

ANGELO GABRIEL MARI

**DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUÍNOS NA PRESENÇA DE  
PRODUTOS DE LIMPEZA E DESINFECÇÃO NA FASE  
ACIDOGÊNICA**

CASCATEL  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO - 2014

ANGELO GABRIEL MARI

**DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUÍNOS NA PRESENÇA DE  
PRODUTOS DE LIMPEZA E DESINFECÇÃO NA FASE  
ACIDOGÊNICA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como partes das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Helton José Alves  
Co-orientadores: Prof. Dr. Deonir Secco;  
Prof. Dr. Elisandro Pires Frigo

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
FEVEREIRO - 2014

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

**Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362**

M285d Mari, Angelo Gabriel  
Digestão anaeróbia de dejetos suínos na presença de produtos de  
limpeza e desinfecção na fase acidogênica / Angelo Gabriel Mari —  
Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.

60 p.

Orientador: Prof. Dr. Helton José Alves

Co-orientador: Prof. Dr. Deonir Secco

Co-orientador: Prof. Dr. Elisandro Pires Frigo

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná.

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na  
Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.

Bibliografia.

1. Biogás. 2. Detergente. 3. Desinfetante. 4. Biodigestor. 5. Manejo  
de dejetos. 6. Energia na agricultura. I. Universidade Estadual do Oeste  
do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 628.74

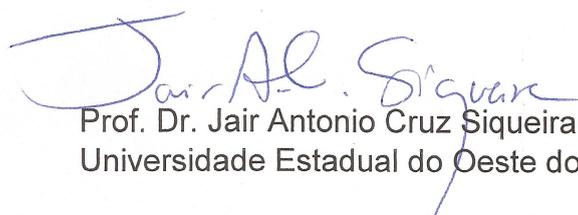
ANGELO GABRIEL MARI

**“Digestão anaeróbia de dejetos suínos na presença  
de produtos de limpeza e desinfecção na fase acidogênica”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:



Orientador: Prof. Dr. Helton José Alves  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Carlos Henrique Coimbra Araújo  
Universidade Federal do Paraná – UFPR/Palotina

Cascavel, 29 de janeiro de 2014.

*À minha família, que sempre esteve ao meu lado e  
à São Cristovão, que me permitiu tantas idas e vindas.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde e discernimento.

A minha Família, que tem superado as dificuldades da vida para apoiar em minha jornada.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Helton José Alves, Prof. Dr. Deonir Secco, Prof. Dr. Elisandro Pires Frigo, grandes mestres e amigos, que em muito me auxiliaram e ensinaram desde quando nos conhecemos.

Aos grandes mestres que tanto me auxiliaram nesta empreitada: Prof. Dr. Armin Feiden, Prof. Dr. Reginaldo Ferreira dos Santos; Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira; Prof. Dr. Carlos Henrique Coimbra de Araújo; Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken; Prof. Dr. Jonathan Dieter; Prof. Dr. Airton Kunz; Prof. MSc. Thiago Edwiges; Prof. MSc. Abílio Luiz Colognese; Prof<sup>a</sup>. MSc. Márcia Helena Beck.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Energia na Agricultura, pelos ensinamentos transmitidos.

À Tânia Judite Rodrigues, pela amizade, carinho e companheirismo.

Aos grandes amigos dessa vida, Alvaro Mari Júnior, Juliana Frigo, Carlos Henrique Fornasari, Cassiano Rosseto, Douglas Bassegio, Helton Rosa, Ana Cláudia Cabral e aos demais companheiros de Mestrado.

Aos meus amigos e alunos Lucas dos Santos Dierings, Anderson Eduardo Grzesciuk, Luana Kozak, Samara Moreira Perissato, Bruna Machado, Letícia Marion, Kaína Cardoso, Henrique Bernardo Muriana, Rodrigo Trevisan, Hugo Romani e Gilberto Manduca.

À Secretaria da Coordenação de pós-graduação, em especial Vanderléia Luzia Stockmann Schmidt e Tatiane Alves Pidorodeski, pela amizade, incentivo e atenção.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/DS pela bolsa de estudos que possibilitou dedicação integral a este trabalho.

Muito obrigado!

**“Oculta na roupagem metafórica palpita a essência real.”**

**Helena Colody**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sequências metabólicas de digestão anaeróbia.....	9
Figura 2. Taxa de crescimento relativo de micro-organismos metanogênicos.....	11
Figura 3. Esquema dos biodigestores de bancada. ....	18
Figura 4. Biodigestores de bancada de batelada.....	18
Figura 5. Operação dos biodigestores.....	22
Figura 6. Temperatura média diária ao longo do período das bateladas. ....	26
Figura 7. Produção diária média de biogás.....	29
Figura 8. Produção acumulada de biogás. ....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Produção média diária de dejetos líquidos nas fases produtivas dos suínos .....	4
Tabela 2. Equivalência entre 1 m <sup>3</sup> de biogás e outras fontes energéticas. ....	12
Tabela 3. Espectro de atividade de desinfetantes utilizados na suinocultura .....	16
Tabela 4. Características físico-químicas dos dejetos utilizados no experimento.....	20
Tabela 5. Características físico-químicas dos dejetos utilizados no experimento.....	24
Tabela 6. Médias da produção diária de biogás (L.dia <sup>-1</sup> ) .....	26
Tabela 7. Produção acumulada de biogás (L).....	30
Tabela 8. Regressão linear da produção acumulada de biogás.....	33
Tabela 9. Teste de Média dos Coeficientes Angulares.....	33

MARI, Angelo Gabriel MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Fevereiro de 2014. Inibição da digestão anaeróbia de dejetos suínos por produtos de limpeza e desinfecção na fase acidogênica. Professor Orientador Dr. Helton José Alves. Professores Co-orientadores Dr. Deonir Secco; Dr. Elisandro Pires Frigo.

## RESUMO

O biogás representa um importante produto da biomassa residual da suinocultura, mas sua produção pode ser inibida pela entrada de substâncias como detergentes e desinfetantes no biodigestor. Este estudo avalia os efeitos de diferentes produtos de limpeza comerciais, comumente utilizados na limpeza e desinfecção de granjas de suínos, na produção de biogás em biodigestores de bancada, durante a fase acidogênica da digestão anaeróbia. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos se constituíram de testemunha e de três diferentes produtos de limpeza e desinfecção utilizados em granjas de suínos, aplicados na diluição recomendada pelos fabricantes e na quantidade recomendada pela literatura técnico-científica. Nestas condições, conduziram-se três bateladas, nas quais foram testados, como tratamento, os seguintes produtos de limpeza: Desinfetante AVT-450; Desinfetante CB-30TA; Detergente Deter Sell. Os resultados demonstraram que, nas condições e na dosagem testadas, os produtos de limpeza e desinfecção não afetam a fase acidogênica da digestão anaeróbia de forma significativa, não causando inibição da produção de biogás.

**Palavras-Chave:** Biogás; Detergente; Desinfetante; Biodigestor; Manejo de dejetos; Energia na Agricultura.

MARI, Angelo Gabriel. MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February, 2014.  
**Inhibition of anaerobic digestion of swine manure due sanitary and desinfectans products.**  
Adviser Dr. Helton José Alves; Adviser Dr. Deonir Secco; Adviser Dr. Elisandro Pires Frigo.

## **ABSTRACT**

Biogas is an important product of the residual biomass from swine farms, but its production can be inhibited by the entry of substances such as detergents and disinfectants in the anaerobic digester. This study evaluates the effects of different commercial cleaners commonly used for cleaning and disinfection of pig farms, over the production of biogas in anaerobic digesters bench, during the acidogenesis phase in anaerobic digestion . It was used a completely randomized design with four treatments and three replications. The treatments consisted of three different cleaning and disinfection products used in swine farms, applied at the dilution recommended by the manufacturer and the amount recommended by the scientific and technical literature. Accordingly, led by three batches, in which were tested as a treatment, the following cleaning products: Disinfectant AVT-450, CB-30TA Disinfectant, Detergent Deter Sell. The results showed that under the conditions and the dosage tested, the cleaning and disinfection products do not affect acidogenesis phase intensely, causing no inhibition of biogas production.

**Keywords:** Biogas; Detergent; Disinfectant; Digester, Swine Wastewater Management, Energy in Agriculture.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	vii
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Suinocultura, meio ambiente e energia.....	3
2.2 Biodigestores .....	5
2.3 Digestão anaeróbia .....	8
2.4 Biogás .....	11
2.5 Substâncias inibidoras da digestão anaeróbia.....	14
2.6 Detergentes e desinfetantes utilizados em granjas de suinocultura.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Localização do experimento .....	17
3.2 Construção dos biodigestores .....	17
3.3 Coleta dos dejetos suínos.....	18
3.4 Condução do experimento e aplicação dos tratamentos .....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
5. CONCLUSÕES .....	35
6. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS .....	36
7. REFERÊNCIAS .....	37
ANEXO 1 .....	44

## 1. INTRODUÇÃO

A suinocultura representa uma importante atividade pecuária para o Brasil, principalmente na região Sul, onde é desenvolvida majoritariamente em pequenas propriedades rurais. Nas últimas décadas, avanços técnicos, tecnológicos e organizacionais nesta atividade elevaram o país à condição de terceiro maior produtor mundial de carne suína e quarto maior exportador (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA – ABIPECS, 2012).

Contudo, a suinocultura apresenta elevado potencial de impactos ambientais, pois os arranjos produtivos são organizados de forma a favorecer a concentração de grandes quantidades de animais em uma mesma região. Esse fato, somado a baixa capacidade de conversão alimentar por parte dos suínos, resulta em grandes quantidades de dejetos. Quando não tratados, a disposição descontrolada destes dejetos no solo ou em corpos hídricos resulta em um quadro crítico de saneamento ambiental nas regiões produtoras.

Por este motivo, a sustentabilidade do processo produtivo permanece entre os desafios da cadeia produtiva da suinocultura no Brasil. Dentre as alternativas para tratamento da biomassa residual, destaca-se a digestão anaeróbia – um processo biológico que ocorre na ausência de oxigênio, pelo qual micro-organismos reduzem a carga orgânica, convertendo parte dela em biogás, uma mistura de gases rica em gás metano. Por este motivo, a digestão anaeróbia da biomassa residual representa uma fonte renovável de energia no meio rural (ANDRADE et al., 2002).

Inúmeros estudos tem buscado compreender esse processo, sua viabilidade, possibilidades e limitações – principalmente, devido aos avanços que tem tornado possível o aproveitamento energético do metano existente no biogás no meio rural. A valorização deste como fonte de energia também despertou o interesse no conhecimento das substâncias capazes de inibir a digestão anaeróbia, afetando negativamente a produção de biogás (SCHUCH, 2012).

Amônia, sulfatos, antibióticos, detergentes, desinfetantes e elementos traços constituem os principais inibidores da produção de biogás a partir de dejetos suínos (CHEN; CHENG; CREAMER, 2008). Os detergentes e desinfetantes representam demandam atenção, uma vez que os processos de limpeza e desinfecção conduzidos nas granjas de suínos incorrem na utilização e disposição destes produtos no sistema de tratamento de efluentes – ou seja, eles passam no biodigestor.

Neste sentido, este estudo tem por objetivo verificar a influência pontual de desinfetantes e detergentes comumente utilizados na limpeza e desinfecção de granjas de suínos sobre a produção de biogás, utilizando-se de reatores anaeróbios de bancada para simular condições semelhantes às encontradas nas propriedades rurais brasileiras.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Suinocultura, meio ambiente e energia

A suinocultura representa uma atividade pecuária de base, inserida dentro da cadeia produtiva da carne suína. Trata-se de um setor que produziu 3,49 milhões de toneladas de carne em 2011 e que sustentou 605 mil empregos. O Brasil representa o terceiro maior produtor e o quarto maior exportador de carne suína – tendo obtido uma receita cambial de 1,49 bilhão de dólares (ABIPECS, 2012).

O desempenho econômico recente da suinocultura brasileira deve-se às melhorias tecnológicas no processo produtivo e aos avanços organizacionais da cadeia de produção, incorporados ao longo das duas últimas décadas (MIELE; WAQUIL, 2007).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011), o rebanho brasileiro de suínos, no ano de 2011, chegou a 39,3 milhões de cabeças. O Estado do Paraná, na região Sul do Brasil, é responsável pelo alojamento de mais de 5,4 milhões de animais, ou seja, 13,9% do rebanho nacional de suínos - o que o coloca na 3ª posição entre os principais estados produtores, logo atrás de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Entre os 20 municípios brasileiros com as maiores produções de suínos no ano de 2011, encontram-se os paranaenses Arapoti (170 mil suínos, ocupando a 16ª posição entre os produtores nacionais), Marechal Cândido Rondon (330 mil, ocupando a 5ª posição), e Toledo (455 mil suínos, ocupando a 3ª posição entre os produtores nacionais), sendo que os estes dois últimos municípios se localizam na Mesorregião Oeste do Paraná (IBGE, 2011).

Somente nesta região do estado, Schuch (2012) identificou um rebanho total de 1,72 milhão de cabeças de suínos, em granjas mantidas por 2.880 produtores rurais, dos quais 84% desenvolvem a atividade em pequenas propriedades rurais caracterizadas como módulos econômicos familiares - imóveis com área não superior a 72 hectares, cujos proprietários residam na propriedade ou próximo a ela, e obtenham no mínimo 70% de sua renda das atividades agropecuária.

Schuch (2012) também verificou que o sistema produtivo predominante é o de confinamento – um sistema que tem por característica a produção concentrada de animais. Este sistema de criação de suínos em escala industrial resulta em intensa produção de dejetos nas propriedades rurais, resultando consequências que se manifestam no solo, no ar, na fauna, na flora e no ambiente socioeconômico (PEREIRA et al. 2008).

A grande quantidade de dejetos produzidas nas áreas de alta concentração de animais representa um problema ambiental grave. Os dejetos animais apresentam alto risco de poluição do meio ambiente, especialmente para os recursos hídricos – uma vez que os organismos dos animais não são capazes de absorver a totalidade dos nutrientes presentes em sua alimentação (KONZEN; ALVARENGA, 2005).

Estudos realizados por Konzen et. al., (2003), demonstraram que a quantidade de dejetos produzidos na suinocultura varia em função do porte dos animais, e do sistema de manejo de cada fase produtiva do suíno. Os resultados médios são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** Produção média diária de dejetos líquidos nas fases produtivas dos suínos

Categoria	Esterco	Esterco + Urina	Dejeto líquido
	Kg dia <sup>-1</sup>	Kg dia <sup>-1</sup>	Litro dia <sup>-1</sup>
Suíno 25 a 100 kg	2,30	4,90	7,00
Porcas em gestação	3,60	11,00	16,00
Porcas em lactação	6,40	18,00	27,00
Cachaço	3,00	6,00	9,00
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40
Média	2,35	5,8	8,60

Fonte: KONZEN et. al., (2003).

Em se tratando da composição, Castamann (2005) demonstrou que a diluição e as características físico-químicas variam em função da idade dos animais, alimentação e manejo. De forma geral, estes dejetos são compostos por fezes e urina dos animais, água de limpeza da granja, água desperdiçada em bebedouros, resíduos de ração, pêlos, poeira e outros materiais decorrentes do processo criatório (OLIVEIRA, 2006).

A existência de nutrientes não absorvidos nos dejetos animais faz com que os mesmos se qualifiquem como fontes de nutrientes em culturas agrícolas e pastagens, o que se mostra uma alternativa adequada para a disposição da biomassa residual animal (CORRÊA et al., 2011). Shigaki, Sharplei e Prochnow (2006) descrevem que, como os animais utilizam o fósforo presente na alimentação de forma ineficiente (retém cerca de 30% apenas), a aplicação dos dejetos em solo agrícola melhoram a estrutura do solo e sua fertilidade.

A utilização de nutrientes orgânicos na fertilização das lavouras representa uma importante forma de mitigar a demanda da agricultura brasileira por nutrientes minerais. Segundo Rodrigues et al. (2010), a disponibilidade de recursos agrominerais e o grau de vulnerabilidade externa do Brasil são críticas: 75% do nitrogênio, 48% do fósforo, 92% do

potássio, e 82% do enxofre utilizados como fertilizantes pelo agronegócio nacional precisam ser importados.

Entretanto, a aplicação de biomassa residual animal em solo agrícola deve respeitar critérios técnicos, do contrário, aumenta-se muito o risco de aumento da concentração de nutrientes no solo ao longo do tempo e de contaminação ambiental (CORRÊA et al., 2011; KONZEN, 2003). Cabral et al. (2011), demonstraram que a aplicação de água residuária de suinocultura quando disposta sem o devido tratamento em solos cultivados com forrageiras, resultam no aumento dos teores de fósforo e magnésio.

Além disso, quando as concentrações de fósforo no solo superam as necessidades das culturas, aumenta-se o potencial de carreamento de fósforo do solo durante as chuvas, resultando na eutrofização dos corpos de água. O aporte de fósforo, nitrogênio e carbono na água em concentrações elevadas pode acarretar em danos ambientais e à saúde humana (SHIGAKI; SHARPLEY; PROCHNOW, 2006).

O fósforo e o nitrogênio estão bastante associados ao problema de eutrofização dos corpos hídricos – com redução do oxigênio dissolvido e proliferação de algas, prejudicando o equilíbrio do ecossistema aquático e a qualidade da água (CORRELL, 1998). O excesso de carbono orgânico na água representa um aporte substrato para micro-organismos decompositores, resultando em aumento da DBO e diminuição dos teores de oxigênio dissolvido na água – prejudicando os organismos aeróbios aquáticos e promovendo o desequilíbrio ecológico (HOODA et al., 2000).

Por estes motivos, concorda-se com Konzen (2003) e com Weirich Neto e Rocha (2007), que expõem que a mitigação dos impactos ambientais das atividades pecuárias, principalmente da suinocultura, passa pelo aproveitamento racional dos dejetos da pecuária em outras atividades, exigindo-se para tal, a adequação do manejo atual.

Da mesma forma, concorda-se com Kunz, Higarashi e Oliveira (2005), sobre a necessidade de se agregar tecnologia na busca pela mitigação dos impactos ambientais das atividades pecuárias. É neste contexto que se a digestão anaeróbia enquanto alternativa para o tratamento e aproveitamento dos resíduos da pecuária.

## **2.2 Biodigestores**

Biodigestores são reatores que tratam a biomassa residual através da digestão anaeróbia, produzindo biogás e biofertilizante nas propriedades rurais. Deganutti et al. (2002) descrevem o biodigestor como uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico, em

solução aquosa, e este sofre decomposição, gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara. Já Schuch (2012) define o biodigestor como um reator hermeticamente fechado, alimentado com biomassa residual, que degrada materiais orgânicos complexos por biodigestão anaeróbia produzindo biogás e biofertilizante.

O emprego de biodigestores traz importantes benefícios na área rural. Segundo Andrade et al. (2002), os biodigestores rurais são importantes para o saneamento rural, pois o processo de digestão anaeróbia promove a conversão do carbono presente na matéria orgânica em gás metano (combustível de origem renovável), reduzindo a carga orgânica, o teor de sólidos e também a redução de microrganismos patogênicos presentes nos efluentes. Além disso, estes reatores estimulam a reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, possibilitam a higienização das granjas e o tratamento dos dejetos animais.

Os biodigestores são construídos em uma variedade de modelos, cada qual com suas características e desempenho distinto. Segundo Deganutti et al. (2002) esta grande variedade se deve ao fato de que cada modelo se adapta a uma realidade ou a necessidade dos subprodutos da biodigestão – biogás e biofertilizante.

Segundo Kunz, Higarashi e Oliveira (2005), o desenvolvimento e a adaptação de vários modelos de biodigestores visam também aumentar a eficiência deste sistema e reduzir os custos de implantação destes equipamentos. Os principais modelos de biodigestores construídos no Brasil são Biodigestor Chinês; Biodigestor Indiano; Biodigestor Lagoa Coberta; e Biodigestor Modelo Batelada, descritos nos trabalhos de Lucas Jr. (1987); Deganutti et al. (2002) e Andrade et al. (2002).

- **Biodigestor Modelo Chinês:** formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto abobadado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. O modelo chinês não apresenta partes móveis nem metálicas, o que lhe confere pressão de operação variável, mas também bastante durabilidade e baixo custo de construção. No entanto, observa-se uma tendência para vazamentos de biogás se não houver cuidado na execução da obra.
- **Biodigestor Modelo Indiano:** caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo – assim, à medida que o biogás é produzido e acumulado, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão de operação constante. A parede divisória no interior do reator tem como função forçar a circulação do substrato por todo o interior da câmara de

fermentação. Com base em análises de sólidos totais e voláteis, bem como a produção de biogás ( $m^3/dia$ ).

- **Biodigestor Modelo Lagoa Coberta:** conhecido em algumas regiões do Brasil como Modelo Canadense ou Biodigestor da Marinha, este reator apresenta baixo custo de implantação e construção que pode ser feita com escavações pouco profundas, o que é uma importante vantagem para regiões com nível de lençol freático alto. Este modelo é de fácil limpeza, descarga e manutenção. Sua desvantagem é a maior sensibilidade às variações térmicas que os outros modelos. Sua utilização é recomendada para locais onde predominem temperaturas altas e constantes.
- **Biodigestor Modelo Batelada:** modelo simples que se constitui de um ou mais tanques anaeróbios em série, abastecido apenas uma vez, e então fechado e submetido a condições anaeróbias. Como opera de forma diferente dos biodigestores contínuos, é convenientemente utilizado quando a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos longos, como ocorre em granjas avícolas de corte cuja cama só está disponível após venda dos animais e limpeza do galpão.

Independentemente do modelo, a tecnologia dos biodigestores rurais tem sido proposta como uma solução simples e apropriada ao saneamento rural e ao auto-fornecimento de energia e biofertilizante, principalmente para os pequenos produtores rurais (ANDRADE et al., 2002). Devido às particularidades de cada modelo e de cada propriedade rural, a implantação de um biodigestor demanda uma análise preliminar do projeto a ser inserido visando construir instalações mais econômicas garantindo recuperação de todo o investimento aplicado em menor tempo (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

Ainda assim, uma série de fatores dificulta a difusão da tecnologia de biodigestão no meio rural brasileiro. Kunz, Higarashi e Oliveira (2005) explicam que o sistema enfrenta ainda algumas limitações, como a falta de conhecimentos básicos dos usuários com relação aos aspectos microbiológicos básicos – o que acaba resultando em perda de eficiência do biodigestor. Kunz (2006) ainda expõe que a segurança no fornecimento de biogás está associada ao manejo adequado e atencioso do biodigestor – caso contrário, pode-se comprometer todo o sistema de utilização do biogás.

A escassez de recursos financeiros; o custo relativamente elevado dos biodigestores para os produtores rurais; a falta de recursos humanos para assistir os operadores e proprietários rurais, e para desenvolver tecnologia relacionada à projetos e materiais

alternativos para a construção do biodigestor; representam fatores identificados por Andrade et al. (2002) que também dificultam a difusão da tecnologia dos biodigestores no Brasil.

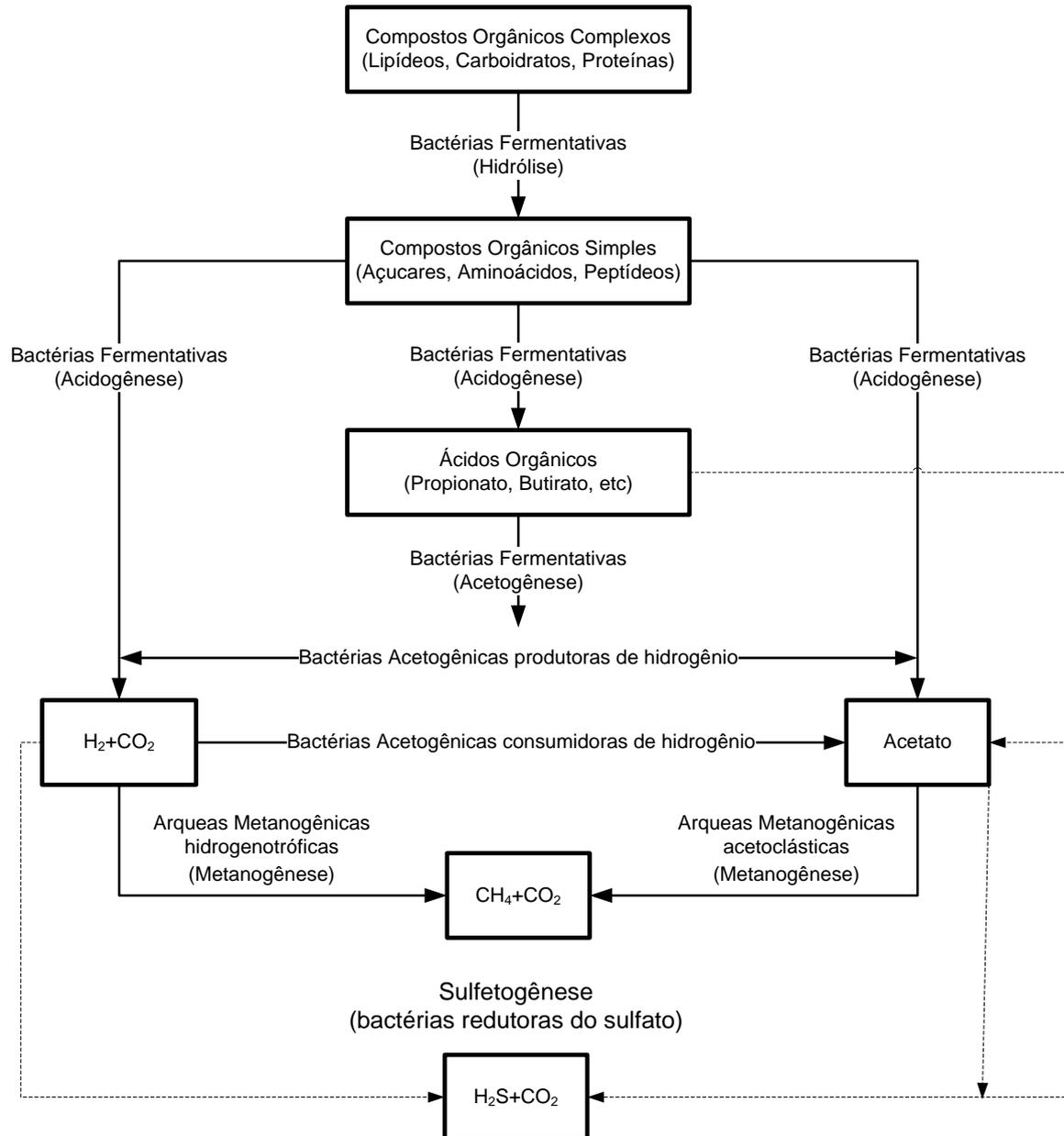
### 2.3 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia consiste em um processo pelo qual micro-organismos decompõem a matéria orgânica na ausência de oxigênio, reduzindo a massa de resíduos a um lodo digerido de alto valor nutricional para cultivos agrícolas e gerando biogás, uma mistura de gases composta principalmente por metano e gás carbônico.

O processo de biodigestão anaeróbia foi explicado por autores como Tchobanoglus *et al.* (1993), Chernicharo (2007), e Rizzoni (2012). As diferentes fases da biodigestão compreendem: (1) hidrólise enzimática; (2) acidogênese; (3) acetogênese; e (4) metanogênese.

1. **Hidrólise enzimática** - fase na qual os materiais orgânicos complexos são hidrolisados e convertidos em moléculas menores por meio da fermentação. Atuam nesta fase enzimas extracelulares excretadas pelas bactérias hidrolíticas fermentativas.
2. **Acidogênese** - fase na qual as moléculas menores resultantes da hidrólise são metabolizadas por bactérias dos gêneros *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Desulphovibrio*, *Lactobacillus* e *Actinomyces*, convertendo-se em diversos compostos mais simples;
3. **Acetogênese** - fase na qual os micro-organismos acetogênicos *Syntrophobacter* e *Syntrophomonas* convertem os produtos gerados na fase anterior, resultando em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato; e
4. **Metanogênese** - fase em que as arqueas metanogênicas convertem os substratos resultantes em biogás. Estes micro-organismos subdividem-se em dois grupos: as arqueas metanogênicas acetoclásticas do gênero *Methanosarcinales*, que produzem metano a partir dos acetatos; e as arqueas metanogênicas hidrogenotróficas dos gêneros *Methanobacteriales*, *Methanococcales*, *Methanomicrobiales* e *Methanopyrales* (MADIGAN,2010), que produzem metano a partir do hidrogênio e dióxido de carbono.

A Figura 1 ilustra este processo de digestão anaeróbia, conforme apresentado por Chernicharo (2007).



**Figura 1.** Sequências metabólicas de digestão anaeróbia  
Fonte: Adaptado de Chernicharo (2007).

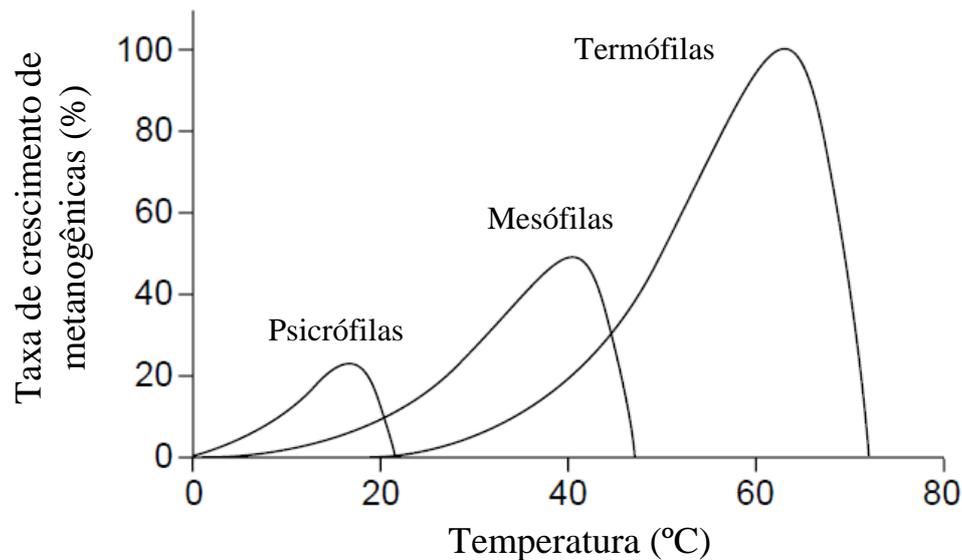
De forma adicional ao processo de digestão anaeróbia, é comum que ocorra também a sulfetogênese – um processo que utiliza compostos de enxofre presentes na biomassa para a oxidação dos compostos orgânicos, reduzindo-os a sulfetos. Rizzoni (2012) afirma que o enxofre é um nutriente básico onde na sua ausência poderá inibir todo o processo, porém em teores muito elevados há produção de sulfeto de hidrogênio que é produto da redução tanto de  $\text{SO}_4^{2-}$  como de  $\text{S}^0$ . Também conhecido como gás sulfídrico, o sulfeto de hidrogênio é um gás venenoso, corrosivo, e que interfere na queima do metano presente no biogás.

A sulfetogênese ocorre através de um conjunto de micro-organismos conhecidos como bactérias redutoras de sulfato as quais utilizam lactato, piruvato, etanol e ácidos graxos (acetato, por exemplo) como doadores de elétrons. As principais bactérias envolvidas incluem os Gêneros *Desulfovibrio*, *Desulfomicrobium*, *Desulfobotulus*, *Desulfofustis*, *Desulfotomaculum*, *Desulfomonile*, *Desulfobacula*, *Archaeoglobus*, *Desulfobulbus*, *Desulforhopalus*, *Thermodesulfobacterium*, *Desulfobacter*, *Desulfobacterium*, *Desulfococcus*, *Desulfonema*, *Desulfosarcina*, *Desulfarculus*, *Desulfacinum*, *Desulforhabdus* e *Thermodesulforhabdus*. (MADIGAN, 2010).

Segundo Cassini *et al.* (2003), os micro-organismos envolvidos na digestão anaeróbia são muito especializados e cada grupo atua em reações específicas. Estes autores defendem a fase metanogênica como crítica, pois os micro-organismos envolvidos são mais sensíveis que os hidrolíticos ou acidogênicos às condições desfavoráveis do meio, pois são anaeróbios estritos, com uma bioquímica complexa para síntese de metano. As arqueas metanogênicas tem crescimento lento e são bastante sensíveis às condições externas, sendo o primeiro grupo a sofrer os efeitos de estresses ambientais. Segundo Yang e Guo (1990), cerca de 70% do metano que compõe o biogás é produzido pelas arqueas acetoclásticas, enquanto que aproximadamente 30% provêm da atividade das arqueas hidrogenotróficas.

Diversos fatores influenciam a digestão anaeróbia, dentre os quais se destacam a temperatura, a carga orgânica aplicada e a presença de materiais de natureza tóxica, entre outros (LEITE *et al.*, 2003). Segundo estes autores, a digestão anaeróbia da biomassa residual é possível em temperaturas psicrófilas (0 a 20 °C), mesófilas (20 a 45 °C), termófilas (45 a 60 °C), ressaltando-se que as reações biológicas são mais eficientes e rápidas em temperaturas termófilas. A faixa psicrófila, segundo estudo de Collins *et al.* (2003) é mais interessante para efluentes produzidos em baixas temperaturas, logo, não se mostra adequado ao caso da biomassa residual produzida no Brasil. A Figura 2 ilustra a taxa de crescimento relativo de micro-organismos metanogênicos psicrófilos, mesófilos e termófilos.

Oliveira (2012) relata em sua obra que a produção eficiente de metano em um biodigestor requer a estabilidade de fatores que podem afetar esse processo diretamente como o pH, a alcalinidade e composição da biomassa utilizada na digestão anaeróbia. O pH ideal é em torno de 6,0 a 8,0, sendo ótimo entre 7,0 e 7,2 porém qualquer perturbação ocorrente compromete a atuação desses micro-organismos - principalmente as metanogênicas acetoclásticas que são extremamente sensíveis a qualquer variação brusca de qualquer fator.



**Figura 2.** Taxa de crescimento relativo de micro-organismos metanogênicos  
 Fonte: Wiegell, 1990; Lettinga, 2001.

A acidez do substrato da biodigestão também representa outro fator importante. Silva (2009) chama a atenção para a necessidade de se evitar o acúmulo de ácidos graxos voláteis e baixos níveis de pH na biodigestão, motivo pelo qual os resíduos com maior concentração de alcalinidade total se mostram interessantes no processo de digestão anaeróbia.

Por estes motivos, o controle do processo de biodigestão se torna essencial para que se obtenha maior eficiência na bioestabilização dos resíduos e na produção de biogás. Alguns parâmetros de controle são descritos no trabalho de Dors (2006) e incluem: ácidos orgânicos voláteis (AOV); alcalinidade; relação AOV/alcalinidade; volume total de gás e porcentagem de metano no biogás; presença e concentração de outros gases de interesse (hidrogênio, monóxido de carbono, entre outros); atividade metanogênica específica, dentre outros.

## 2.4 Biogás

O biogás constitui um dos principais produtos da digestão anaeróbia. O trabalho de Salomon (2007) contextualizou as principais características do biogás: uma mistura de gases onde o metano e o dióxido de carbono estão em maiores proporções – sendo que o primeiro é o mais interessante, por representar um biocombustível de alto poder calorífico. O metano ( $\text{CH}_4$ ) é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa e possui uma ação 21 vezes mais intensa que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em relação à retenção do calor responsável pelo aquecimento estimado do planeta ao longo de cem anos (IPCC, 2007).

Outro gás encontrado no biogás é o gás sulfídrico, um gás corrosivo que demanda cuidados especiais com os materiais empregados nos equipamentos utilizados para a produção e aproveitamento do biogás. Além disso, o gás sulfídrico pode causar danos à saúde humana. Estes aspectos, observados por Frare *et al.* (2009), representam limitações no aproveitamento energético do biogás, mas que tem sido superadas por meio da remoção do gás sulfídrico.

Dentre os gases que compõem o biogás, o metano é o que desperta maior interesse, uma vez que ele determina o poder calorífico e o potencial energético do biogás. O teor de metano no biogás varia entre 40 e 75%, de acordo com a fonte geradora, sendo assim, o poder calorífico do biogás varia entre 22.500 a 25.000 kJ/m<sup>3</sup>. No entanto o metano representa um gás de difícil armazenamento e transporte, devido à baixa densidade do biogás, o que dificulta alguns aspectos do seu aproveitamento para fins energéticos. Em se tratando do biogás enquanto fonte de energia, a Tabela 2 compara a equivalência energética do biogás com algumas fontes convencionais, conforme apresentado por diferentes autores.

**Tabela 2.** Equivalência entre 1 m<sup>3</sup> de biogás e outras fontes energéticas.

<b>Fonte</b>	<b>Nogueira (1986)</b>	<b>Motta (1986)</b>	<b>Ferraz; Marriel (1980)</b>
Gasolina (L)	0,61	0,70	0,61
Querosene(L)	0,62	-	0,58
Óleo Diesel (L)	0,55	-	0,55
GLP (kg)	1,43	0,40	0,45
Álcool (L)	0,80	-	-
Carvão Mineral (kg)	0,74	-	-
Lenha (kg)	3,50	-	-
Eletricidade (kWh)	-	1,25	1,43

Fonte: Adaptado de Pompermeyer e Paula Jr. (2003).

Salomon (2007) também afirmou que “a utilização do biogás traz vantagens não somente ao meio ambiente como também na questão do gerenciamento dos resíduos do país, aumento de emprego e geração de eletricidade”. Para este autor, a energia elétrica produzida a partir do biogás pode suprir o potencial de demanda energética em locais com alta produção de biomassa residual, reduzindo a necessidade de compra de energia (SILVA et al., 2009), e

possibilitando a comercialização do excedente através da rede elétrica local (SALOMON; LORA, 2009)

Para Andrade et al. (2002), o Brasil, por suas dimensões continentais e território localizado em uma região de clima tropical quente, tem no processo de biodigestão da biomassa residual rural como alternativa e solução local para o suprimento de energia descentralizada e de outros insumos agrícolas.

O processo de digestão anaeróbia também produz o biofertilizante, um material orgânico com grande poder fertilizante, fornecendo elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio (INOUE *et al.*, 2010).

Conforme explicado por Cassini *et al.* (2003), o processo de digestão anaeróbia reduz o teor de sólidos orgânicos dos substratos da biodigestão, tornando-os menos susceptíveis às mudanças putrefativas que os substratos não digeridos, de tal forma que, obedecendo a critérios de higienização, o lodo resultante do processo de digestão anaeróbia pode ser utilizado como fertilizante. Um exemplo desse uso foi dado por Assenheimer (2009), que propôs a estabilização, secagem e utilização do lodo como substrato na produção de mudas de espécies florestais.

Em estudo de caso realizado com um produtor rural da Mesorregião Oeste do Paraná, que desenvolve suinocultura no sistema de criação confinada, e possui rebanho de aproximadamente 4,7 mil suínos, Avaci et al. (2013) verificaram que o produtor economiza anualmente cerca de 146 mil reais, ao complementar a fertilização da área agrícola com a aplicação de água residuária de suinocultura, tratada em biodigestor – diminuindo as despesas, o produtor aumenta os lucros com a produção de grãos e pastagens.

Schuch (2012) demonstrou que a biomassa residual da suinocultura produzida anualmente na Mesorregião Oeste do Estado do Paraná, quantificada em 1,41 milhão de toneladas, seria o suficiente para produzir 110 milhões de m<sup>3</sup> de biogás, do qual 60% representa gás metano de origem renovável.

Desta forma, o processo de biodigestão contribui não apenas para solucionar o quadro crítico relacionado ao saneamento ambiental rural, mas também gerar estes dois subprodutos – biogás e biofertilizante – que auxiliam na viabilização do processo e na geração de renda complementar para a atividade agropecuária (SCHUCH, 2012).

O estudo de Silva et al. (2011) demonstrou que os subprodutos do processo de biodigestão auxiliam a viabilizar os investimentos neste processo de tratamento. Estes autores

verificaram que a construção de um biodigestor com capacidade para 25 m<sup>3</sup> possui um *payback* de 8,59 anos, considerando apenas a comercialização do rebanho suíno, mas que, considerando o valor agregado da energia do biogás e dos nutrientes do biofertilizante, este tempo cai para 7,62 anos.

## 2.5 Substâncias inibidoras da digestão anaeróbia

O principal fator para instabilidade de reatores anaeróbios é o desequilíbrio entre as populações de micro-organismos envolvidos com o processo. Este desequilíbrio ocorre devido as diferentes características existentes entre estes organismos, que apresentam fisiologia, necessidades nutricionais e resistência variáveis (DEMIREL e YENIGUN, 2002).

Certas substâncias, quando entram em um reator anaeróbio, podem causar inibição, caso afetem o crescimento bacteriano ou causem uma alteração adversa e, conseqüentemente, resultem no desequilíbrio na população de micro-organismos. Nestes casos, observa-se o decréscimo na produção de biogás, diminuição do teor de metano e o acúmulo de ácidos orgânicos no substrato em digestão (CHEN, CHENG e CREAMER, 2008).

Quedas na produção de biogás muitas vezes se devem a perturbações na atuação das arqueas metanogênicas acetoclásticas – organismos sensíveis a quaisquer variações bruscas nas condições da digestão anaeróbia. Estes micro-organismos são responsáveis por cerca de 70% da produção do metano nos biodigestores. A entrada de substâncias inibidoras resulta no desequilíbrio da população dos diferentes micro-organismos, resultando na atividade mais intensa das bactérias fermentativas, e acarretando a morte ou inativação das metanogênicas acetoclásticas, comprometendo a produção de metano (OLIVEIRA, 2012).

Algumas substâncias inibidoras incluem a amônia (ANGELIDAKI et al. 1993; OLIVEIRA, 1993), metais pesados (YUE-LIN, 1993; ALTAS, 2007) , e componentes orgânicos como aldeídos (GONZALES-GIL et al. 2002; OLIVEIRA et al., 2004), desinfetantes (RUIZ, 1992; KUNZ et al., 2004), e detergentes surfactantes (MENSAH e FORSTER, 2004; COSTA et al., 2007).

Nos dejetos suínos, a principal substância inibidora é a amônia resultante da decomposição de proteínas e ureia, que por se apresentarem em altas concentrações, representam o principal fator de instabilidade na digestão anaeróbia. Em concentrações abaixo de 200 mg/L, a amônia pode ser benéfica ao processo anaeróbio, uma vez que o nitrogênio é um nutriente essencial aos micro-organismos anaeróbios (LIU e SUNG, 2002).

Segundo Chen, Cheng e Creamer (2008), a inibição por amônia (livre ou íon amônio) pode se dar através de mudança no pH intracelular dos microorganismos; aumento da necessidade de energia para seus processos metabólicos; e inibição de reações enzimáticas específicas. Além disso, o teor de nitrogênio amoniacal afeta a relação carbono/nitrogênio do substrato – que, segundo, Deublin e Steinhouser (2008), esta relação pode variar de 10 a 45 durante a hidrólise e a acidogênese, e de 20 a 30 na metanogênese.

A amônia livre ( $\text{NH}_3$ ) é o tipo de amônia mais danosa ao processo, pois o aumento da concentração de amônia livre leva a um aumento do pH - esta instabilidade gera acúmulo de ácidos graxos voláteis, que baixam o pH novamente - e esta interação gera um estado de inibição no qual o processo passa a funcionar de forma estável, mas com baixo teor de metano no biogás (ANGELIDAKI et al. 1993).

Além disso, a alta concentração de sulfatos presentes na dieta, os antibióticos, detergentes surfactantes e desinfetantes utilizados na limpeza das granjas também são considerados substâncias inibidoras (CHEN, CHENG e CREAMER, 2008).

## **2.6 Detergentes e desinfetantes utilizados em granjas de suinocultura**

Detergentes surfactantes e desinfetantes são substâncias utilizadas durante a limpeza e desinfecção da granja de suínos. Este procedimento envolve a remoção das sujidades, a lavagem com água e detergente, o enxágue e a desinfecção - tendo como objetivo remover os resíduos orgânicos que se acumulam nas instalações e minimizar a exposição do rebanho a organismos patogênicos (DALLANORA; MACHADO, 2010).

A limpeza e desinfecção são duas operações essenciais e distintas que se complementam (EMBRAPA, 1998). Ambientes limpos e desinfetados melhoram as condições de sanidade do rebanho, diminuindo a ocorrência de doenças e melhorando a produção (CAVALCANTI, 1984; UPNMOOR, 2000; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS – ABCS, 2011). Recomenda-se o uso de 0,4 L/m<sup>2</sup> de solução de limpeza e desinfecção, pois nesta dose obtêm-se bons índices de eliminação dos microorganismos nas instalações de suinocultura (EMBRAPA, 2006; DALLANORA; MACHADO, 2010).

Segundo a Embrapa (2006), os detergentes utilizados na suinocultura são substâncias que diminuem a tensão superficial, pois permite maior penetração da solução de limpeza em superfícies rugosas, mantém a sujeira em suspensão e facilita a limpeza de superfícies com

grande quantidade de matéria orgânica. Já os desinfetantes são substâncias químicas que matam as formas vegetativas de micro-organismos patogênicos, mas não necessariamente suas formas esporuladas. Os principais grupos de desinfetantes utilizados na suinocultura incluem: glutaraldeído, peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio, ácido peracético, formaldeído, iodóforos, fenólicos, compostos quaternários de amônia. A Tabela 3 apresenta o espectro de atividade dos principais desinfetantes utilizados em instalações de suinocultura.

**Tabela 3.** Espectro de atividade de desinfetantes utilizados na suinocultura

<b>Desinfetante</b>	<b>Espectro de atividade*</b>
Glutaraldeído	Viricida; esporicida; fungicida
Fenol	Bactericida
Compostos de cloro	Viricida; bactericida; fungicida; esporicida
Ácidos	Bactericida; esporicida; atua sobre alguns vírus
Formaldeído	Bactericida
Compostos de amônia quaternária	Bactericida; esporicida; fungicida; atua sobre alguns vírus
Cresol	Atua sobre alguns vírus; fungicida
Peróxido de hidrogênio	Bactericida; atua sobre alguns vírus
Compostos de iodo	Bactericida; esporicida; viricida; fungicida

\*Capacidade de ação entre as bases e os tipos específicos de microrganismos.

Fonte: ABCS, 2011.

Entretanto, desinfetantes também representam uma das principais substâncias inibidoras da metanogênese, principalmente quando formulados a base de fenol, que é um antisséptico seletivo (LIMA, 2011). As substâncias contidas nos produtos de limpeza e desinfecção podem afetar consideravelmente o biodigestor, devido a concentração de ácidos como clorofenol, que ocasiona a redução do pH, ou de amônia, que elevam o seu pH, podendo causar inibição da produção de biogás, devido à sensibilidade dos micro-organismos à variação das condições ambientais (RIZZONI, 2012).

A inibição depende da concentração das substâncias inibidoras, da composição do substrato e da adaptação dos micro-organismos aos inibidores – que podem degradar uma alta porcentagem do inibidor. Dano irreversível ao processo de digestão anaeróbia em um biodigestor somente se desenvolve se o tempo de exposição ou a concentração da substâncias inibidoras forem muito altas (DEUBLIN; STEINHOUSER, 2008).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, no município de Palotina – PR, cujas coordenadas geográficas são de 24° 12' latitude sul, e 53° 50' 30" longitude oeste (Greenwich), com altitude média de 332 metros

Na Classificação Climática de Köppen, o município em que foi instalado o experimento apresenta clima Cfa – mesotérmico úmido com verão quente e invernos frios ou amenos, com precipitação média anual de 1.800 mm, com verões quentes. O município apresenta temperatura média de 20° C (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2011).

No experimento, utilizou-se 12 biodigestores de bancada, cada qual representando uma parcela do experimento. Estes biodigestores foram operados em condições ambientes, ou seja, sem manutenção da temperatura em uma faixa específica. Para estimar a temperatura a qual os biodigestores foram submetidos, utilizou-se a base de dados de temperaturas mínimas e máximas horárias do INMET (2013), para encontrar a temperatura média diária durante os dias em que o experimento foi realizado. A temperatura média diária pode ser calculada através da média entre a temperatura mínima e máxima diária (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

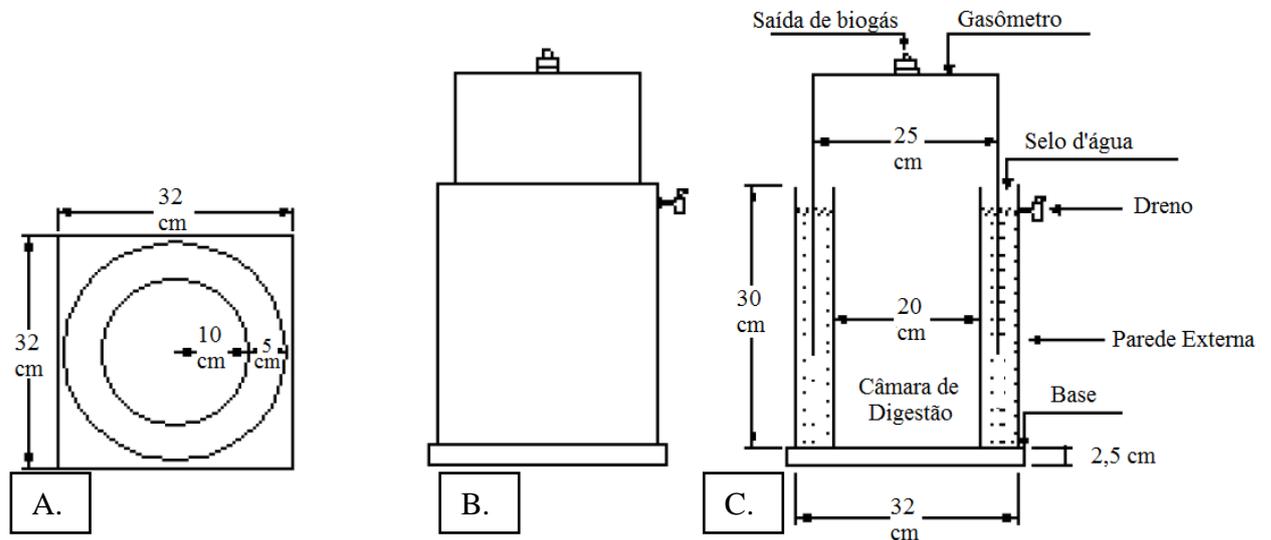
#### 3.2 Construção dos biodigestores

Construiu-se 12 biodigestores em PVC, adaptados do modelo explicado por Orrico Júnior et al. (2011). Os biodigestores do tipo batelada de bancada foram constituídos, basicamente, de três tubos de PVC com diâmetros de 200; 250 e 300 mm, acoplados sobre uma placa de PVC com 2,5 cm de espessura e capacidade de 9,4 litros de substrato em fermentação, cada. Os tubos de 200 e 300 mm foram inseridos um no interior do outro, e encaixados no centro da placa de PVC, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro interior e a parede interna do cilindro exterior pudesse comportar um volume de água (“selo de água”), atingindo profundidade de 30 cm.

O cilindro de diâmetro de 250 mm possuía uma das extremidades vedadas com um cap (ou tampão), no qual se fez um furo de 20 mm com uma serra copo, e com o auxílio de flange de vedação, fita veda-rosca, e de uma válvula de esfera própria para instalações de gás, construiu-se uma abertura para descarga do biogás. O outro lado deste tubo foi emborcado no

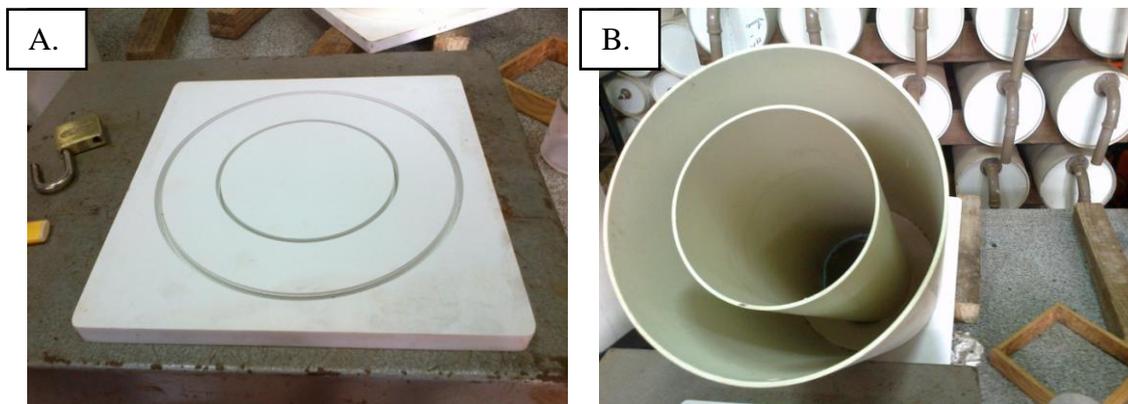
selo de água, para propiciar condições anaeróbias e servir de gasômetro, armazenando o gás produzido.

O modelo de biodigestor utilizado e explicado por Orrico Júnior et al (2011) é ilustrado no esquema da Figura 3 e nas imagens da Figura 4.



**Figura 3.** Esquema dos biodigestores de bancada. A) Detalhe da base de PVC. B) Vista lateral. C) Corte transversal do biodigestor de bancada.

Fonte: Adaptado de Orrico Jr. et al. (2011).



**Figura 4.** Biodigestores de bancada de batelada. A) Placa de PVC. B) Câmara de digestão e Selo d'água.

### 3.3 Coleta dos dejetos suínos

Os dejetos suínos foram coletados no início de cada batelada, em uma granja de suínos localizada no município de Toledo – Paraná, que opera como Unidade Produtora de Leite – UPL. A granja abriga um plantel de 320 matrizes (das quais 50 encontravam-se em lactação), três reprodutores, e 1.800 leitões em creche.

O material coletado se resumiu aos dejetos provenientes dos barracões que abrigavam as matrizes e reprodutores. Os dejetos oriundos da creche não foram coletados – visando, assim, manter maior uniformidade do material.

Os dejetos foram coletados após a limpeza úmida da granja com água sob pressão, que ocorre semanalmente, mas antes da aplicação de desinfetantes. O material foi coletado em um tanque de sedimentação encontrado na entrada do biodigestor existente na propriedade rural. O tanque havia sido esvaziado antes da limpeza da granja, de forma a não misturar o substrato novo com os sedimentos antigos.

Os dejetos foram homogeneizados no tanque de sedimentação, e então coletados com o auxílio de balde, funil grande e bombonas, utilizadas no transporte do material. Amostras dos dejetos foram reservadas e armazenadas em recipientes de 1 litro e encaminhadas para o laboratório em caixas térmicas, resfriadas, onde o material que serviu de substrato foi analisado conforme as metodologias de APHA (2005), APHA (2012) e ABNT (1996). Foram conduzidos as análise de pH, acidez, alcalinidade total, DBO, DQO, nitrogênio kjeldahl total, sólidos totais, sólidos voláteis e sulfato.

### **3.4 Condução do experimento e aplicação dos tratamentos**

O experimento foi conduzido entre os meses de outubro e dezembro. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos se constituíram de testemunha e de três diferentes produtos de limpeza e desinfecção utilizados em granjas de suínos. O experimento, com suas doze parcelas (cada uma delas representada por um biodigestor de bancada), foi repetido em três bateladas.

Cada batelada se dividiu em duas fases: na primeira, todos os biodigestores de bancada foram alimentados com nove litros de dejetos e então fechados para dar início ao processo de digestão anaeróbia. Nesta fase, todos os reatores apresentavam o mesmo conteúdo, sem contato com as substâncias inibidoras. Após fechar os reatores, a digestão anaeróbia passou a ser acompanhada.

Em média, passaram-se dois dias para que os reatores de cada batelada começassem a apresentar produção de biogás estável. Assim, após este período de estabilização, mediu-se a produção de biogás durante os próximos cinco dias. A condução desta fase do experimento teve como objetivo uniformizar a produção de biogás em todas as parcelas.

Após este tempo de digestão dos dejetos, iniciou-se a segunda fase do experimento durante a batelada: através da válvula de saída de biogás, utilizando-se de uma pipeta, inseriram-se as substâncias inibidoras que representam cada tratamento. Após a entrada desta substância, a saída de gás foi fechada novamente e a produção de biogás foi monitorada ao longo dos próximos cinco dias.

A testemunha (T1) foi composta apenas por dejetos suínos, ou seja, não houve entrada de substância inibidora após a primeira fase de estabilização da biodigestão. Nos demais casos, cada tratamento representou a solução de limpeza elaborada a partir de um produto de limpeza/desinfecção, misturado aos dejetos suínos.

Os produtos de limpeza utilizados foram um detergente surfactante comercial (T2), e dois desinfetantes (T3 e T4) utilizados na limpeza e desinfecção de granjas de suínos que operam no sistema UPL. A discriminação dos produtos que compõem os tratamentos é apresentada de forma detalhada no Anexo 1 e, de forma sintetizada, na Tabela 4 – que resume a composição dos diferentes produtos, bem como a diluição necessária para produção da solução de limpeza.

**Tabela 4.** Características físico-químicas dos dejetos utilizados no experimento

<b>Tratamento</b>	<b>Composição</b>	<b>Diluição (L/L)</b>
T2	Lauril Sulfato de Sódio	1 : 100
	Álcool Etoxilado	
	Hidróxido de Sódio	
T3	Glutaraldeído (1,5 pentanodial)	1: 2.000
	Cloreto de benzalcônio	
	Aldeído etanólico	
T4	Cloreto de alquil dimetil benzil amônio	1 : 2.000
	Poliexietilenonilfenileter	

A diluição dos produtos para a elaboração da solução de limpeza foi realizada de acordo com a recomendação dos fabricantes (Tabela 4). A proporção de solução de limpeza aplicada em cada biodigestor foi calculada considerando as dimensões das instalações da granja utilizada como modelo para este estudo, bem como a referência de 0,4 litros de solução de limpeza para cada m<sup>2</sup> da instalação (EMBRAPA, 2006; DALLANORA; MACHADO,

2010), na qual se deve limpar e desinfetar não apenas o piso da granja, mas também as divisórias de baias e paredes, mas também as divisórias de baias e paredes.

Assim, utilizando-se como referência as instalações da granja UPL na qual os dejetos foram coletados, mediu-se a área desinfetada, para verificar a quantidade de solução de limpeza e, conseqüentemente, a quantidade de detergente e desinfetante que seria utilizado nesta granja.

De forma semelhante, utilizou-se do tamanho do rebanho alojado nos barracões que tiveram sua área calculada para verificar a contribuição de dejetos destes barracões. Consideraram-se, mais uma vez, apenas as instalações que alojavam matrizes e reprodutores, desconsiderando a creche.

Sabendo-se da contribuição diária de dejetos da granja, multiplicou-se esta quantidade por 30 dias, valor referente ao Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) comumente utilizado em projetos de biodigestores rurais para suinocultura. Dividindo-se a quantidade total de detergente/desinfetante que entra no sistema de tratamento de dejetos durante a limpeza pela produção total de dejetos no mesmo período, obteve-se o teor de detergente/desinfetante que deveria ser aplicado em cada biodigestor de bancada utilizado no experimento.

A quantidade de substância inibidora adicionada em cada parcela neste experimento pode ser obtida por meio da Equação 1, apresentada na sequência, que permite calcular a quantidade de detergente ou desinfetante a ser inserida nos biodigestores de bancada em função das características de uma granja de suínos utilizada como referência (plantel e área desinfetada); e de informações técnicas dos fabricantes de produtos de limpeza e da Embrapa (2006).

$$Z = \frac{0,4 \times A \times W}{\{\sum_{i=1} (T \times Qd)\} \times 30} \times D$$

Onde,

Z – Quantidade de desinfetante a ser utilizado (L)

A – Área em metros quadrados desinfetada (m<sup>2</sup>);

W – Quantidade de dejetos utilizado em cada biodigestor de bancada (L);

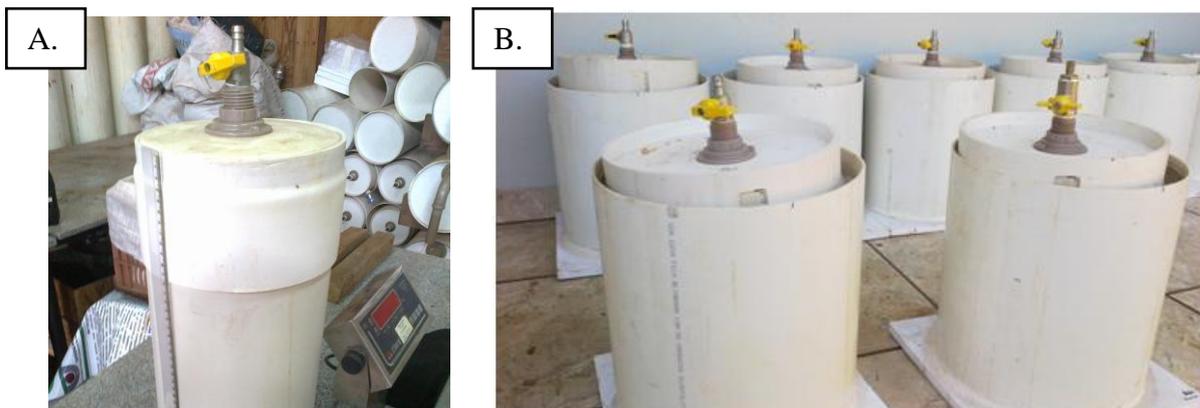
D – Diluição recomendada pelo fabricante (L/L ou adimensional) (conforme Anexo 1)

T – Produção de dejetos conforme categoria do animal (L.dia<sup>-1</sup>.cabeça<sup>-1</sup>)

Qd – Quantidade de Animais de cada categoria (cabeças)

i – Índice do somatório - Categoria de animais (categorias conforme apresentado na Tabela 1).

Durante as duas fases de cada batelada, diariamente, o deslocamento do gasômetro foi medido, com o auxílio de uma régua afixada na estrutura do biodigestor. Antes de esvaziar o gasômetro, utiliza-se de um manômetro de tubo aberto com coluna líquida (água) para medir a pressão manométrica no interior do gasômetro. Com auxílio de um termômetro digital, mediu-se a temperatura ambiente, nas proximidades do gasômetro. A Figura 5 ilustra a estrutura do gasômetro com a régua e os biodigestores em operação, com deslocamento do gasômetro.



**Figura 5.** Operação dos biodigestores. A) Estrutura do gasômetro, com a régua para medição do deslocamento e válvula de saída do biogás. B) Conjunto de biodigestores de bancada em operação, com o gasômetro flutuando sobre o selo d'água devido à produção de biogás no interior do reator.

Os dados coletados alimentam uma planilha com informações sobre a produção de biogás diária de todos os biodigestores. A partir dos dados coletados, calculou-se a produção de biogás corrigida nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), utilizando-se da Lei dos Gases Ideais, adaptando o método de quantificação de biogás proposto por Caetano (1985).

De posse destes valores corrigidos de produção de biogás, foram construídos os gráficos de produção de biogás diária e acumulada, demonstrando a produção de biogás em função dos dias monitorados (tanto nos cinco dias anteriores à entrada da solução de limpeza nos biodigestores, quanto nos cinco dias posteriores).

O comportamento dos gráficos de produção acumulada de biogás foi modelado através de regressão linear, resultando em equações cujo coeficiente de variação, obtido através da derivada da função resultante da regressão linear, representa a produção diária de biogás ao longo do período do experimento, já afetado pela entrada de substâncias inibidoras.

Observando o comportamento dos modelos, se mostrou interessante compará-los. Assim, conduziu-se o teste de tukey a 5% de significância para comparar as médias de produção diária de biogás modeladas e, assim, conhecer a influência dos detergentes e

desinfetantes testados sobre a digestão anaeróbia. Para a realização destes procedimentos, utilizou-se o pacote estatístico Assistat® version 7.5 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As três bateladas nas quais o experimento foi repetido utilizaram substrato coletado da mesma propriedade, em situações semelhantes. No entanto, variações no manejo da granja resultaram em diferentes valores para as características físico-químicas dos dejetos empregados, conforme apresentado na Tabela 5:

**Tabela 5.** Características físico-químicas dos dejetos utilizados no experimento

<b>Parâmetro</b>	<b>Batelada 1</b>	<b>Batelada 2</b>	<b>Batelada 3</b>
pH (U pH)	7,79	7,54	7,47
Acidez (mg de CaCO <sub>3</sub> /L)	29,48	19,66	19,66
Alcalinidade Total (mg/L)	3.698,53	6.319,61	4.161,25
DBO (mg/L)	2.866,73	6.390,67	2.254,90
DQO (mg/L)	14.050,00	14.050,00	10.450,00
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/L)	1.465,80	1.401,70	960,10
Sólidos Totais (mg/L)	54.301,00	29.481,00	12.920,00
Sólidos Voláteis (mg/L)	20.109,00	19.653,00	3.944,00
Sulfato (mg/L)	1.026,50	1.100,25	1.259,00

Observa-se que o pH foi bastante próximo entre as bateladas – variando entre 7,47 e 7,79. Segundo Deublin e Steinhouser (2008), o pH ótimo para os organismos metanogênicos varia entre 6,7 e 7,5. A acidez mais elevada na primeira batelada pode indicar maior quantidade de ácidos orgânicos livres neste substrato– o que pode ter acelerado o início do processo de digestão anaeróbia na primeira batelada.

A razão entre a DQO e a DBO dos substratos podem indicar a biodegradabilidade do material. As razões DQO:DBO foram de 4,9; 2,2; e 4,6, para a primeira, segunda e terceira batelada, respectivamente. Segundo Costa et al. (2009), substratos com razão DQO/DBO até 5 são consideradas biodegradáveis – e, portanto, considera-se adequado seu tratamento em sistemas biológicos, a exemplo dos biodigestores.

A relação DQO:N foi de 50:5 para a primeira batelada; de 50,1:5 para a segunda batelada; e de 54,4:5 para a terceira batelada. Chernicharo (2007) sugere uma relação DQO:N de 300 a 500:5 para a maioria dos despejos tratados com reatores anaeróbios. Segundo Deublin e Steinhouser, baixos valores para esta relação levam ao aumento da produção de

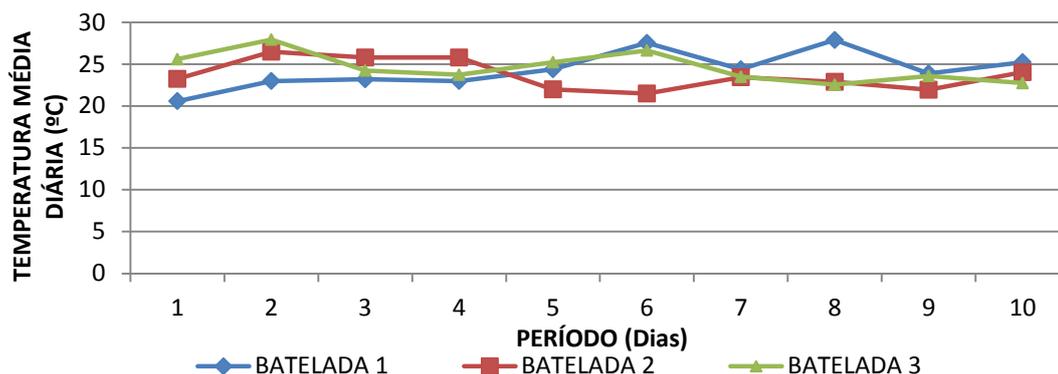
amônia, com inibição da digestão anaeróbia. No entanto, esta característica foi muito próxima para todas as bateladas – afetando de igual forma todas as repetições do experimento.

A concentração de sólidos dos dejetos diferiu entre as bateladas. A primeira batelada apresentou maior teor de sólidos, com 5,43% de sólidos totais, enquanto a segunda apresentou 2,94% e a terceira apenas 1,29%. Assim, as bateladas nas quais o substrato se mostrou mais diluído apresentaram menor potencial de produção de biogás – indicando que a quantidade de água a ser utilizada no manejo e limpeza da granja representa um fator importante quando se busca maior produção de biogás no biodigestor, conforme explicado por KUNZ (2011).

A relação SV/ST foi de 0,37 para a primeira batelada; 0,66 para a segunda batelada; e 0,30 para a terceira batelada. Segundo Bortoli et al. (2009), a relação SV/ST é um indicador de biodegradabilidade – quanto maior a relação, mais biodegradável será o substrato. Estes autores citam valores de relação SV/ST de 0,83 para dejetos suínos, enquanto Amaral et al. (2004) dejetos bovinos e encontraram relação SV/ST de 0,81 para dejetos bovinos.

Observou-se que os dejetos utilizados como substrato apresentaram baixa biodegradabilidade, devido à elevada diluição e os baixos teores de sólidos voláteis. Entretanto, salienta-se que, em cada batelada, todas as parcelas foram alimentadas com o mesmo substrato, e que as diferenças existentes entre as características dos dejetos suínos afetam apenas as comparações entre as bateladas. A diferença entre as diferentes bateladas, no entanto, são interessantes no sentido de verificar a ação de substâncias inibidoras sobre a digestão anaeróbia conduzida em condições diversas, uma vez que diferentes composições e teores de umidade de dejetos e águas residuárias influenciam no desempenho dos micro-organismos envolvidos com a digestão anaeróbia (KUNZ, 2006; DEUBLIN; STEINHOUSER, 2008).

A temperatura média diária variou pouco ao longo das semanas em que as bateladas foram conduzidas, conforme se pode observar na Figura 6. Percebe-se que ao longo do período, em todas as bateladas, a temperatura média se manteve entre 20 e 30 °C, dentro da faixa mesofílica da digestão anaeróbia. A proximidade entre os valores de temperatura das diferentes bateladas, de até  $\pm 2$  °C, segundo Deublin e Steinhouser (2008), permite que o processo de decomposição do substrato seja realizado por comunidades de micro-organismos semelhantes (MADIGAN, 2010), dentro da mesma faixa de temperatura da biodigestão.



**Figura 6.** Temperatura média diária ao longo do período das bateladas.

Nestas condições, acompanhou-se o processo de produção de biogás, conforme apresentado na Tabela 6, que apresenta as médias de produção diária de biogás das parcelas de cada tratamento, para as três bateladas. A tabela divide o período de monitoramento dos biodigestores em duas fases, representando os cinco dias anteriores e os cinco dias posteriores à entrada das substâncias inibidoras nos tratamentos T2, T3 e T4.

**Tabela 6.** Médias da produção diária de biogás ( $L \cdot dia^{-1}$ )

BAT.	TRA.	PERÍODO (Dias)													
		Antes da Entrada de Substâncias Inibidoras							Após a Entrada de Substâncias Inibidoras em T2, T3 e T4						
		1	2	3	4	5	Méd	Ac.	6	7	8	9	10	Méd	Ac.
1 <sup>a</sup>	T1	3,07	2,16	1,93	2,19	2,08	2,29	11,4	2,85	2,49	3,26	5,13	4,06	3,56	17,79
	T2	2,87	2,10	2,19	2,28	2,08	2,3	11,5	2,77	2,15	2,92	4,45	3,35	3,13	15,64
	T3	2,97	2,16	2,04	2,28	2,11	2,29	11,4	2,81	2,33	3,24	4,98	4,06	3,44	17,21
	T4	2,68	2,04	1,97	2,21	1,96	2,17	10,8	2,73	2,34	3,19	4,96	3,92	3,43	17,14
2 <sup>a</sup>	T1	0,80	1,38	1,30	1,08	1,07	1,12	5,62	0,87	0,91	1,06	1,17	1,05	1,01	5,06
	T2	1,03	0,90	1,49	1,03	0,94	1,08	5,4	0,79	1,03	1,02	1,28	1,12	1,05	5,23
	T3	0,66	1,56	1,34	1,59	0,65	1,16	5,8	0,75	0,75	1,02	1,00	0,94	0,89	4,46
	T4	1,26	1,17	1,37	1,16	0,83	1,16	5,78	0,66	0,90	1,04	0,91	1,09	0,92	4,59
3 <sup>a</sup>	T1	1,03	1,20	1,52	1,27	1,45	1,29	6,47	1,82	1,88	1,78	1,30	1,27	1,61	8,06
	T2	1,01	1,30	1,58	1,30	1,40	1,32	6,59	1,81	1,81	1,64	1,25	1,16	1,53	7,66
	T3	0,92	1,20	1,51	1,26	1,30	1,24	6,18	1,57	1,61	1,56	1,10	1,02	1,37	6,85
	T4	0,80	1,25	1,48	1,29	1,31	1,23	6,13	1,61	1,74	1,71	1,15	1,23	1,49	7,44

BAT. – Batelada; TRA. – Tratamento; Méd.-Média do período; Ac.-Acumulado do período.

Ao analisar a produção diária de biogás, pode-se dizer que, de forma geral, há uma tendência de o biodigestor produzir maiores volumes de biogás com o passar dos dias: todos os tratamentos apresentaram produção diária de biogás maior nos últimos dias de monitoramento em comparação aos primeiros dias de monitoramento. Este comportamento,

também observado na digestão anaeróbia de dejetos caprinos (ORRICO et al. 2007), dejetos bovinos (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010), e na codigestão de glicerol e biomassa residual animal (CASTRILLÓN et al., 2013), é próprio da digestão anaeróbia – e está relacionado com estabelecimento inicial, seguido do desenvolvimento e proliferação da comunidade de micro-organismos envolvidos na digestão anaeróbia – principalmente durante as primeiras fases do processo (DEUBLIN; STEINHOUSER, 2008).

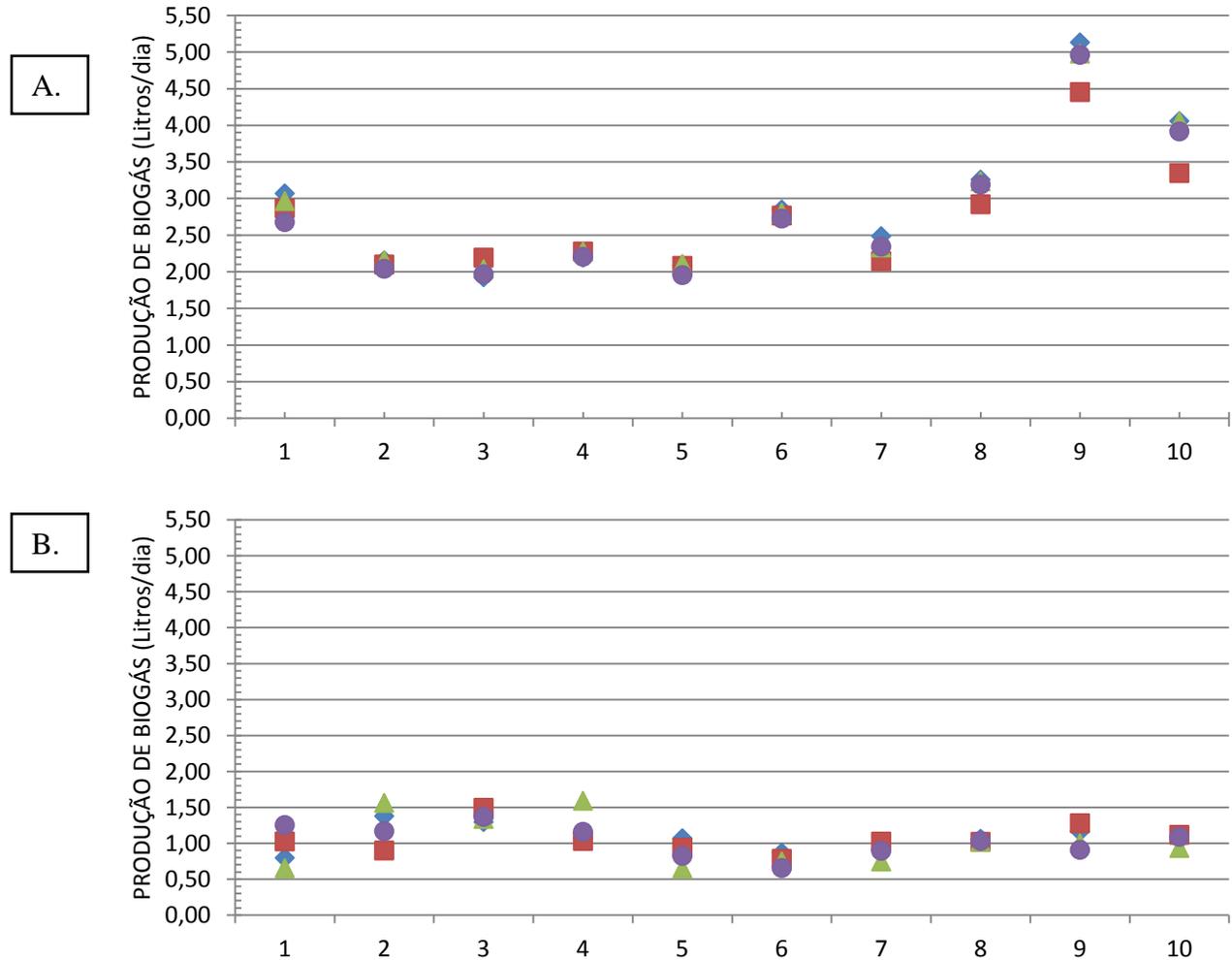
As variações existentes no comportamento da produção de biogás entre as bateladas se devem a fatores como a variação nas características físico-químicas dos dejetos utilizados em cada batelada, bem como às variações de temperatura - o que é possível verificar ao se comparar os valores de produção diária de biogás apresentados na Tabela 6 com o gráfico de temperatura média diária, apresentado na Figura 6.

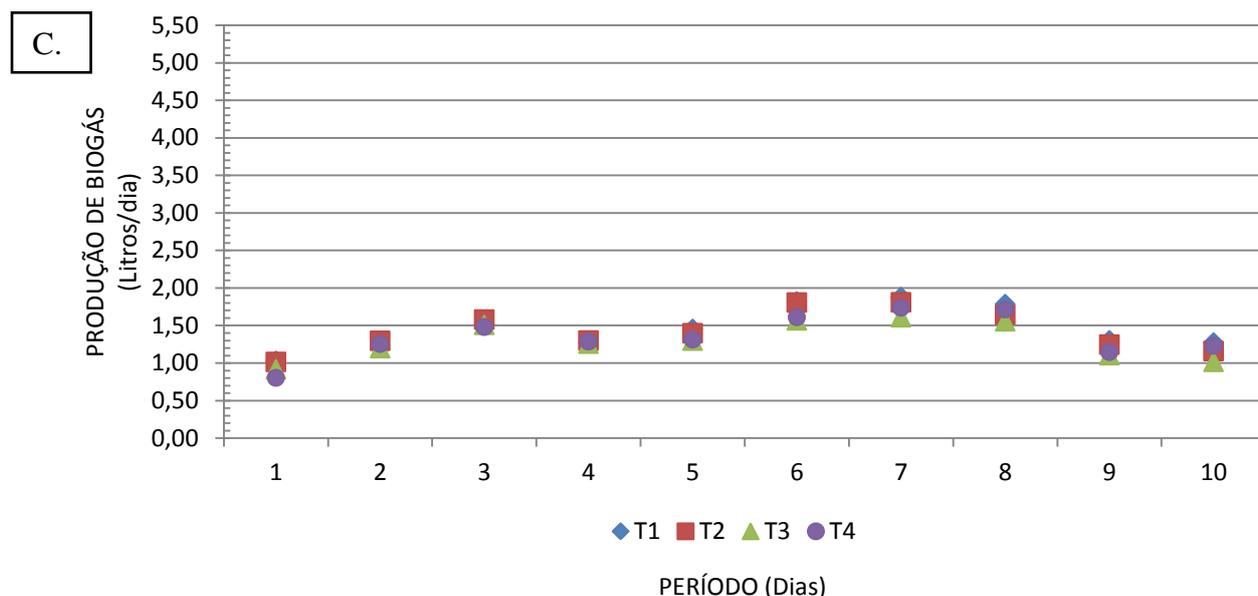
Durante a primeira batelada, a temperatura ao longo dos 10 dias de monitoramento apresentou tendência crescente, potencializando a produção de biogás. Na segunda batelada, houve uma queda de temperatura de cerca de 2 °C no quinto dia, seguido de aumento crescente. Esta queda na segunda batelada resultou em produções diárias de biogás menores durante o quinto e o sexto dia da batelada para todos os tratamentos – mas com estabilização e crescimento da produção nos dias subsequentes. A terceira batelada apresentou temperaturas médias diárias com leve tendência decrescente – mas sem grandes variações – de tal forma que a produção diária de biogás apresentou comportamento bem semelhante ao da primeira batelada – ou seja, crescente.

Segundo Hilkiyah Igoni (2007), instabilidades na produção de biogás podem ter origem na variação da faixa de temperatura média a que os micro-organismos estão sujeitos. Entretanto, ressalta-se que as alterações de temperatura afetaram todos os tratamentos de uma mesma batelada, ou seja, todas as parcelas de cada batelada estavam sujeitas a mesma variável temperatura, permitindo assim que os resultados obtidos representem adequadamente a influência de cada substância utilizada nos tratamentos. Esta influência pode ser observada nos gráficos da Figura 7, que ilustram a produção diária de biogás ao longo do período de experimento para cada batelada.

Conforme apresentado na Figura 7, verifica-se que a primeira e a terceira batelada apresentam o comportamento esperado para os primeiros cinco dias do experimento, sem diferenças entre as parcelas. Percebe-se, nestes casos, que todos os tratamentos apresentam produção diária de biogás média muito próxima até o quinto dia – antes da entrada de

quaisquer substâncias inibidoras – e que, após a aplicação dos produtos de limpeza e desinfecção nas parcelas, a produção de biogás diferencia-se, mas de forma pouco expressiva.





**Figura 7.** Produção diária média de biogás. A) 1ª. Batelada. B) 2ª. Batelada. C) 3ª. Batelada.

Tanto na primeira quanto na terceira batelada, após a aplicação das substâncias inibidoras, os biodigestores que serviram de testemunha (branco – T1), ou seja, aqueles nos quais não houve aplicação de produtos de limpeza, apresentaram produção de biogás levemente superior aos demais – com uma diferença de produção pouco representativa.

Na primeira batelada, desde o princípio houve uma produção acentuada de biogás em todos os tratamentos. A partir da aplicação de detergentes e desinfetantes, ao longo dos cinco dias posteriores a esta inoculação, o tratamento T2, que representa a entrada de detergente no biodigestor, passou a apresentar produção de biogás inferior aos demais tratamentos – diferença que foi se acentuando ao longo dos dias. Os demais tratamentos apresentaram comportamento semelhante entre si, com a testemunha (T1) apresentando resultados levemente superiores, enquanto T2 apresentou produção de biogás 17% inferior a média dos demais tratamentos.

Na segunda batelada, todos os tratamentos apresentaram comportamento semelhante ao longo de todo o período: não houve grande divergência entre a produção de biogás dos tratamentos e a queda na produção a partir do quinto dia está relacionada à queda nas temperaturas médias ao longo do período. Ainda assim, de forma geral, a produção diária de biogás foi muito próxima para todos os tratamentos – indicando não ter havido inibição na produção.

A terceira batelada se caracterizou pela produção de biogás bastante semelhante entre os tratamentos no período do experimento. A testemunha (T1) apresentou resultados

levemente superiores aos tratamentos que receberam algum tipo de produto de limpeza, mas sem grandes diferenças entre eles.

Ainda assim, deve-se notar que estas diferenças são pouco acentuadas, e representam a inibição pontual após a entrada de substâncias danosas à comunidade responsável pela digestão anaeróbia. Segundo Deublin e Steinhouser (2008), em um momento inicial, a produção de biogás pode ser prejudicada, mas existe uma tendência de as comunidades de micro-organismos se recuperarem após o impacto inicial da entrada de substâncias inibidoras, devido a adaptação dos micro-organismos.

A representação do quanto à produção de biogás foi afetada pela entrada de substâncias inibidoras se mostrou mais clara através do conhecimento da produção acumulada de biogás ao longo dos dias em que o estudo foi conduzido, conforme apresentado na Tabela 7.

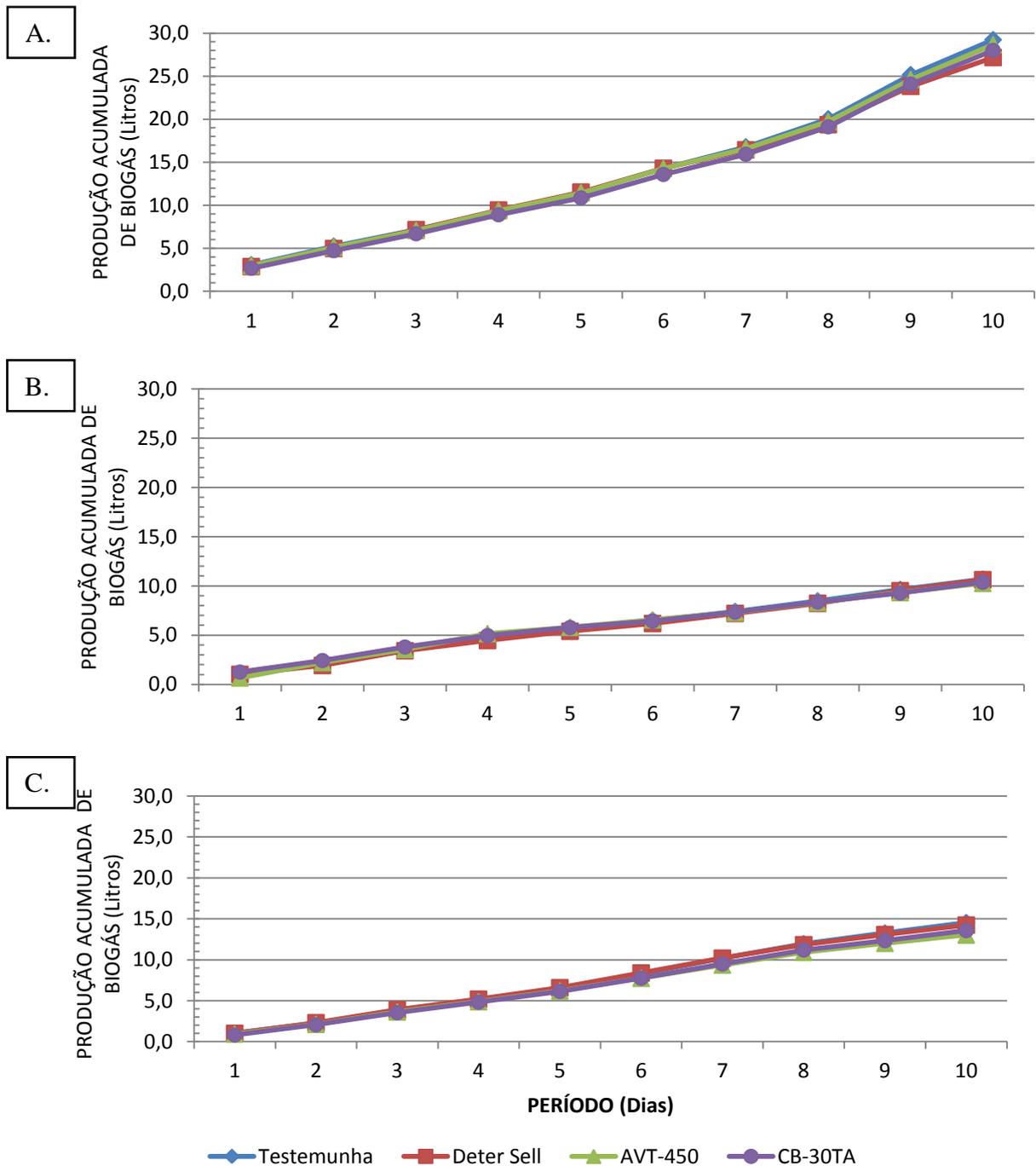
**Tabela 7.** Produção acumulada de biogás (L)

Batelada	Tratamento	Parcela	Dias									
			Antes da Entrada de Substâncias Inibidoras					Após a Entrada de Substâncias Inibidoras				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	T1	1	3,172	5,2	6,899	9,022	10,836	13,214	15,814	18,935	23,503	27,379
		2	3,216	5,33	7,369	9,576	11,897	15,027	17,584	20,661	25,864	30,037
		3	2,824	5,154	7,193	9,444	11,554	14,601	16,905	20,487	26,115	30,244
	T2	4	2,738	5,026	7,319	9,568	11,804	14,81	17,623	21,416	27,001	31,428
		5	2,998	5,025	7,36	9,695	11,805	14,561	16,691	19,431	23,785	27,189
		6	2,868	4,852	6,805	9,056	10,955	13,501	14,993	17,228	20,653	22,866
	T3	7	3,042	4,984	6,98	9,484	11,552	14,389	17,029	20,655	26,153	30,879
		8	3,215	5,2	7,323	9,233	11,173	13,762	15,679	18,25	21,971	24,992
		9	2,694	5,153	6,893	9,354	11,59	14,636	17,023	20,268	25,681	30,067
	T4	10	2,911	5,154	7,446	9,695	11,889	14,645	17,031	20,53	25,818	29,906
		11	2,39	4,158	5,559	7,299	8,65	10,945	13,034	15,478	19,368	22,774
		12	2,737	4,851	7,06	9,688	12,009	15,14	17,699	21,326	27,039	31,295
2	T1	1	0,684	2,162	3,558	4,705	5,748	6,734	7,589	8,652	9,719	10,442
		2	0,685	1,953	3,18	4,115	5,071	5,756	6,738	7,844	9,082	10,273
		3	1,028	2,423	3,691	4,838	6,055	6,999	7,895	8,917	10,112	11,345
	T2	4	1,069	1,745	3,056	3,778	4,386	5,071	6,054	6,99	8,313	9,291
		5	1,37	2,088	3,78	4,842	6,233	7,091	8,33	9,478	10,93	12,502
		6	0,642	1,953	3,435	4,752	5,578	6,393	7,247	8,226	9,292	10,1
	T3	7	0,471	2,247	3,856	5,449	6,1	6,85	7,598	8,619	9,621	10,557
		8	1,198	2,636	3,778	5,434	6,39	7,119	8,229	9,421	10,701	11,636
		9	0,3	1,777	3,045	4,574	4,922	5,694	6,078	6,929	7,654	8,589
	T4	10	0,941	2,294	3,225	4,5	5,195	5,881	6,863	7,587	8,141	9,289
		11	1,242	2,045	3,526	4,503	5,242	5,885	6,782	7,846	9,084	9,934

		12	1,584	2,937	4,63	5,863	6,906	7,549	8,36	9,68	10,619	11,894
		1	1,056	2,185	3,551	4,726	6,081	7,76	9,681	11,223	12,199	13,4
	T1	2	1,057	2,269	3,763	5,021	6,375	8,097	9,763	11,476	12,75	13,994
		3	0,972	2,226	3,933	5,316	6,967	9,025	11,076	13,175	14,832	16,204
		4	0,845	1,932	3,341	4,389	5,489	7,043	8,538	9,866	10,885	11,958
	T2	5	1,141	2,52	4,142	5,525	7,049	8,813	10,693	12,364	13,595	14,71
		6	1,057	2,478	4,185	5,653	7,219	9,319	11,37	13,298	14,785	16,072
3		7	1,057	2,437	4,016	5,4	6,67	8,224	9,761	11,302	12,406	13,307
	T3	8	0,845	1,89	3,17	4,302	5,741	7,169	8,835	10,377	11,226	12,256
		9	0,846	2,016	3,681	4,938	6,124	7,845	9,469	11,054	12,413	13,528
		10	0,634	1,972	3,55	4,892	6,289	7,926	9,805	11,561	12,708	14,036
	T4	11	0,845	2,141	3,549	4,807	6,289	7,885	9,594	11,307	12,411	13,741
		12	0,929	2,058	3,509	4,767	5,825	7,421	9,045	10,716	11,905	12,935

Observando a quantidade de biogás acumulada em cada dia, percebe-se que os valores acumulados a cada dia foram muito próximos para todas as parcelas de cada batelada. Isto demonstra que embora tenha havido variações na produção diária em cada parcela (como foi analisado anteriormente), a proximidade dos valores acumulados a cada dia, tanto antes quanto depois da entrada de detergente e desinfetantes, indica que a inibição causada por estas substâncias foi pouco intensa.

Estes dados também demonstram uma tendência de crescimento linear do biogás acumulado, em todas as bateladas, durante o período de realização do experimento – que corresponde à acidogênese. Este comportamento também foi observado nos trabalhos de Bueno (2010), Xavier e Lucas Júnior (2010), Castrillón et al. (2011), entre outros – sendo próprio de biodigestores operando sob condições estáveis durante as primeiras semanas após a alimentação com substrato. A visualização desta tendência é apresentada na Figura 8, que ilustra os gráficos construídos a partir das médias da produção acumulada em cada tratamento.



**Figura 8.** Produção acumulada de biogás. A) 1ª. Batelada. B) 2ª. Batelada. C) 3ª. Batelada.

Conforme observado, nas três bateladas observou-se o comportamento de crescimento linear. Observou-se também que os valores acumulados nos tratamentos foram muito próximos nas três bateladas. Este resultado também indica que houve baixa ação das substâncias inoculadas sobre a digestão anaeróbia. Observada esta tendência, desenvolveu-se uma regressão linear para os valores de biogás acumulados em cada parcela das três bateladas. As equações e os coeficientes de determinação  $R^2$  obtidos são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Regressão linear da produção acumulada de biogás

Tratamento	Parcela	BATELADA 1		BATELADA 2		BATELADA 3	
		Regressão	R <sup>2</sup>	Regressão	R <sup>2</sup>	Regressão	R <sup>2</sup>
T1	1	2,5995x - 0,8998	0,9715	1,0656x + 0,1384	0,9929	1,4308x - 0,6835	0,9956
	2	2,9014x - 1,3017	0,9764	1,0186x - 0,1327	0,996	1,4807x - 0,6873	0,9979
	3	2,9418x - 1,7281	0,9705	1,1086x + 0,2329	0,9971	1,7629x - 1,3235	0,996
T2	4	3,0891x - 2,1166	0,9714	0,8918x + 0,0703	0,9919	1,2685x - 0,5483	0,9979
	5	2,6251x - 0,5838	0,9877	1,2236x - 0,0655	0,9965	1,5638x - 0,5457	0,9975
	6	2,2004x + 0,2757	0,9954	1,0227x + 0,1367	0,9902	1,7339x - 0,9932	0,997
T3	7	2,9272x - 1,7634	0,9733	1,051x + 0,3562	0,9757	1,4007x - 0,2458	0,9975
	8	2,3634x + 0,0813	0,9891	1,1377x + 0,3967	0,9953	1,3279x - 0,7222	0,9961
	9	2,9272x - 1,7634	0,9733	0,8511x + 0,2749	0,9678	1,4491x - 0,7788	0,9982
T4	10	2,8956x - 1,4236	0,9749	0,8827x + 0,537	0,9904	1,5285x - 1,0695	0,998
	11	2,1759x - 1,0019	0,9702	0,949x + 0,3897	0,9945	1,4709x - 0,8327	0,9981
	12	3,0959x - 2,1433	0,9747	1,0906x + 1,0041	0,9898	1,3785x - 0,6705	0,9972

Os valores elevados de R<sup>2</sup>, bem superiores a 0,7 em todos os casos, indicam que o modelo linear desenvolvido se ajusta ao comportamento da produção acumulada de biogás observado durante o experimento. Os coeficientes angulares dos modelos gerados variaram entre 2,1759 e 3,0959 na primeira batelada, entre 0,8511 e 1,2236 na segunda batelada, e entre 1,2685 e 1,7629 na terceira batelada. De forma geral, dentro de cada batelada, houve pequena variação no coeficiente angular – sugerindo, mais uma vez, pouca diferença entre os tratamentos.

Nos modelos gerados, o coeficiente angular representa o volume de biogás produzido diariamente nesta fase da digestão anaeróbia. A regressão linear realizada considerou os dez dias de cada batelada – logo, os valores do coeficiente angular devem ser menores nas parcelas em que a digestão anaeróbia é afetada por inibição. Para verificar se houve diferença estatística entre os tratamentos, conduziu-se a análise de variância dos coeficientes angulares da produção acumulada de biogás, bem como o teste de médias de tukey a 5% de significância, para cada batelada. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9.** Teste de Média dos Coeficientes Angulares

Batelada 1		Batelada 2		Batelada 3	
Tratamento	Média*	Tratamento	Média*	Tratamento	Média*
T1	2,8144a	T1	1.0643a	T1	1,5581a

T2	2,6382a	T2	1,0460a	T2	1,5221a
T3	2,7393a	T3	1,0133a	T3	1,3926a
T4	2,7225a	T4	0,9741a	T4	1,4593a
dms	0,9894	dms	0,3278	dms	0,4072
CV%	13,86	CV%	12,24	CV%	10,5
F	0,1096	F	0,2999	F	0,6563

\* As médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

dms – diferença mínima significativa

CV% - coeficiente de variação

F – Estatística F

Os resultados apresentados demonstram que as médias do coeficiente angular, ou seja, a quantidade de biogás produzida diariamente é estatisticamente igual entre todos os tratamentos – ou seja, a entrada de detergente e desinfetante nos biodigestores na dosagem utilizada foi insuficiente para causar uma redução considerável na produção de biogás durante acidogênese. Este comportamento foi observado nas três bateladas – o que corrobora os resultados obtidos.

Hobson (1991) e Chen, Cheng e Creamer (2007) descrevem que os desinfetantes e detergentes representam substâncias capazes de causar inibição na produção de biogás quando encontrada acima de determinadas concentrações nos dejetos, caso contrário, não causam inibição. Estes autores citam que, de forma geral, concentrações abaixo de 30 ppm destas substâncias não inibem a produção de biogás. Deublin e Steinhouser (2008) defendem que a inibição por desinfetantes pode se iniciar a concentrações de 1 a 100 ppm – dependendo da composição dos desinfetantes e da adaptação dos micro-organismos a estas substâncias.

Neste estudo, para o detergente, a concentração utilizada equivaleu a 48 ppm, enquanto para os desinfetantes equivaleram a 2 ppm do volume total dos biodigestores de bancada. Indiferentemente, os resultados obtidos mostraram que nestas concentrações, nenhum dos produtos causou inibição na produção de biogás.

Salienta-se que as concentrações utilizadas simulam a diluição e as doses recomendadas pelo fabricante e as quantidades de solução necessária na limpeza e desinfecção eficiente das instalações de suinocultura, segundo Embrapa (2006) e Dallanora e Machado (2010). Entretanto as informações encontradas na literatura técnico-científica se restringem à recomendações de dosagem voltadas apenas a limpeza e desinfecção da granja – sem abordar os efeitos destes produtos e doses na produção de biogás em sistemas de tratamento de dejetos suínos.

## 5. CONCLUSÕES

As doses e volumes de solução de limpeza consideradas eficientes na desinfecção de instalações de suinocultura não inibem de forma significativa a produção de biogás durante a acidogênese – devido às baixas concentrações em que se encontram dentro do biodigestor.

Assim, os resultados obtidos vêm a somar com o conhecimento existente a respeito da utilização de detergentes surfactantes e desinfetantes na suinocultura – ao demonstrar que as doses e volumes de solução de limpeza recomendada pela literatura além de se mostrarem eficientes na limpeza e desinfecção das instalações, não afetam significativamente a produção de biogás em biodigestores tratando dejetos suínos.

Entretanto, os resultados de F maiores que 0,05 representam resultados não significativos – provavelmente devido ao número de repetições utilizadas no experimento.

## 6. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

O modelo de reator anaeróbio utilizado no experimento se mostrou adequado à condução da digestão anaeróbia – e permitiu que, durante o processo, fossem inseridos os produtos de limpeza e desinfecção – procedimento importante quando o objetivo inclui avaliar a potencial inibição pontual da digestão anaeróbia.

Sugere-se a realização de novos estudos, testando diferentes doses dos produtos de limpeza comumente utilizados na suinocultura, e buscando obter qual é a dosagem de solução de limpeza e desinfecção que se mostra crítica para a digestão anaeróbia de dejetos suínos, capaz de inibir a produção de biogás. Sugere-se que estes novos estudos utilizem maior número de repetições, e também controle da temperatura dos biodigestores – visando controlar esta variável.

Estudos compreensivos sobre o tema inibição também devem considerar a análise da composição do biogás, buscando verificar se os efeitos causados pelas substâncias inibidoras nas comunidades envolvidas com a digestão anaeróbia podem desequilibrar o processo e, assim, resultar em uma mistura de gases diferente.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALTAS, L. Inhibitory effect of heavy metals on methane-producing anaerobic granular sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v. 162, n. 2-3, 1551-1556, 2009.
- AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, v.34, n.6, p. 1897-1902, 2004.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. Ed. Washington: AWWA/APHA/WEF, 2005.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. Ed. Washington: AWWA/APHA/WEF, 2012.
- ANDRADE, M. A. N., RANZI, T. J. D., MUNIZ, R. N. *et al.* **Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental**. In: Encontro de Energia no Meio Rural 4., Campinas, 2002.
- ANGELIDAKI, I.; ELLEGAARD, L.; AHRING, B.K. A mathematical model for dynamic simulation of anaerobic digestion of complex substrates: focusing on ammonia inhibition. **Biotechnology Bioenergy**. n. 42, 1993.
- ASSENHEIMER, A. Benefícios do uso de biossólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. **Ambiência**, v.5 n.2, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA – ABIPECS. **Relatório anual sobre carne suína brasileira**. São Paulo, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS – ABCS. **Manual brasileiro de boas práticas na produção de suínos**. Brasília, DF: ABCS; MAPA; Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT -. **NBR 13736/96 – Água – Determinação de alcalinidade – Método titulométrico**. 1996.
- AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M.; CHAVES, L. I.; NOGUEIRA, C. E. C.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SECCO, D. Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.456-462, 2013.
- BORTOLI, M.; KUNZ, A.; SOARES, H. M. **Comparativo entre reatores UASB e biodigestores para geração de biogás no tratamento de dejetos de suínos**. In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Animais, 1. Anais... Florianópolis: SIGERA, 2009.

BUENO, R. F. Comparação entre biodigestores operados em escala piloto para produção de biogás alimentado com estrume bovino. **Holos Environment**, v. 10, n.1, 2010.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; *et al.* Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 823-831, 2011.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

CASSINI, S. T.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDREOLI, C. V.; FRANÇA, M.; BORGES, E. S. M.; GONÇALVES, R. F. Hidrólise e atividade anaeróbia em lodos. In: CASSINI, S. T. **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rio de Janeiro : ABES, RiMa, 2003.

CASTAMANN, A. **Aplicação de dejetos líquidos de suíno na superfície e no sulco em solo cultivado com trigo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, 2005.

CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; ORMAECHEA, P.; MARAÑÓN, E. Methane production from cattle manure supplemented with crude glycerin from biodiesel industry in CSTR and IBR. **Bioresource Technology**, v. 127, p. 312-317, 2013.

CAVALCANTI, S. S. **Produção de suínos**. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, p.4044-4064, 2008.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA-UFGM. 245 p. 2007.

COLLINS, G.; WOODS, A.; MCHUGH, S.; CARTON, M. W.; O'FLAHERTY, V. Microbial community structure and methanogenic activity during start-up of psychrophilic anaerobic digesters treating synthetic industrial wastewater. **Microbiology Ecology**. v.46, p. 159-170, 2003.

CORRÊA, J. C.; NICOLOSO, R. D. S.; MENEZES, J. F. S.; *et al.* Critérios técnicos para recomendação de biofertilizante de origem animal em sistemas de produção agrícolas e florestais. **Comunicado Técnico - Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves**, v. 486, p. 1-8, 2011.

CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. **Journal of Environmental Quality**, v 27 n 2, 1998.

COSTA, G. C. M.; PINTO A. G. N.; MIRANDA, S. A. F.; SILVA, M. S. R. Avaliação da DBO e DQO do efluente final da estação de tratamento ecológico de esgoto (ETEE) do INPA. In: Reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 61, **Anais...** Manaus, AM, 2009. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/61ra/resumos/resumos/4222.htm>>. Acesso em: 16 set. 2013.

COSTA, M. J. C.; SOUSA, J. T.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SANTOS K. D. Co-digestão anaeróbia de substâncias surfactantes, óleo e lodo de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, 2007.

DALLANORA, D.; MACHADO, I. P. Manual de manejo em maternidade e creche. In: ALBERTON, G. C.; ZOTTI, E. (Org). **Tópicos em sanidade e manejo de suínos**. Sorocaba, SP: Curuca; Campinas, SP : Sanphar, 2010.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; *et al.* **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada..** In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., Campinas, 2002.

DEMIREL, B.; YENIGUN, O. Two-phase anaerobic digestion processes: a review. **Journal Chemical Tech. Biotechnology** 77, p.743–755, 2002

DEUBLIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources: an introduction**. 1ª ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

DORS, G. **Hidrólise enzimática e biodigestão de efluentes da indústria de produtos agrícolas**. 2006. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Boas práticas de produção de suínos**. Circular Técnica, n. 50, Concórdia, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Limpeza e desinfecção em suinocultura. **Suinocultura dinâmica**, ano VI, n. 20, Concórdia, 1998.

FERRAZ, J. M. G., MARRIEL, I. E. **Biogás: Fonte Alternativa de Energia**. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas (MG). 27p, 1980.

FRARE, L. M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA, N. C. Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás. In: **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, jun. 2009.

GONZALES-GIL, G.; KLEEREBEZEM, R.; LETTINGA, G. Conversion and toxicity characteristics of formaldehyde in aceticlastic methanogenic sludge. **Biotechnology Bioenergy**, n.79, p.314–322, 2002.

HOBSON, P.N., 1991. The treatment of agricultural wastes. In: Wheatley,A. (Ed.), **Anaerobic Digestion: A Waste Treatment Technology**.Elsevier Applied Science, London, 1991.

HOODA, P.S.; EDWARDS, A.C.; ANDERSON, H.A. & MILLER, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. **Science of the Total Environment**, 250:143-147, 2000.

INOUE, K. R. A.; SOUZA, C. F.; MATOS, A. T.; SANTOS, N. T.; ALVES, E. E. N. Características do solo submetido a tratamento com biofertilizantes obtidos na digestão da manipueira. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.4, n.2, p. 47-52, jun. 2010.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Médias históricas em estações do IAPAR:** Palotina. 2011. Disponível em

<[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Palotina.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Palotina.htm)>. Acesso em 11 de março de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção pecuária municipal**. IBGE : Rio de Janeiro, v.39, 2011.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

KONZEN, E. A. Fertilização de Lavoura e Pastagem com Dejetos de Suínos e Cama de Aves. **Circular Técnica - Embrapa Milho e Sorgo**, v. 31, p. 1-10, 2003.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agronômicos e ambientais. **Circular Técnica - Embrapa Milho e Sorgo**, v. 63, p. 1-16, 2005.

KUNZ, A. Biodigestão anaeróbia, parâmetros de interesse e manejo de instalações. In: **Capacitação em tecnologias do biogás para operação e tomada de decisão em condomínios de agroenergia**, Foz do Iguaçu, 2011.

KUNZ, A. **Experiência da Embrapa com biodigestão anaeróbia de dejetos suínos**. In: Anais da Reunião Técnica sobre Biodigestores para tratamento de dejetos de suínos e uso de biogás. Documento 106 : Embrapa, 2006.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de. **Biodigestores: avanços e retrocessos**. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 2004.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1033-1044, 2004.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; BELLI FILHO, P.; *et al.* Bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos. In: CASSINI, S. T. **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rio de Janeiro : ABES, RiMa, 2003.

LETTINGA, G.; REBAC, S.; ZEEMAN, G. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. **Trends in Biotechnology**, v. 19, n.9, 2001.

LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial**. São Paulo, Edgard Blücher, v.4, 2011.

LIU, T., SUNG, S., Ammonia inhibition on thermophilic acetoclastic methanogens. **Water Science Technology**. n.45, 2002.

LUCAS JR. J. **Estudo comparativo de biodigestores modelo Indiano e Chinês**. 1987. 114f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1987.

- MADIGAN, M. T. et al. **Microbiologia de Brock**. 12° Porto Alegre: Artmed, 2010.
- MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia** - Noções básicas e climas do Brasil, 1 ed., São Paulo: ed. Oficina de Texto, 2007.
- MENSAH, K. A.; FORSTER, C. F. An examination of the effects of detergents on anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v. 90, n. 2, p 133-138, 2003.
- MIELE, M; WAQUIL, P. D. Estrutura e dinâmica dos contratos na suinocultura de Santa Catarina: um estudo de casos múltiplos. **Estud. Econ.**, São Paulo, v. 37, n. 4, 2007.
- MOTTA, F. S. **Produza sua Energia** - Biodigestores Anaeróbios. Editora S.A, Recife (PE). 144p, 1986.
- NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos**: implementação de aplicativo computacional. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.
- NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão a Alternativa Energética**. Editora Nobel, São Paulo. 93p, 1986.
- OLIVEIRA, M. M. Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense. 2012. 33 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- OLIVEIRA, P. A. V.; COSTA, R. H. R.; TROGLIO, J. **Lagoons for treatment of waste products from hogs: example of Coopercentral**. In: International specialist conference and workshop of waste stabilization ponds technology and applications. Anais. João Pessoa, p.164-177, 1995.
- OLIVEIRA, P. V. A. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1993. 188p.
- OLIVEIRA, S. V. W. B.; MORAES, E. M.; ADORNO, M. A. T.; VARESCHE, M B. A.; FORESTI, E.; ZAIAT, M. Formaldehyde degradation in na anaerobic packed-bed bioreactor. **Water Research**, v. 38, n. 7, 1685-1694, 2004.
- OLIVEIRA, W. **Uso de água residuária de suinocultura em pastagens da Brachiaria Decumbens e Grama Estrela Cynodom Plectostachym**. 2006. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Produção animal e meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, 2011.
- ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprino. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p. 639-647, 2007.

OUROFINO AGRONEGÓCIO. **Desinfetantes – CB-30 T.A.** Disponível em: <<http://www.ourofino.com/saude-animal/aves-e-suinos/produtos/desinfetantes/cb-30-t-a.html>>. Acesso em: 03 jul. 2013.

PEREIRA, B. D.; MAIA, J. C. S.; CAMILOT, R.. Eficiência técnica na suinocultura: efeitos dos gastos com meio ambiente e da renúncia fiscal. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 12, n. 2, 2008.

POLY SELL. **Produtos – AVT-450.** Disponível em: <[http://www.polysell.com.br/produtos\\_3.aspx?lang=pt](http://www.polysell.com.br/produtos_3.aspx?lang=pt)>. Acesso em: 03 jul. 2013.

POLY SELL. **Produtos – DETER SELL-CB.** Disponível em: <[http://www.polysell.com.br/produtos\\_7.aspx?lang=pt](http://www.polysell.com.br/produtos_7.aspx?lang=pt)>. Acesso em: 03 jul. 2013.

POMPERMAYER, R. S., PAULA JÚNIOR, D. R. **Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos.** In: Anais do 3º. Encontro de Energia no Meio Rural, 3, Anais... Campinas, SP, 2003.

RIZZONI, L. B.; TOBIAS, A. C. T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J. A. D. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica De Medicina Veterinária**, Alfenas, p.7-8, 2012.

RODRIGUES, A. F. S.; FONSECA, D. S.; HIDER, M.; PARAHYBA, R. E.; CAVALCANTE, V. M. M. Agrominerais: recursos e reservas. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (Eds.). **Agrominerais para o Brasil**. CETEM, 2010.

RUIZ, R. L.. **Microbiologia Zootécnica**. São Paulo: Roca, 1992.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômico e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade.** 2007. 219 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SALOMON, K. R.; LORA. E. E. S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and bioenergy**, v. 33, p. 1101-1107, 2009.

SCHUCH, S. L. **Agroenergia da biomassa residual animal**: Oportunidade de negócio e renda, na região oeste do Paraná. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. **Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil**: options for the future. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 194-209, 2006.

SILVA, A. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; XAVIER, C. A. N.; *et al.* **Custo de implantação e viabilidade econômica de um biodigestor tubular de manta de PVC flexível com diferentes substratos.** In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais, 1, Anais..., Florianópolis – SC, 2009.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.4, n.1, p. 71-78, 2002.

SILVA, W. R. **Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais**. 2009. 175 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. USA: McGraw-Hill, 1993.

UPNMOOR, I. **Produção de suínos: a matriz**. Guíba, RS: Agropecuária, 2000.

WEIRICH NETO, P. H.; ROCHA, C. H. Caracterização da produção agropecuária e implicações ambientais nos Campos Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. Cap

WIEGEL, J. Temperature spans for growth: hypothesis and discussion. **FEMS Microbiol. Rev.** n.75, p. 155–170, 1990.

XAVIER, C. A. N; LUCAS JÚNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, mar/abr 2010.

YANG, S. T.; GUO, M. Kinetics of methanogenesis from whey permeate in packed bed immobilized cells bioreactor. **Biotechnology Bioengineering**, 36:427, 1990.

YUE-LIN, C. Effect of heavy metals on acidogenesis in anaerobic digestion. **Water Research**, v. 27, n. 1, p. 147-152, 1993.

## ANEXO 1

Os produtos de limpeza e desinfecção utilizados no experimento foram: Detergente Surfactante DETER SELL-CB (T2); Desinfetante AVT-450 (T3); e Desinfetante CB-30 TA (T4). Assim, os tratamentos foram distribuídos nas parcelas de forma aleatória, conforme o Quadro I.

Quadro I. Distribuição dos tratamentos nas parcelas

Parcela	Tratamento
T1	TESTEMUNHA
T2	DETER SELL- CB
T3	AVT- 450
T4	CB- 30 TA

DETER SELL-CB (T2) é um detergente desincrustante de pH neutro, biodegradável, não clorado, utilizado na limpeza úmida de instalações de suinocultura, utilizado para auxiliar no processo de desinfecção, evitar a formação de biofilmes e quebrar o ciclo de infecções (POLY SELL, 2013).

O desinfetante AVT-450 (T3) é um composto desinfetante biodegradável a base de amônia quaternária, glutaraldeído, aldeído etanólico e potencializadores químicos, utilizado como viricida, fungicida, bactericida e esporicida (POLY SELL, 2013).

O desinfetante CB-30 TA (T4) tem como principal composto o cloreto de alquil dimetil benzil amônio (100%), que é um agente catiônico de atividade em superfície, e também possui polioxietilenonilfenileter em sua fórmula, em menor concentração. Este desinfetante é utilizado como germicida, no controle de bactérias, fungos e esporos (OUROFINO AGRONEGÓCIO, 2013).

As informações técnicas e recomendações destes produtos, conforme o fabricante, são dadas a seguir:

### I. Detergente DETER SELL-CB

#### Composição

Cada 1000 mL contém:

Lauril Sulfato de Sódio 96% ..... 21,0 g

Álcool Etoxilado ..... 8,30 g

Hidróxido de Sódio ..... 4,00 g  
Água deionizada ..... 100,00 mL

### **Dados do Produto**

O DETER SELL-CB® é um detergente desincrustante de pH neutro e comprovado poder superior de limpeza, desenvolvido para uso veterinário e industrial e disponíveis nas embalagens de 1 litro, 5, 20 e 50 litros.

A POLY SELL® a alguns anos reconheceu a carência dos mercados veterinário e industrial por um composto detergente de alto poder de limpeza e que apresentasse em sua fórmula algumas características desejáveis e únicas, as quais agora, após um período de intensas pesquisas e desenvolvimento, se encontram presentes no produto DETER SELL-CB®:

- PH Neutro
  - Único detergente desincrustante de pH neutro registrado no MAPA.
- Totalmente Biodegradável
  - Não causa impactos negativos ao meio-ambiente.
- Não Clorado
  - Pode ser usado em qualquer tipo de equipamentos/superfícies, não tendo poder corrosivo sobre os mesmos.
- Facilidade de Aplicação e Enxágue
  - Aplicação perfeitamente possível com equipamentos básicos, tais como regadores e baldes. Seu enxágue é simples e rápido.
- Excelente Relação Custo/Benefício
  - Alto poder de limpeza com baixo custo.
- O uso do DETER SELL-CB® promove:
  - Aumento da vida útil de instalações e equipamentos.
  - Melhor desempenho dos Desinfetantes.
  - A redução do custo com antibioticoterapia.
  - Remoção de 3 a 4 logs dos micro-organismos.
  - Atinge pontos críticos (ranhuras e porosidades) evitando a formação de biofilmes.
  - Reduz o desafio de doenças (quebra de ciclo de infecções).

A limpeza pode-se dividir em Limpeza Seca e Limpeza Úmida. Esta limpeza deverá iniciar no máximo 3 horas após a saída dos animais da instalação.

- Suinocultura - Limpeza seca:
  - Retirada de Equipamentos (Aquecedores, acessórios, comedouros, etc.).
  - Recolher restos de ração dos cochos.
  - Remoção mecânica de dejetos e sujidades com pás, enxadas e vassouras.
- Limpeza úmida:
  - Pré-lavagem com alta pressão.
  - Escoamento da água.
  - Aplicação DETER SELL-CB® na diluição de 1:100 a 1:300.
  - Enxague com pressão.
  - Aplicação de Solução Desinfetante.
  - Secagem da instalação.

## II. Desinfetante AVT – 450 (POLY SELL, 2013).

### Fórmula:

Cada 100 mL contém:

Glutaraldeído (1,5 pentanodial) a 50% .....	32,0 g
Cloreto de benzalcônio a 80% .....	10,0 g
Aldeído etanólico a 40% .....	3,0 g
Água deionizada q.s.p .....	100,0 mL

### Dados do Produto:

O AVT-450® é um composto desinfetante a base de amônia quaternária, glutaraldeído, aldeído etanólico e potencializadores químicos, destinado ao uso veterinário e industrial, disponível nas embalagens de 1, 5, 20 e 50 litros.

Esse produto foi desenvolvido após muita pesquisa por parte dos técnicos da POLY SELL®, com o objetivo de se obter um desinfetante que oferecesse características desejáveis e exclusivas, dentre as quais:

- Fórmula de Última Geração (Biodegradável)
  - Moderno conceito de sinergismo, oferecendo ao mercado alta tecnologia, eficiência e respeito ao meio ambiente.

- Apresentação em embalagens Pet (1litro)
  - A POLY SELL® é certificada pelas ISO 9001 e ISO 14001. Embalagem plástica com maior potencial de reciclabilidade e sustentabilidade.
- Amplo Espectro de Ação
  - Matérias-primas de primeira linha, associadas à potencializadores químicos conferem ao AVT-450® total ação viricida, fungicida, bactericida e esporicida.
- Excelente Relação Custo/Benefício
  - Produto altamente eficaz e com preço competitivo.
- Qualidade garantida
  - “Todas as características acima fazem do AVT-450® um produto único no mercado, eficiente, economicamente viável e ecologicamente correto.”

#### **Modo de uso:**

- Granjas de Reprodutoras Pesadas
  - Limpeza: aplicar DETER SELL-CB® na diluição de 1:300, deixar agir por 20 minutos e em seguida enxaguar.
  - Primeira Desinfecção: aplicar nas instalações secas o AVT-450® na diluição 1:500.  
Segunda Desinfecção: aplicar nas instalações secas o POLY-PHEN® na diluição 1:250.
  - Terceira Desinfecção: pulverizar no ambiente, com os equipamentos montados o POLY-PHEN® na diluição de 1:250.
- Granjas de Frango de Corte e Poedeiras
  - Limpeza: aplicar o AVT-40® na diluição 1:500 utilizando água sobre pressão (não necessita enxaguar).
  - Primeira Desinfecção: aplicar nas instalações secas o AVT-450® na diluição 1:1000. Em caso de altos desafios aplicar o AVT-450® na diluição de 1:500.
  - Segunda Desinfecção: aplicar nas instalações secas o AVT-450® na diluição 1:1000. Em caso de altos desafios aplicar o POLY-PHEN® na diluição de 1:250.
- Granjas de Suínos - Maternidade/creche
  - Limpeza: aplicar o DETER SELL-CB® na diluição 1:300, deixar agir por 20 minutos em seguida enxaguar.

- Primeira desinfecção: aplicar nas instalações secas o POLY-PHEN® na diluição de 1:250. Em caso de desafios com *Isóspora suis*, fazer aplicação com o POLY-PHEN® na diluição de 1:100, nas partes baixas da maternidade (pisos, paredes, escamoteador), no 3º e 10º dia, após o nascimento dos leitões. A mesma diluição deverá ser utilizada no 7º dia após alojamento dos leitões na creche.
- Granjas de Suínos - Engorda/terminação/gestação
  - Limpeza: aplicar o DETER SELL-CB® na diluição 1:300, deixar agir por 20 minutos em seguida enxaguar.
  - Primeira Desinfecção: Aplicar nas instalações secas o AVT-450® na diluição 1:1000.
- Granjas de Suínos - Incubadoras, outros usos e em casos de enfermidades
  - Consulte um técnico especializado Poly Sell®.
  - Obs: Estes programas dispensam a utilização de Formol e seus derivados na desinfecção de instalações.

### III. Desinfetante CB-30 TA (OUROFINO AGRONEGÓCIO, 2013).

#### **Fórmula:**

Cada 100 ml contém:

Cloreto de alquil dimetil benzil amônio (100%).....	30,0 g
Poliexietilenonilfenileter .....	5,0 g
Veículo q.s.p. ....	100,0 ml

#### **Indicações:**

CB-30 T.A. tem como principal composto o cloreto de alquil dimetil benzil amônio, que é um agente catiônico de atividade em superfície, com poderosa ação germicida. Usado corretamente nas diluições recomendadas é altamente eficaz contra bactérias, fungos e esporos.

#### **Modo de Uso e Dosagens:**

O produto deve ser usado diluído na água e aplicado nas seguintes proporções:

- Desinfecção em geral (uniformes, paredes e pisos), lavagem e assepsias de feridas e frieiras: utilizar CB-30 T.A. 1:3.000 (10 ml em 30 litros de água).
- Pulverização e desinfecção de cama de aves, aviários, câmaras incubadoras, bandejas, equipamentos em geral, maternidades, creches, ordenhadeiras mecânicas, úberes, mãos do ordenhador, rodolúvio, pedilúvio: utilizar CB-30 T.A. 1:2.000 (10 ml em 20 litros de água).
- Desinfecção de caixas e reservatórios de água: utilizar CB-30 T.A. 1:6.000 (10 ml em 60 litro de água).
- Pulverização das aves no galpão, semanalmente usando atomizador: utilizar CB-30 T.A. 1:200 (10 ml em 2 litros de água).

**Administração:**

- Desinfecção em geral (uniformes, paredes e pisos), lavagem e assepsias de feridas e frieiras.
- Pulverização e desinfecção de cama de aves, aviários, câmaras incubadoras, bandejas, equipamentos em geral, maternidades, creches, ordenhadeiras mecânicas, úberes, mãos do ordenhador, rodolúvio, pedilúvio. Desinfecção de caixas e reservatórios de água.
- Pulverização das aves no galpão, semanalmente usando atomizador.

**Período de carência:** não se aplica

**Apresentação:** Frasco dosador de 1 L.