; POHLAND, F.G. **Design of Anaerobic Processes for the treatment of industrial and Municipal Wastes**, Techtronic Publishing Inc. USA. Vol. 7, 214 p, 1992.

MASSÉ, D. I.; MASSE, L.; CROTEAU, F. The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure. **Bioresource Technology**, v. 89, p. 57-62, 2003.

MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos**. 1997. 206 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 4ª Edição, 2003. Editora McGraw – Hill.

Ministério da Ciência e Tecnologia – Mudanças Climáticas. Disponível em: <http://www.mct.gov.br>. Acesso em: 20/05/2007.

MIRANDA, C. R. **Avaliação de estratégias para a sustentabilidade da suinocultura em Santa Catarina**. 2005. 264 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MØLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. Methane productivity of manure, straw and fractions of manure. **Biomass and Bioenergy**, v. 26, p. 285-495, 2004.

MONTEIRO, L. W. S. **Análise do monitoramento e operação de dois sistemas de armazenamento de dejetos suínos em uma pequena propriedade**. 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

NAGAE, R.; DAMASCENO, S.; RICHARD, A. **Caracterização do dejetos de suínos em crescimento e terminação criados no sistema de lâmina d'água submetido a dois manejos de higienização**. 2005. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

OGLIARI, P. J.; PACHECO, J. A. **Análise estatística usando o STATISTICA® 6.0**. Apostila de aula. Florianópolis, SC. 131 p. 2004.

OLIVEIRA, P. A. V. et al. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 1993, 188p.

OLIVEIRA, P. A. V. **A escolha do sistema para o manejo dos dejetos de suínos uma difícil decisão**, Concórdia, 2000. Disponível em:  
[http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod\\_artigo=160](http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod_artigo=160). Acesso em: 25/10/2008.

OLIVEIRA, P. A. V. **Produção e manejo de dejetos de suínos**. Concórdia: PNMA II – Programa Nacional do Meio Ambiente, 2002, Documento Técnico n. 8, p. 79 – 90

OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. PNMA II – Programa Nacional do Meio Ambiente, 2004, 119p.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização do biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006, 41p. Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II; Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina.

OLIVEIRA, R. A. de; FORESTI, E. Balanço de massa de reatores anaerobicos de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tratando aguas residuarias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, 2001/4. Disponível em:  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162004000300035&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162004000300035&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 08/02/2007. Pré-publicação.

PAGILLA, K. R.; KIM, H.; CHEUNBARN, T. Aerobic thermophilic and anaerobic mesophilic treatment of swine waste. **Water Research**, v. 34, nº. 10, p. 2747-2753, 2000.

PALLONE, S. Atividades humanas promovem aumento do efeito estufa. Mudanças Climáticas. 2002. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima07.htm>. Acesso em: 11/03/2007.

PERDOMO, C. C.; COSTA, R. R.; MEDRI, V; MIRANDA, C. R. **Dimensionamento de sistema de tratamento e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA. Suínos e Aves, 1999. 5p. (EMBRAPA - Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 234).

PINTO, R. O. **Avaliação da digestão anaeróbia na bioestabilização de resíduos orgânicos, lodos de tanques sépticos, dejetos suínos e lixiviado**. 2006. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PORTAL CONCÓRDIA. **Clima**. Disponível em: <http://www.portalconcordia.com.br>. Acesso em: 22/08/2008.

SANCHEZ, E.; BORJA, R.; TRAVIESO, L.; MARTIN, A.; COLMENAREJO, M. F. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. **Bioresource Technology**, v.96, p.335-344, 2005.

SANTANA, A. M.; OLIVEIRA, R. A. de. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.817-830, set./dez. 2005.

SCHOENHALS, M.; FRARE, L. M.; SARMENTO, L. A. V. Análise do desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo no tratamento de efluentes da suinocultura. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.4, n.1, p.005-023, jan./jun. 2007.

SERAFIM, R. S.; LUCAS JÚNIOR, J. **Fósforo e Nitrogênio nos dejetos de suínos produzidos sob diferentes sistemas de higienização das baias**, In: XI Congresso Brasileiro de Veterinários Especialistas em Suínos, Goiânia, 2003, Anais do Evento.

SINOTTI, A. P. S. **Avaliação do volume de dejetos e da carga poluentes produzidos por suíno nas diferentes fases do ciclo criatório**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em agroecossistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SILVA, F. C. M. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada**. 1996. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

SOUZA, P. F. M.; **Metodologias de monitoramento de projetos de MDL: uma análise estrutural e funcional**. 2005. 116 f. Dissertação (mestrado em Planejamento energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/pfernandez.pdf>. Acesso em: 04/03/2007.

SOUZA, C. F.; LUCAS JUNIOR, J.; FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – considerações sobre a partida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.530-539, maio/ago. 2005.

VIANA, G. F. Dejetos de animais garantem mais renda e sustentabilidade no campo. **Portal do agronegócio**. 2006. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=23267>. Acesso em: 03/05/2007.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande – PB, 1994. Ed. epgraf.  
VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFMG. Belo Horizonte – MG, 1996, v.3, 140p.

ZAGO, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do Meio Oeste Catarinense**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003.

## APÊNDICES

## Apêndice A - Questionário Para as Propriedades Produtoras de Suínos no Estado de Santa Catarina

### I Informações Preliminares

Data Entrevista:	...../...../.....
Nome da Propriedade:	
Telefone:	
Localização da Propriedade:	
Localização GPS:	

Nome do Produtor:
-------------------

Quantidade de pessoas que trabalham na Propriedade Rural:
---

#### Caracterização da propriedade e ocupação do solo

Disponibilidade de terra	Área (ha)
Terras Próprias	
Arrendadas de terceiro	
Arrendada para terceiros	
Parceria com terceiros	
Total	

Área total da propriedade:	ha
Área Construída:	m <sup>2</sup>
Área mecanizável:	ha

#### Utilização dos solos:

Especificações	Área (ha)	Produção Estimada (kg)
Milho		
Feijão		
Arroz		
Pastagem de Inverno		
Potreiro		
Reserva nativa		
Reflorestamento		
Capoeira		
Outros		

### II Dados Gerais Sobre a Atividade Suínica

01. Produtor integrado:

( ) Não      ( ) Sim      Qual a empresa? .....

02. Qual o sistema de produção.

- ( ) CC - Ciclo completo                      ( ) UPL - Produtor de leitões  
 ( ) CT - Crescimento + Terminação      ( ) CH - Crecheiro

03. N° de suínos na propriedade por fase de criação:

<b>Animais</b>	<b>Alojado/Atual</b>	<b>Capacidade das instalações</b>
Matrizes		
Reprodutores		
Leitões creche		
Leitões em crescimento		
Leitões em terminação		
Total		

**Descrição das instalações e forma de distribuição:**

04. Quanto ao material utilizado.

- ( ) Estrutura metálica   ( ) Madeira   ( ) Alvenaria   ( ) Misto (madeira e alvenaria)   ( )  
 outra

05. Forma de manejo de dejetos nas instalações.

<b>Sistema</b>	<b>Maternidade</b>	<b>Creche</b>	<b>Crescimento</b>	<b>Terminação</b>
Canaletas interna				
Canaletas externa				
Piso ripado				
Lamina de água				
Raspagem a seco				
Raspagem com água				
Outra				

06. Local onde armazena os dejetos.

<b>Tipo</b>	<b>Ano Construção</b>	<b>Conservação</b>	<b>Uso</b>
Canaleta externa			
Esterqueira			
Biodigestor			
Lagoa			

07. Caracterização do sistema de armazenamento dos dejetos (lagoa / esterqueira)

Tipo			
Estrutura			
Forma			

Compr. (m)			
Larg. (m)			
H (m)			
V. útil (m <sup>3</sup> )			
TDH (d)			
Revestimento			
Cobertura e sua cor			

## 08. Caracterização do biodigestor:

Tipo		
Estrutura		
Forma		
Compr. (m)		
Larg. (m)		
H (m)		
V. útil (m <sup>3</sup> )		
TDH (d)		
Revestimento		
Cobertura e sua cor		
Caixa equalização (m <sup>3</sup> )		
Prod. Biogás (m <sup>3</sup> )		
Uso de Biogás		
Tubulação do biogás (Ø, mm)		

09. Frequência que esvazia o reservatório de dejetos .....

10. Formas de limpeza das instalações.

 água/mangueira     água/lava jato     a seco e lava na saída dos lotes     outra

11. Destino dado aos dejetos.

 lavoura     Pastagem     Cede a terceiros     Vende     Não aproveitados

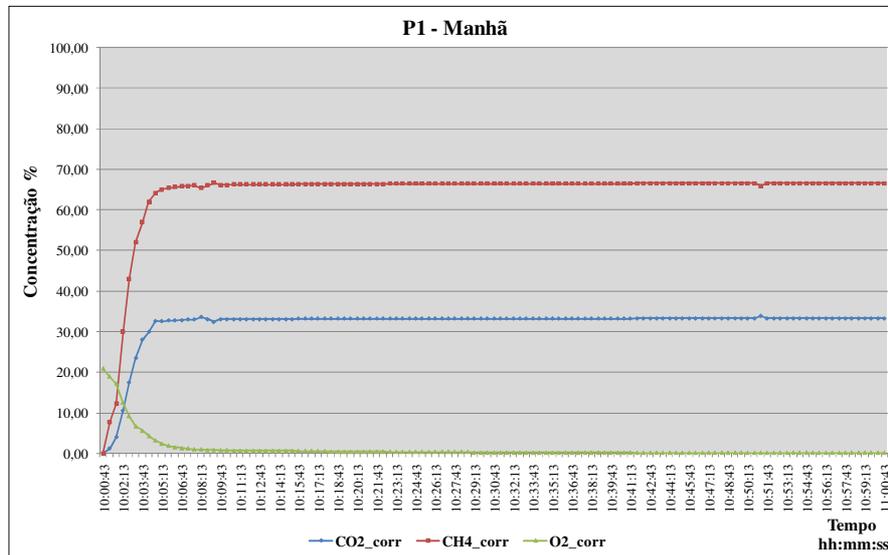
 Outros \_\_\_\_\_
12. Quantidade aplicada por hectare .....m<sup>3</sup>

13. Tipo de distribuidora usado:

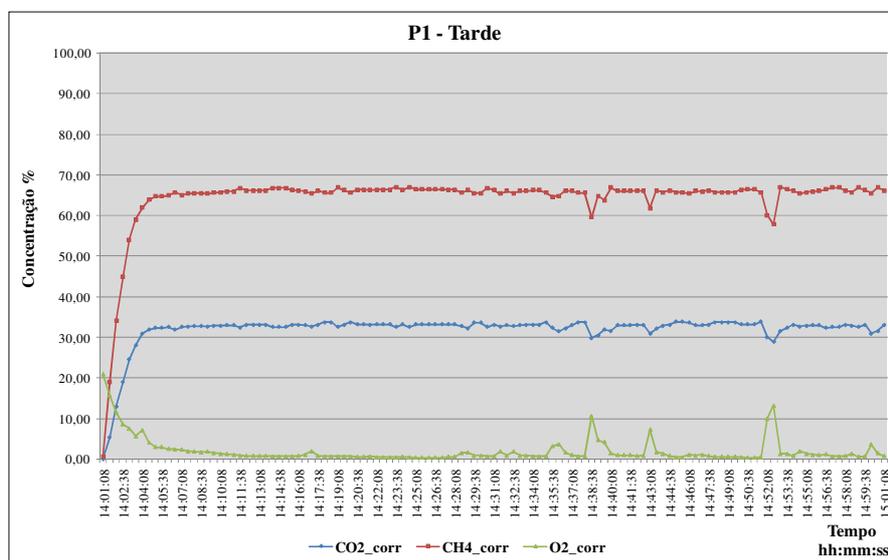
 Tanque: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>
 Camião: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>
 Aspensor: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/h

14. Há quanto tempo vem aplicando o dejetos:.....

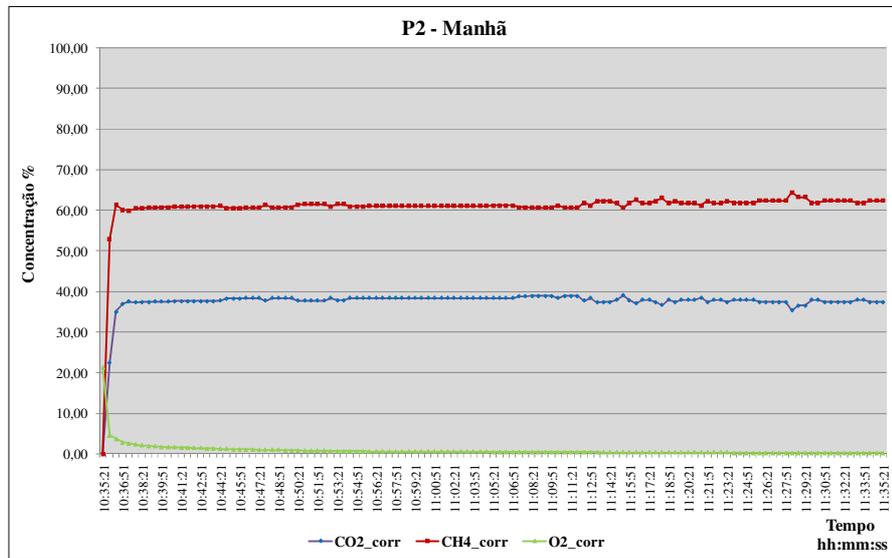
## APÊNDICE B – Medição da composição do biogás



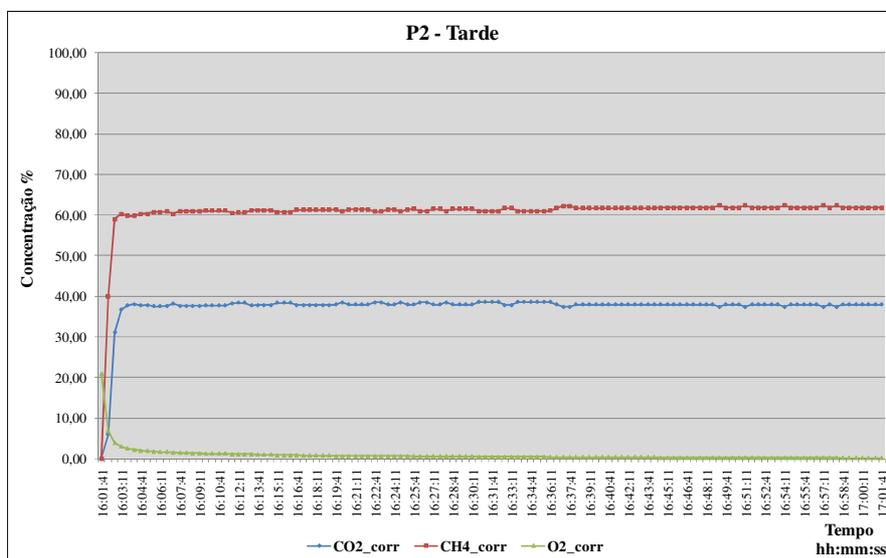
**Figura B1** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P1, no período da manhã.



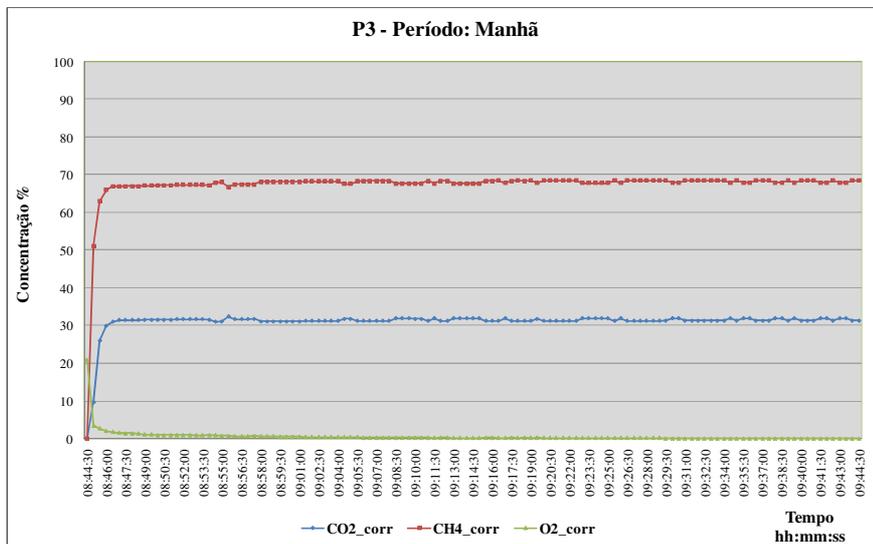
**Figura B2** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P1, no período da tarde.



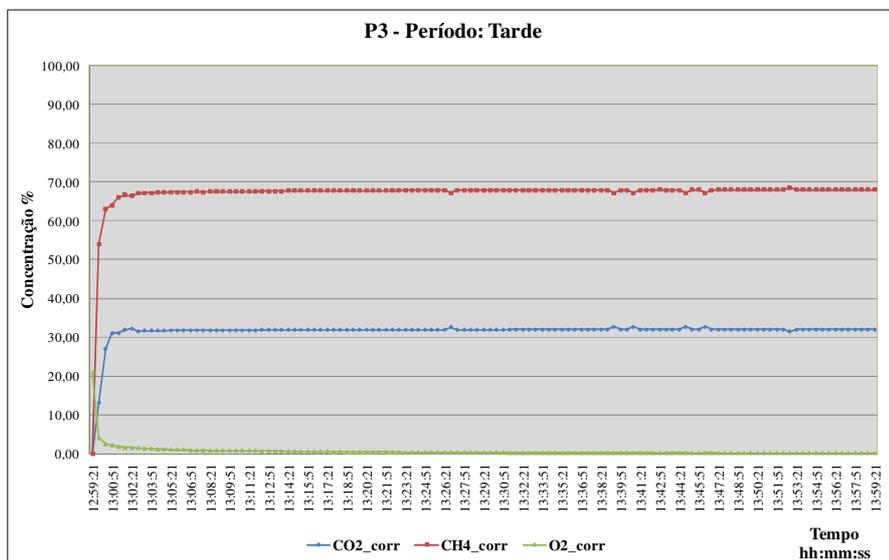
**Figura B3** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P2, no período da manhã.



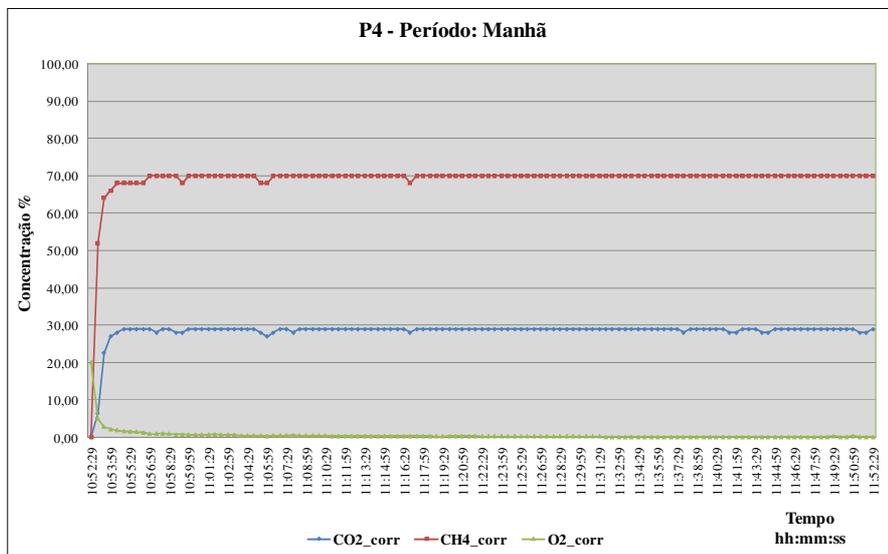
**Figura B4** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P2, no período da tarde.



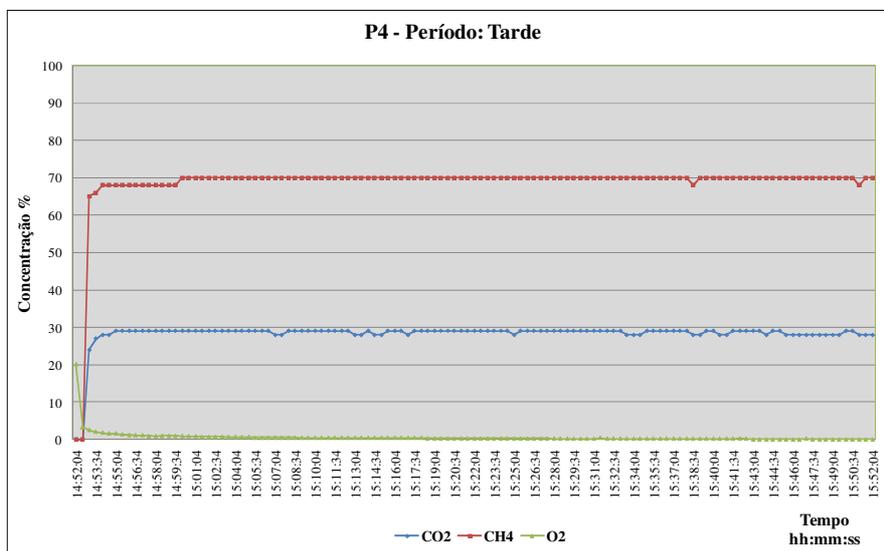
**Figura B5** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P3, no período da manhã.



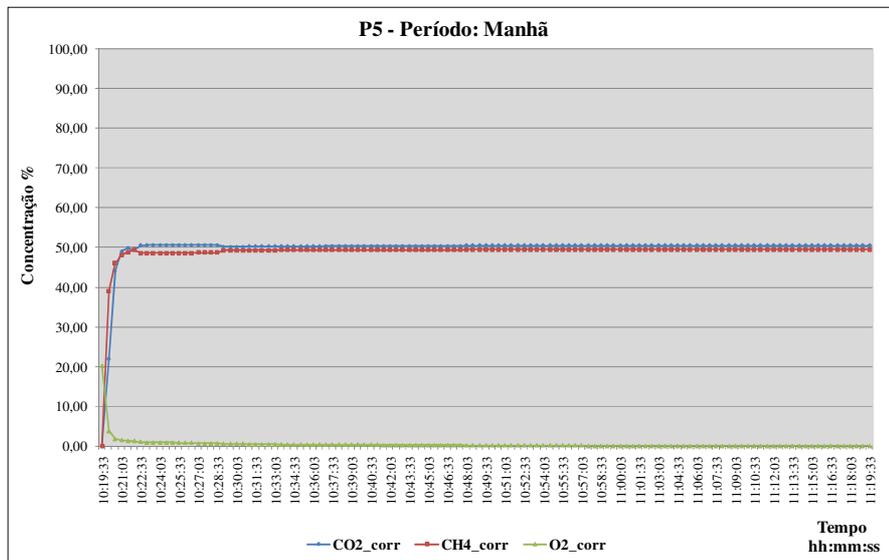
**Figura B6** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P3, no período da tarde.



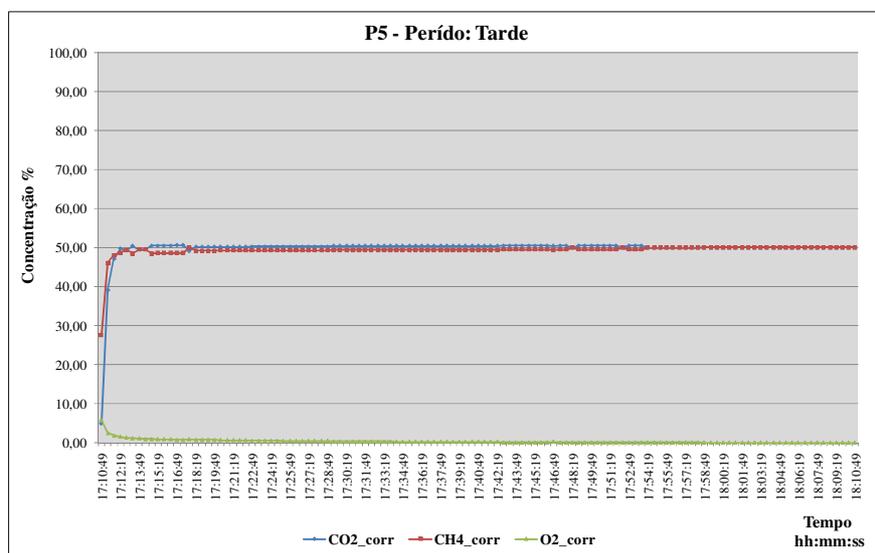
**Figura B7** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P4, no período da manhã.



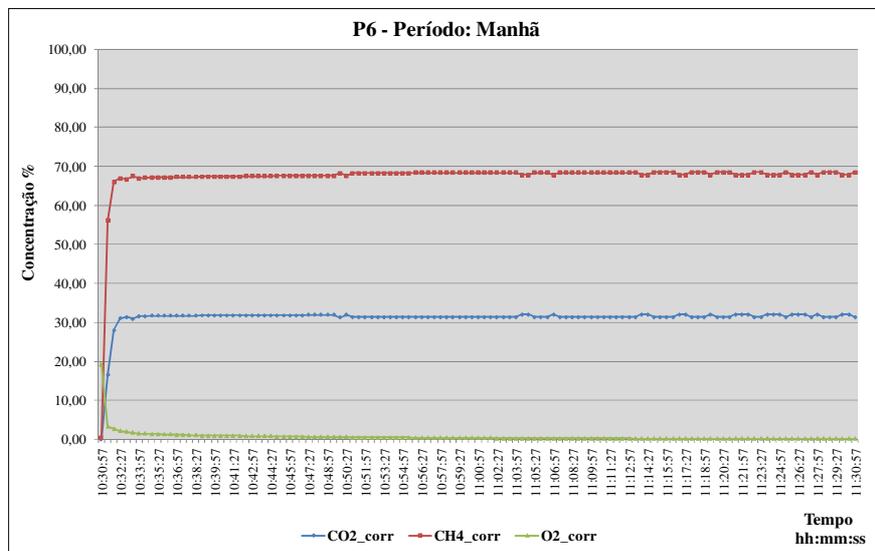
**Figura B8** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P4, no período da tarde.



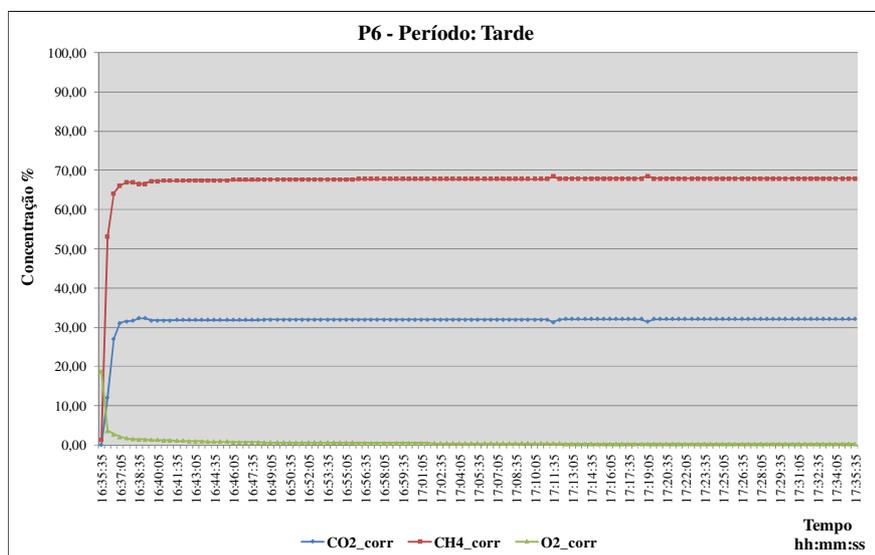
**Figura B9** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P5, no período da manhã.



**Figura B10** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P5, no período da tarde.



**Figura B11** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P6, no período da manhã.



**Figura B12** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P6, no período da tarde.

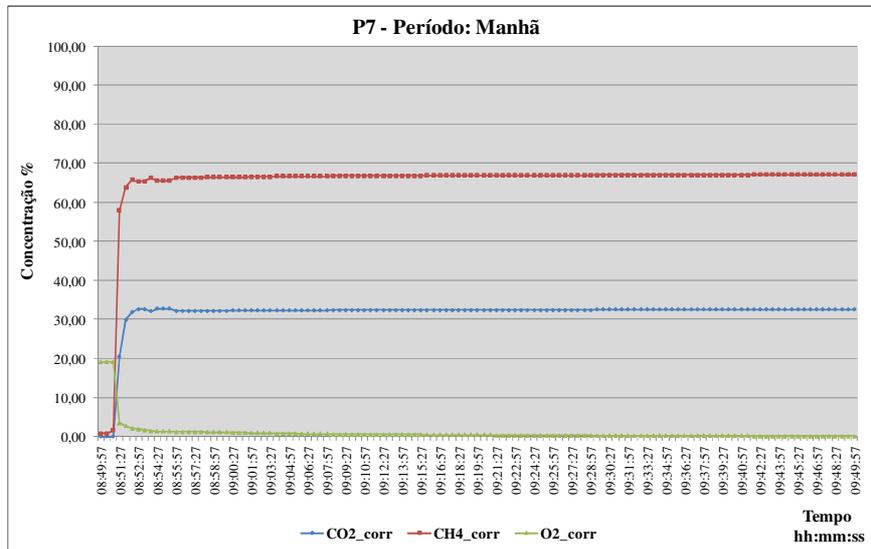


Figura B13 – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P7, no período da manhã.

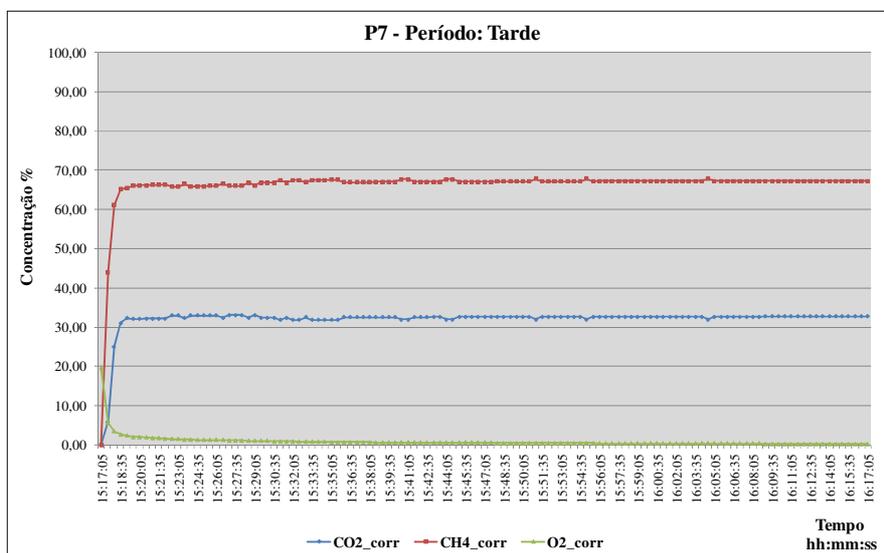


Figura B14 – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P7, no período da tarde.

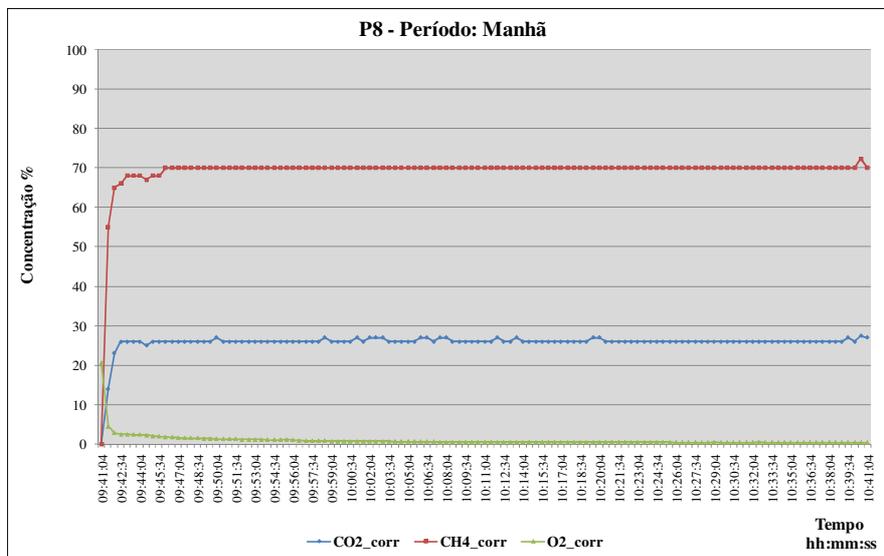


Figura B15 – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P8, no período da manhã.

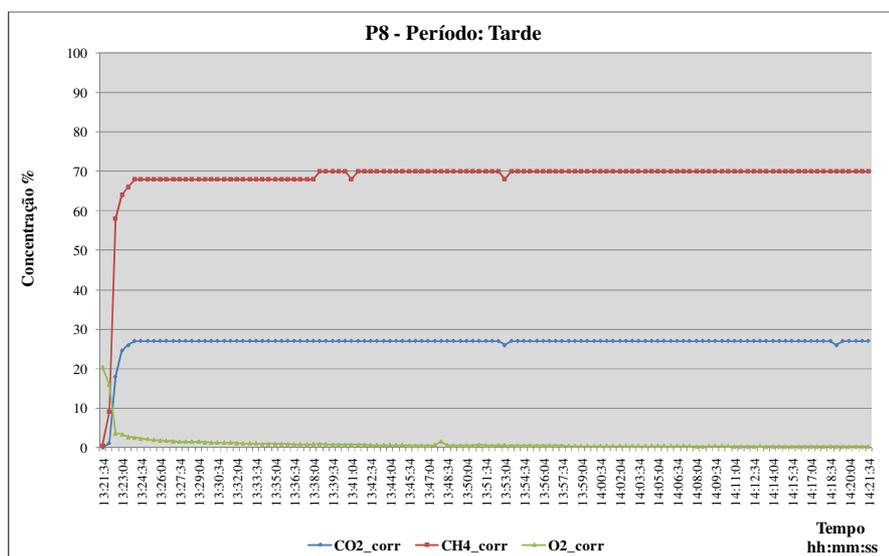
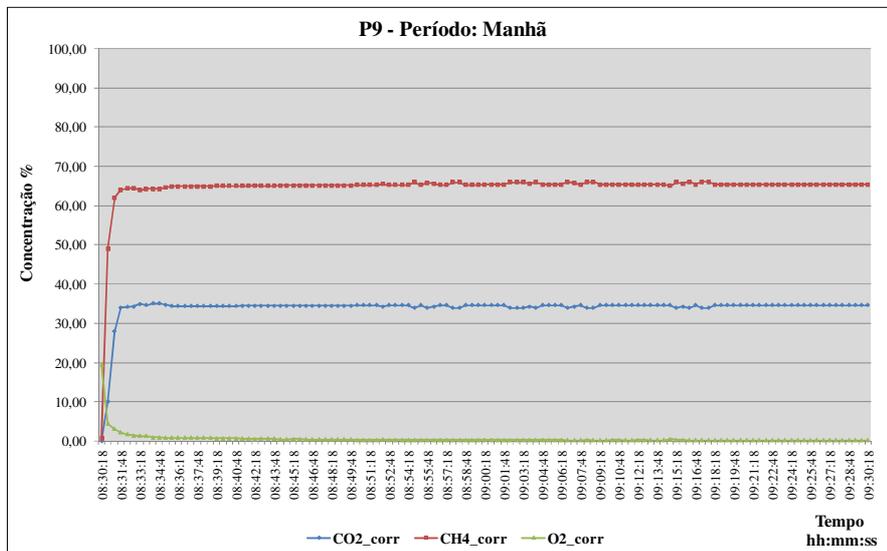
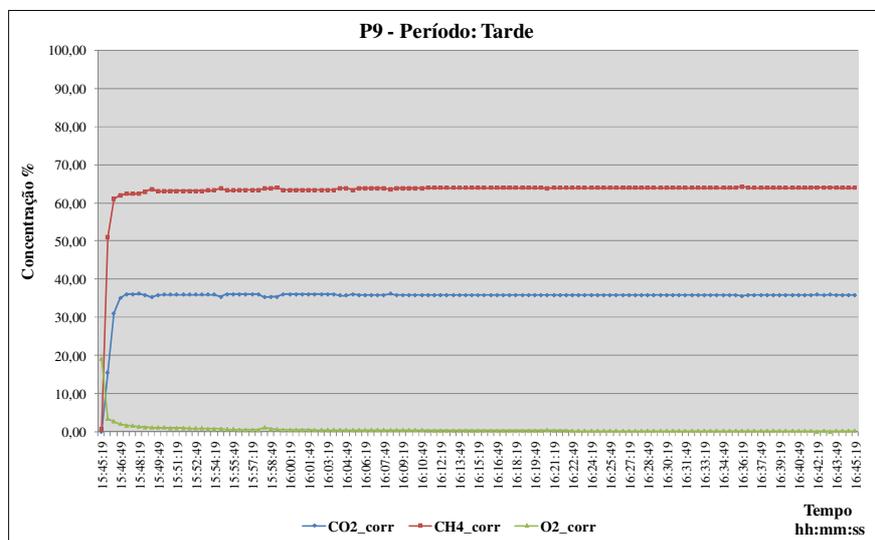


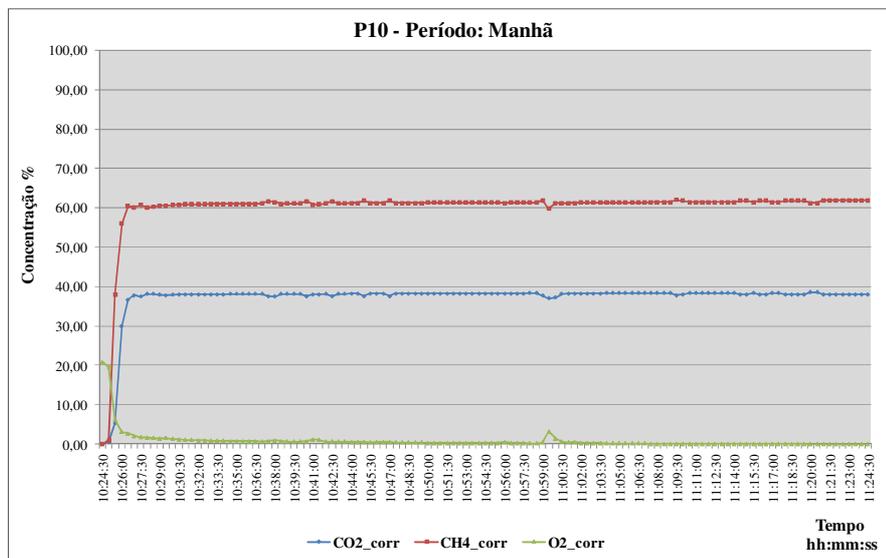
Figura B16 – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P8, no período da tarde.



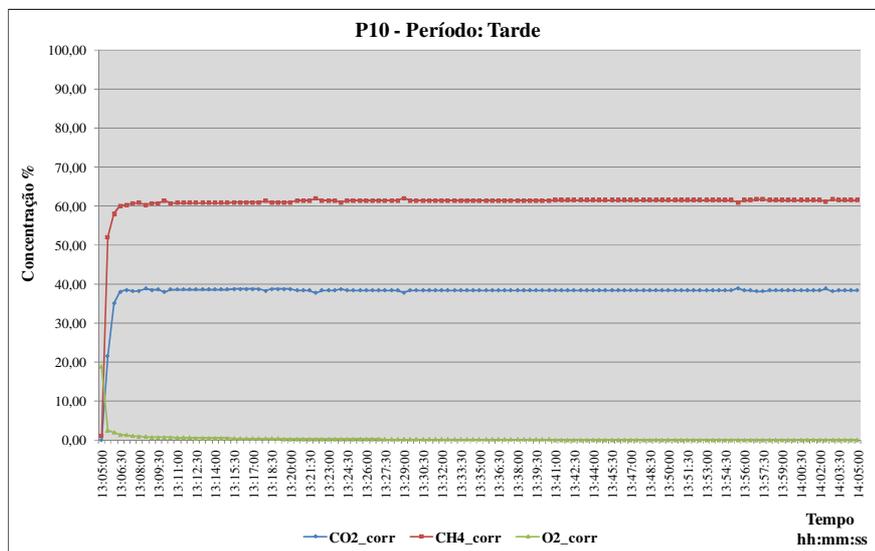
**Figura B17** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P9, no período da manhã.



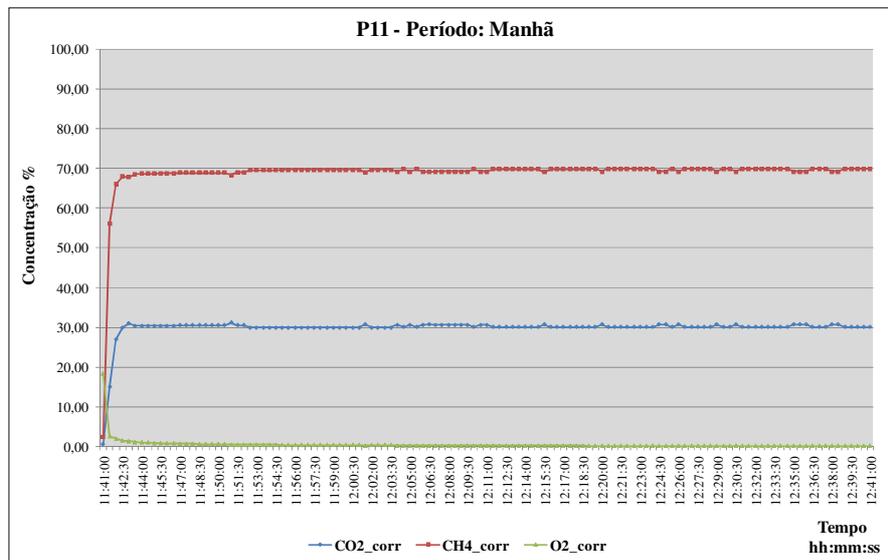
**Figura B18** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P9, no período da tarde.



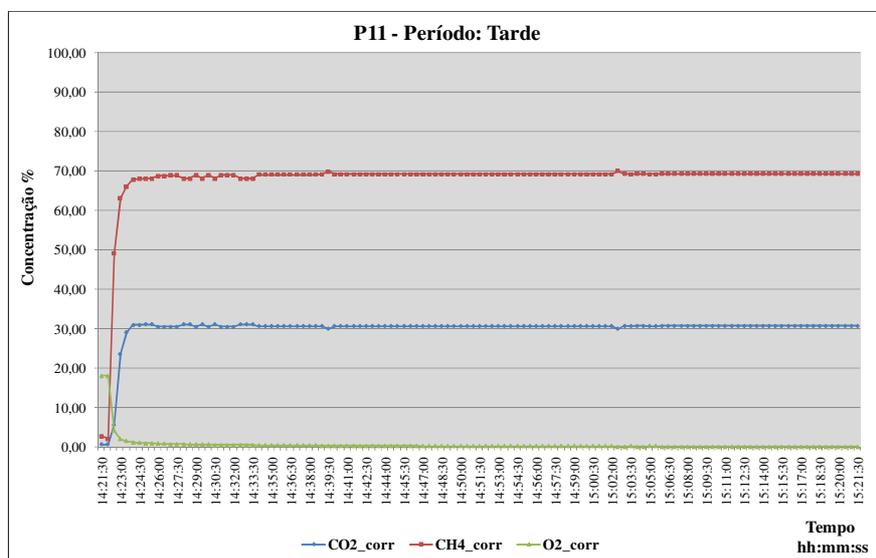
**Figura B19** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P10, no período da manhã.



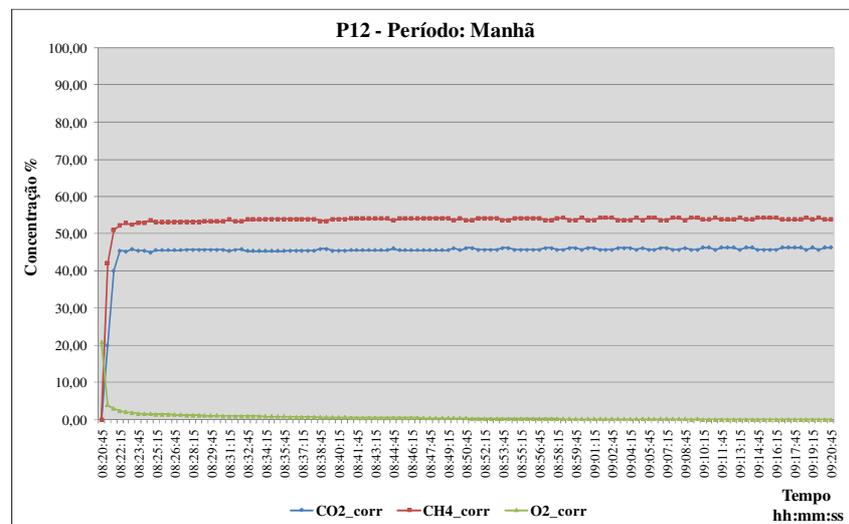
**Figura B20** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P10, no período da tarde.



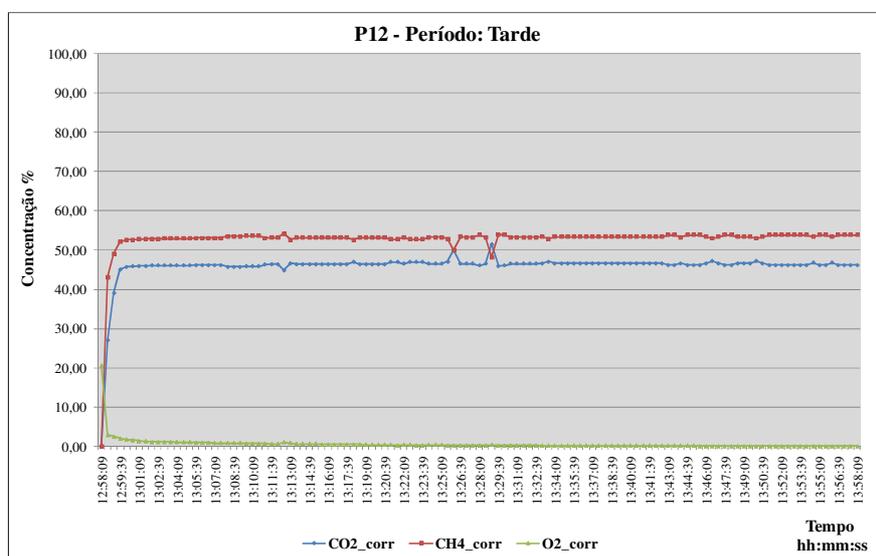
**Figura B21** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P11, no período da manhã.



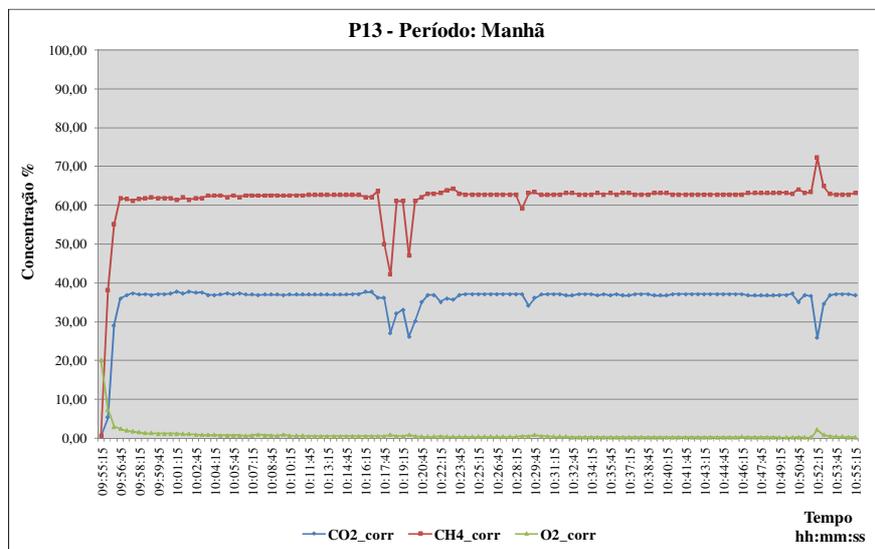
**Figura B22** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P11, no período da tarde.



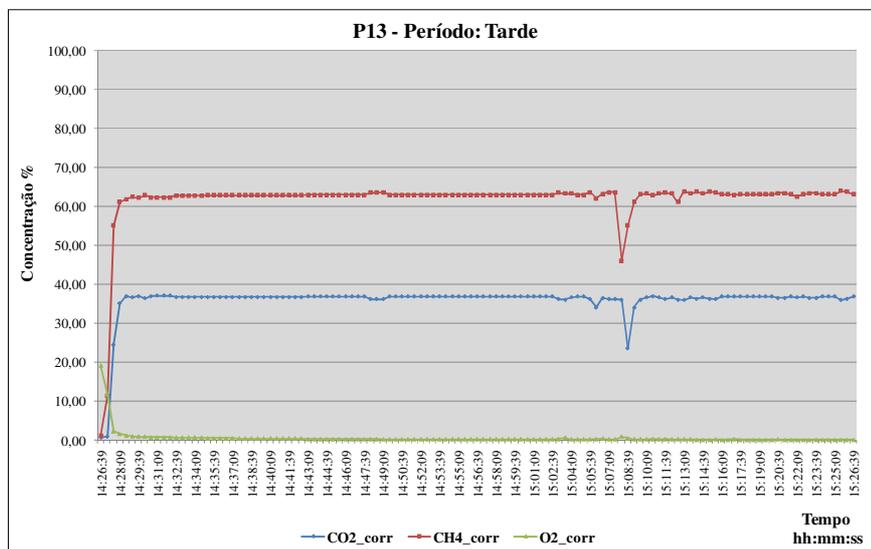
**Figura B23** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P12, no período da manhã.



**Figura B24** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P12, no período da tarde.



**Figura B25** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P13, no período da manhã.



**Figura B26** – Concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (%) na propriedade P13, no período da tarde.

### APÊNDICE C - Parâmetros de campo

**Tabela C1.** Temperatura ambiente, temperatura do afluente e efluente nos biodigestores estudados.

	Propriedade		Temperatura ambiente (°C)	Temperatura (°C)	
				Afluente	Efluente
Verão	CC	P1	23,5	24,7	24,3
		P2	25,8	24,3	24,7
	UPL	P3	30,7	24,4	24,4
		P4	29,1	25,1	26,4
		P5	30,2	27,3	25,9
		P6	22,0	21,7	22,0
		P7	24,0	23,8	22,9
		P8	28,1	27,3	25,6
	CT	P9	27,3	27,1	26,4
		P10	27,3	23,8	24,1
		P11	26,5	26,8	26,3
		P12	27,0	21,8	22,3
		P13	26,6	25,5	25,2
Outono	CC	P1	22,7	19,9	21,3
	UPL	P6	22,1	18,9	18,1
	CT	P12	23,1	18,2	18,0

**Tabela C2.** pH do afluente e efluente nos biodigestores estudados.

	Propriedade		pH	
			Afluente	Efluente
Verão	CC	P1	7,20	7,30
		P2	7,00	7,36
	UPL	P3	6,46	7,53
		P4	7,88	7,51
		P5	8,01	7,24
		P6	7,47	7,41
		P7	6,49	8,21
		P8	7,43	7,09
	CT	P9	8,43	8,00
		P10	7,43	7,80
		P11	7,48	7,75
		P12	8,00	7,70
		P13	7,54	8,16
Outono	CC	P1	7,14	7,93
	UPL	P6	7,00	7,11
	CT	P12	6,82	7,81

**Tabela C3.** Potencial redox do afluente e efluente nos biodigestores estudados.

	Propriedade	Potencial Redox (mV)		
		Afluente	Efluente	
Verão	CC	P1	-339	-346
		P2	-394	-373
	UPL	P3	-342	-414
		P4	-376	-387
		P5	-207	-362
		P6	-309	-308
		P7	-306	-71
		P8	-334	-320
		P9	-451	-384
	CT	P10	-379	-400
		P11	-388	-390
		P12	-317	-387
		P13	-402	-377
Outono	CC	P1	-351	-239
	UPL	P6	-340	-332
	CT	P12	-376	-395

### APÊNDICE D - Parâmetros de laboratório

**Tabela D1.** Sólidos totais (ST) do afluente e efluente nos biodigestores estudados e respectiva eficiência de remoção.

	Propriedade	ST (g/Kg)			
		Afluente	Efluente	%	
Verão	CC	P1	60,27	2,11	96,5
		P2	16,83	2,51	85,1
	UPL	P3	22,17	5,89	73,4
		P4	4,09	5,80	-
		P5	20,60	12,59	38,9
		P6	13,08	3,12	76,1
		P7	36,55	3,10	91,5
		P8	2,45	1,11	54,8
	CT	P9	19,38	9,77	49,6
		P10	-	11,25	-
		P11	54,95	11,54	79,0
		P12	152,18	46,00	69,8
		P13	18,41	8,30	54,9
Outono	CC	P1'	135,97	3,65	97,3
	UPL	P6'	4,92	3,42	30,5
	CT	P12'	26,74	16,37	38,8
		<b>Média Verão</b>	35,1	9,5	70,0
		<b>Média Outono</b>	55,9	7,8	55,5

**Tabela D2.** Sólidos voláteis (SV) do afluente e efluente nos biodigestores estudados e respectiva eficiência de remoção.

	Propriedade	SV (g/Kg)			
		Afluente	Efluente	%	
Verão	CC	P1	41,01	0,76	98,1
		P2	12,50	0,95	92,4
	UPL	P3	15,29	2,30	85,0
		P4	2,27	2,48	-
		P5	13,03	7,54	42,1
		P6	7,89	1,20	84,8
		P7	24,54	1,07	95,6
		P8	1,37	0,35	74,4
	CT	P9	13,18	4,12	68,7
		P10	-	3,89	-
		P11	35,30	3,74	89,4
		P12	116,66	29,92	74,4
		P13	11,34	2,42	78,7
Outono	CC	P1'	106,03	0,98	99,1
	UPL	P6'	2,03	0,97	52,2
	CT	P12'	17,28	7,63	55,8
		<b>Média Verão</b>	24,5	4,7	80,3
		<b>Média Outono</b>	41,8	3,2	69,0

**Tabela D3.** Demanda química de oxigênio do afluente e efluente nos biodigestores estudados e respectiva eficiência de remoção.

	Propriedade	DQO (g/Kg)			
		Afluente	Efluente	%	
Verão	CC	P1	112,46	3,05	97,29
		P2	50,82	3,41	93,30
	UPL	P3	29,25	2,48	91,52
		P4	7,59	4,37	42,41
		P5	22,76	25,14	-
		P6	9,50	11,51	-
		P7	65,74	2,96	95,49
		P8	9,12	1,86	79,65
		P9	23,28	10,01	57,01
	CT	P10	-	23,66	-
		P11	51,97	9,82	81,10
		P12	92,91	64,08	31,04
		P13	26,55	3,81	85,64
Outono	CC	P1'	98,97	1,74	98,24
	UPL	P6'	5,31	5,32	-
	CT	P12'	50,97	21,64	57,55
Média Verão			41,8	12,8	75,4
Média Outono			51,7	9,6	77,9

### APÊNDICE E – Análise Descritiva

**Tabela E1.** Análise descritiva da concentração de CH<sub>4</sub> no período da manhã.

Propriedade		Total de nº válidos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	
Verão	CC	P1	116	71,74	72	68	72	0,59	0,77
		P2	116	69,93	70	68	80	2,92	1,71
	UPL	P3	116	69,62	70	68	70	0,62	0,79
		P4	116	69,86	70	68	70	0,26	0,51
		P5	116	50,88	51	50	51	0,11	0,33
		P6	116	71,41	72	70	72	0,84	0,91
		P7	116	69,86	70	66	70	0,33	0,57
		P8	116	69,94	70	67	74	0,35	0,59
	CT	P9	116	67,72	68	62	68	0,67	0,82
		P10	116	64,11	64	62	65	0,22	0,47
		P11	116	71,50	72	70	72	0,76	0,87
		P12	116	56,84	57	55	57	0,16	0,39
		P13	116	65,03	66	42	67	12,16	3,49
Outono	CC	P1'	116	74,02	74	72	76	0,24	0,49
	UPL	P6'	116	75,88	76	74	76	0,23	0,48
	CT	P12'	116	62,71	63	61	63	0,24	0,49

**Tabela E2.** Análise descritiva da concentração de CH<sub>4</sub> no período da tarde.

Propriedade		Total de nº válidos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	
Verão	CC	P1	116	71,90	72	70	72	0,20	0,44
		P2	116	68,88	68	66	70	1,12	1,06
	UPL	P3	116	67,99	68	66	70	0,08	0,28
		P4	116	69,78	70	68	70	0,40	0,63
		P5	116	51,23	51	50	52	0,34	0,58
		P6	116	69,91	70	68	70	0,17	0,41
		P7	116	69,59	70	68	70	0,66	0,81
		P8	116	69,47	70	68	70	0,79	0,89
	CT	P9	116	65,67	66	64	66	0,26	0,51
		P10	116	63,69	64	61	64	0,32	0,57
		P11	116	69,81	70	68	70	0,35	0,59
		P12	116	54,86	55	44	56	1,81	1,34
		P13	116	64,49	65	46	66	4,41	2,10
Outono	CC	P1'	116	73,97	74	72	74	0,07	0,26
	UPL	P6'	116	73,69	74	72	74	0,53	0,73
	CT	P12'	116	61,69	62	60	63	0,41	0,64

Tabela E3. Análise descritiva da concentração de CH<sub>4</sub> nos dois períodos.

Propriedade		Total de n° válidos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	
Verão	CC	P1	232	71,82	72	68	72	0,40	0,63
		P2	232	69,41	70	66	80	2,29	1,51
	UPL	P3	232	68,81	68	66	70	1,01	1,01
		P4	232	69,82	70	68	70	0,33	0,58
		P5	232	51,06	51	50	52	0,25	0,50
		P6	232	70,66	70	68	72	1,06	1,03
		P7	232	69,72	70	66	70	0,51	0,72
		P8	232	69,70	70	67	74	0,63	0,79
	CT	P9	232	66,69	66	62	68	1,51	1,23
		P10	232	63,90	64	61	65	0,31	0,56
		P11	232	70,66	70	68	72	1,27	1,13
		P12	232	55,85	56	44	57	1,96	1,40
		P13	232	64,76	65	42	67	8,32	2,88
Outono	CC	P1'	232	73,99	74	72	76	0,16	0,39
	UPL	P6'	232	74,78	74	72	76	1,58	1,26
	CT	P12'	232	62,20	62	60	63	0,58	0,76

Tabela E4. Análise descritiva da concentração de CO<sub>2</sub> no período da manhã.

Propriedade		Total de n° válidos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	
Verão	CC	P1	116	35,02	35	34	36	0,03	0,19
		P2	116	43,22	43	42	46	1,02	1,01
	UPL	P3	116	32,28	32	32	33	0,20	0,45
		P4	116	28,86	29	27	29	0,14	0,37
		P5	116	51,98	52	50	52	0,03	0,19
		P6	116	33,16	33	32	34	0,16	0,39
		P7	116	33,97	34	32	34	0,04	0,21
		P8	116	26,15	26	25	28	0,16	0,40
	CT	P9	116	35,74	36	33	36	0,30	0,55
		P10	116	39,91	40	39	41	0,11	0,34
		P11	116	31,13	31	31	32	0,11	0,34
		P12	116	48,29	48	47	49	0,23	0,48
		P13	116	38,10	39	20	40	7,80	2,79
Outono	CC	P1'	116	34,25	34	33	35	0,21	0,45
	UPL	P6'	116	32,60	33	32	33	0,24	0,49
	CT	P12'	116	44,58	45	41	46	0,39	0,62

Tabela E5. Análise descritiva da concentração de CO<sub>2</sub> no período da tarde.

Propriedade		Total de n° válidos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	
Verão	CC	P1	116	35,34	35	34	36	0,24	0,49
		P2	116	42,60	43	42	43	0,24	0,49
	UPL	P3	116	32,04	32	32	33	0,04	0,20
		P4	116	28,75	29	28	29	0,19	0,43
		P5	116	51,95	52	50	52	0,10	0,32
		P6	116	32,96	33	32	33	0,04	0,20
		P7	116	33,76	34	33	34	0,18	0,43
		P8	116	26,98	27	26	27	0,02	0,13
	CT	P9	116	36,95	37	36	37	0,05	0,22
		P10	116	39,92	40	39	40	0,07	0,27
		P11	116	30,98	31	30	31	0,02	0,13
		P12	116	47,84	48	43	49	0,57	0,76
		P13	116	37,51	38	24	38	2,27	1,51
Outono	CC	P1'	116	34,04	34	34	35	0,04	0,20
	UPL	P6'	116	31,00	31	31	31	0,00	0,00
	CT	P12'	116	43,88	44	43	44	0,11	0,33

Tabela E6. Análise descritiva da concentração de CO<sub>2</sub> nos dois períodos.

Propriedade		Total de n° válidos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	
Verão	CC	P1	232	35,18	35	34	36	0,16	0,40
		P2	232	42,91	43	42	46	0,72	0,85
	UPL	P3	232	32,16	32	32	33	0,13	0,37
		P4	232	28,81	29	27	29	0,17	0,41
		P5	232	51,97	52	50	52	0,07	0,26
		P6	232	33,06	33	32	34	0,11	0,33
		P7	232	33,87	34	32	34	0,12	0,35
		P8	232	26,56	27	25	28	0,26	0,51
	CT	P9	232	36,34	36	33	37	0,54	0,73
		P10	232	39,92	40	39	41	0,09	0,30
		P11	232	31,06	31	30	32	0,07	0,27
		P12	232	48,06	48	43	49	0,45	0,67
		P13	232	37,81	38	20	40	5,10	2,26
Outono	CC	P1'	232	34,15	34	33	35	0,13	0,37
	UPL	P6'	232	31,80	32	31	33	0,77	0,88
	CT	P12'	232	44,23	44	41	46	0,37	0,61

Tabela E7. Análise descritiva da concentração de O<sub>2</sub> no período da manhã.

	Propriedade	Total de n° válidos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	
Verão	CC	P1	116	0,97	0,75	0,30	3,40	0,40	0,63
		P2	116	0,73	0,50	0,30	2,60	0,26	0,51
	UPL	P3	116	0,41	0,30	0,10	1,70	0,13	0,37
		P4	116	0,34	0,20	0,10	1,70	0,10	0,32
		P5	116	0,23	0,10	0,00	1,20	0,08	0,29
		P6	116	0,49	0,35	0,20	1,80	0,13	0,36
		P7	116	0,61	0,45	0,20	2,20	0,18	0,43
		P8	116	0,67	0,50	0,30	2,30	0,22	0,47
		P9	116	0,33	0,20	0,10	1,40	0,08	0,28
	CT	P10	116	0,59	0,40	0,10	3,40	0,27	0,52
		P11	116	0,28	0,20	0,10	1,10	0,05	0,23
		P12	116	0,43	0,20	0,00	1,90	0,21	0,46
		P13	116	0,46	0,30	0,10	1,70	0,12	0,34
Outono	CC	P1'	116	0,86	0,80	0,50	1,90	0,13	0,35
	UPL	P6'	116	0,80	0,70	0,40	1,80	0,11	0,34
	CT	P12'	116	0,50	0,40	0,30	1,20	0,04	0,21

Tabela E8. Análise descritiva da concentração de O<sub>2</sub> no período da tarde.

	Propriedade	Total de n° válidos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	
Verão	CC	P1	116	0,75	0,50	0,20	2,90	0,34	0,58
		P2	116	0,68	0,50	0,20	2,40	0,24	0,49
	UPL	P3	116	0,38	0,30	0,10	1,60	0,11	0,33
		P4	116	0,42	0,30	0,10	1,60	0,11	0,33
		P5	116	0,26	0,20	0,00	1,20	0,08	0,28
		P6	116	0,42	0,30	0,20	1,50	0,09	0,30
		P7	116	0,61	0,40	0,20	2,10	0,19	0,44
		P8	116	0,62	0,50	0,20	2,40	0,23	0,48
		P9	116	0,42	0,30	0,10	1,60	0,09	0,31
	CT	P10	116	0,25	0,20	0,10	1,10	0,04	0,20
		P11	116	0,28	0,20	0,10	1,20	0,05	0,22
		P12	116	0,35	0,20	0,00	1,60	0,14	0,37
		P13	116	0,29	0,20	0,10	1,00	0,04	0,19
Outono	CC	P1'	116	0,69	0,60	0,50	2,70	0,06	0,25
	UPL	P6'	116	0,81	0,70	0,50	1,80	0,09	0,31
	CT	P12'	116	0,46	0,40	0,20	1,30	0,05	0,23

**Tabela E9.** Análise descritiva da concentração de O<sub>2</sub> nos dois períodos.

Propriedade		Total de n° válidos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	
Verão	CC	P1	232	0,86	0,65	0,20	3,40	0,38	0,62
		P2	232	0,70	0,50	0,20	2,60	0,25	0,50
	UPL	P3	232	0,40	0,30	0,10	1,70	0,12	0,35
		P4	232	0,38	0,30	0,10	1,70	0,11	0,33
		P5	232	0,25	0,10	0,00	1,20	0,08	0,28
		P6	232	0,46	0,30	0,20	1,80	0,11	0,33
		P7	232	0,61	0,40	0,20	2,20	0,19	0,43
		P8	232	0,65	0,50	0,20	2,40	0,23	0,48
	CT	P9	232	0,38	0,30	0,10	1,60	0,09	0,30
		P10	232	0,42	0,30	0,10	3,40	0,18	0,43
		P11	232	0,28	0,20	0,10	1,20	0,05	0,23
		P12	232	0,39	0,20	0,00	1,90	0,18	0,42
		P13	232	0,38	0,30	0,10	1,70	0,08	0,29
Outono	CC	P1'	232	0,78	0,70	0,50	2,70	0,10	0,32
	UPL	P6'	232	0,80	0,70	0,40	1,80	0,10	0,32
	CT	P12'	232	0,48	0,40	0,20	1,30	0,05	0,22

### APÊNDICE F – Produção quantitativa de biogás

Período	Propriedade	Temperatura Biogás (°C)	Pressão atmosférica (bar)	Velocidade do fluxo (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão Corrigida (m <sup>3</sup> /h)	Média	Média Manhã/tarde	Vazão média corrigida (m <sup>3</sup> /d)
Manhã	<b>P1</b>	23,0	1*	0,220	0,00224	0,000493	1,77	1,64	1,64	1,64	39,26
Tarde		25,3	1*	-	-	-	-	-	-		
Manhã	<b>P2</b>	28,3	1*	0,620	0,00224	0,001389	5,00	4,53	4,53	4,53	108,71
Tarde		O ANEMOMETRO PIFOU									
Manhã	<b>P3</b>	27,8	0,9491	0,310	0,00224	0,000694	2,50	2,15	2,10	2,46	59,08
		32,6		0,300	0,00224	0,000672	2,42	2,05			
Tarde		30,7		0,400	0,00224	0,000896	3,23	2,75	2,82		
		30,5		0,420	0,00224	0,000941	3,39	2,89			
Manhã	<b>P4</b>	30,0	0,9491	1,060	0,00224	0,002374	8,55	7,31	6,40	6,06	145,37
		31,0		0,800	0,00224	0,001792	6,45	5,50			
Tarde		29,2		0,780	0,00224	0,001747	6,29	5,39	5,71		
	31,9	0,880	0,00224	0,001971	7,10	6,03					
Manhã	<b>P5</b>	32,3	0,9491	0,840	0,00224	0,001881	6,77	5,75	5,62	4,50	108,09
		31,1		0,800	0,00224	0,001792	6,45	5,50			
Tarde		30,8		0,580	0,00224	0,001299	4,68	3,99	3,39		
	27,3	0,400	0,00224	0,000896	3,23	2,78					
Manhã	<b>P6</b>	35,3	0,9491	1,200	0,00224	0,002688	9,68	8,13	6,10	6,10	146,37
Tarde		35,3		0,600	0,00224	0,001344	4,84	4,07			
		-		-	-	-	-	-			
Manhã	<b>P7</b>	25,4	0,9491	0,720	0,00224	0,001613	5,81	5,04	5,13	5,13	123,10
		23,3		0,740	0,00224	0,001657	5,97	5,22			
Tarde	29,4	1,170	0,00224	0,002620	9,43	8,08	8,08				
Manhã	<b>P8</b>	25,0	1*	-	-	-	-	-	-	5,57	133,66
Tarde		35,3	1*	0,780	0,00224	0,001747	6,29	5,57	5,57		
Manhã	<b>P9</b>	27,3	0,9491	1,080	0,00224	0,002419	8,71	7,51	7,61	7,64	183,31
		31,0		1,120	0,00224	0,002508	9,03	7,70			
Tarde		32,2		1,060	0,00224	0,002374	8,55	7,26	7,67		
		31,9		1,180	0,00224	0,002643	9,51	8,09			
Manhã	<b>P10</b>	25,5	0,9502	1,010	0,00224	0,002262	8,14	7,08	7,05	7,04	169,00
Tarde		30,5		1,020	0,00224	0,002284	8,22	7,03			
Manhã	<b>P11</b>	27,2	0,9502	1,000	0,00224	0,002240	8,06	6,97	3,48	3,48	83,61
Tarde								0,00			
Manhã	<b>P12</b>	24,7	0,9502	0,760	0,00224	0,001702	6,13	5,34	6,20	6,63	159,05
Tarde		35,3		1,040	0,00224	0,002329	8,39	7,06			
Manhã	<b>P13</b>	27,2	0,9502	0,750	0,00224	0,001680	6,05	5,23	6,04	6,45	154,80
Tarde		32,0		1,000	0,00224	0,002240	8,06	6,86			
Manha	<b>P1'</b>	24,7	1*	0,130	0,00224	0,000291	1,05	0,96	1,18	0,88	21,12
		24,2		0,140	0,00224	0,000314	1,13	1,04			
		24,0		0,210	0,00224	0,000470	1,69	1,56			
Tarde		24,1		0,150	0,00224	0,000336	1,21	1,11	0,58		
		23,9		0,080	0,00224	0,000179	0,65	0,59			
		23,0		0,050	0,00224	0,000112	0,40	0,37			
	22,0	0,030	0,00224	0,000067	0,24	0,22					
Manha	<b>P6'</b>	13,8	0,954	1,240	0,00224	0,002777	10,00	9,08	6,58	6,71	161,03
		17,8		1,260	0,00224	0,002822	10,16	9,10			
Tarde		22,8		1,040	0,00224	0,002329	8,39	7,38	6,84		
		27,5		0,900	0,00224	0,002016	7,26	6,29			
Manha	<b>P12'</b>	18,5	0,954	1,000	0,00224	0,002240	8,06	7,20	6,58	5,32	127,78
		22,9		0,840	0,00224	0,001881	6,77	5,96			
Tarde		25,2		0,750	0,00224	0,001680	6,05	5,28	4,07		
	21,8	0,400	0,00224	0,000896	3,23	2,85					

\* Considerou-se a pressão atmosférica igual a 1 bar para as regiões sem estações meteorológicas próximas ao local.

## APÊNDICE G – Produção de Biogás e de Metano a partir da carga orgânica removida

**Tabela G1.** Produção de Biogás e de Metano em função dos SV.

		Propriedade	$\text{m}^3$ Biogás/Kg $\text{SV}_{\text{removido}}$	$\text{m}^3$ $\text{CH}_4$ /Kg $\text{SV}_{\text{removido}}$
Verão	CC	P1	0,91	0,65
		P2	0,91	0,63
	UPL	P3	1,76	1,21
		P6	5,65	4,00
		P7	2,73	1,91
		P8	1,75	1,22
	CT	P9	4,52	3,01
		P11	1,27	0,89
		P12	0,42	0,23
		P13	2,87	1,86
Outono	CC	P1	0,19	0,14
	CT	P12	3,21	1,99
Média Verão			2,28	1,56
Média Outono			1,70	1,07

**Tabela G2.** Produção de Biogás e de Metano em função de DQO.

		Propriedade	$\text{m}^3$ Biogás/Kg $\text{DQO}_{\text{removido}}$	$\text{m}^3$ $\text{CH}_4$ /Kg $\text{DQO}_{\text{removido}}$
Verão	CC	P1	0,33	0,24
		P2	0,22	0,15
	UPL	P3	0,86	0,59
		P7	1,02	0,71
		P8	0,24	0,17
	CT	P9	3,08	2,06
		P11	0,95	0,67
		P13	1,12	0,73
Outono	CC	P1	0,20	0,15
	CT	P12	1,05	0,66
Média Verão			0,98	0,66
Média Outono			0,63	0,40

**APÊNDICE H – Produção de Biogás e de Metano em relação ao número matrizes e de animais**

		Propriedade	Unidade	Biogás	CH <sub>4</sub>	
<b>Verão</b>	CC	P1	m <sup>3</sup> /matriz.hora	0,0327	0,0235	
		P2		0,0094	0,0065	
	P3	0,0205		0,0141		
	P4	0,0337		0,0235		
	UPL	P5		m <sup>3</sup> /matriz.hora	0,0250	0,0128
		P6			0,0339	0,0239
		P7			0,0574	0,0401
		P8			0,0016	0,0011
		P9		0,0119	0,0080	
	CT	P10		0,0142	0,0091	
		P11	m <sup>3</sup> /animal.hora	0,0117	0,0082	
		P12		0,0105	0,0059	
		P13		0,0075	0,0048	