

**\UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**SUÍNOS EM DIFERENTES FASES DE CRESCIMENTO
ALIMENTADOS COM MILHO OU SORGO: DESEMPENHO,
DIGESTIBILIDADE E EFEITOS NA BIODIGESTÃO
ANAERÓBIA**

**Adélia Pereira Miranda
Zootecnista**

**JABOTICABAL - SÃO PAULO - BRASIL
2009**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**SUÍNOS EM DIFERENTES FASES DE CRESCIMENTO
ALIMENTADOS COM MILHO OU SORGO: DESEMPENHO,
DIGESTIBILIDADE E EFEITOS NA BIODIGESTÃO
ANAERÓBIA**

Adélia Pereira Miranda

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior

Co-orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Thomaz

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Jaboticabal - SP

Fevereiro/2009

Miranda, Adélia Pereira
M672s Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia / Adélia Pereira Miranda. -- Jaboticabal, 2009
xxi, 123 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009

Orientador: Jorge de Lucas Junior

Banca examinadora: Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa, Roberto Alves de Oliveira, Antônio Carlos de Larentiz, Maria Benincasa Vidotti.

Bibliografia

1. Fezes de suínos. 2. Aproveitamento de resíduos. 3. Biodigestão anaeróbia. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.4:631.862

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

E-mail: adeliapm@hotmail.com

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ADÉLIA PEREIRA MIRANDA – filha de Abel Rodrigues de Miranda e Antônia Pereira de Jesus, nascida aos 09 de janeiro de 1979, é natural de Alpinópolis, estado de Minas Gerais. Em 2002 graduou-se em Zootecnia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - UNESP - campus de Jaboticabal, sendo neste mesmo ano aprovada para ingresso no curso de Mestrado em Zootecnia desta Instituição. Em fevereiro de 2005 completou o curso e Mestrado e obteve o título de Mestre em Zootecnia, área de Concentração em Produção Animal. Iniciou o Curso de Doutorado na mesma Instituição em março do mesmo ano e em fevereiro de 2009 obteve o título de Doutora em Zootecnia.

À minha mãe Antônia

*Verdadeiro exemplo de serenidade e sensatez
Por ter me incentivado na busca por uma vida melhor
Por estar sempre ao meu lado, mesmo distante*

À memória do meu pai

Dedico

Ao meu orientador Professor Doutor e amigo Jorge

Pela orientação, ajudas, conselhos e especialmente pela confiança e amizade. Você é o exemplo profissional do qual tenho muito orgulho de ter trabalhado junto.... e quando eu crescer quero ser igual a você...

Ofereço

Agradeço

A Deus pela luz de todos os dias que me orienta a sempre seguir em frente e não desanimar ante aos obstáculos.

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

Ao Conselho do Curso do Programa de Pós-graduação em Zootecnia pela oportunidade proporcionada. Aos professores que ministraram disciplinas durante o curso de Doutorado e pelos quais aprendi além de conceitos, muitas lições de vida que levarei sempre comigo.

Aos professores Dr. Jorge de Lucas Junior e Dra. Maria Cristina Thomaz pela orientação, pela confiança depositada, pelo bom convívio e amizade criada e cultivada e especialmente pela contribuição na minha formação como pessoa e não somente para a elaboração da Tese.

Aos professores Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior, Profa. Dra. Maria Benincasa Vidotti, Prof. Dr. Antônio Carlos de Laurentiz, Profa. Dra. Mônica Saralli Silva de Mendonça Costa e Prof. Dr. Roberto Alves de Oliveira pela disponibilidade em participar da banca examinadora e contribuir na elaboração de uma Tese melhor.

Ao Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira, do Departamento de Ciências Exatas, pela imprescindível ajuda nas análises estatísticas.

A todos os funcionários da FCAO – UNESP campus de Jaboticabal, os quais ao longo desses 11 anos de convivência tornaram-se amigos, ajudando em uma coisinha aqui ou lá, ou somente dando um bom dia com sorriso no rosto, mas sempre tornando meu dia mais alegre. Agradeço especialmente aos funcionários da Seção de pós-graduação e da biblioteca pelos auxílios prestados e amizade.

Especiais foram todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural, pois são pessoas que se tornaram amigas e que me fazem sentir em casa, mesmo estando longe dela. Agradecimento especial ofereço ao Luizinho pelo auxílio na condução do ensaio de biodigestão anaeróbia, pela descontração e amizade. Ao Marquinho, Sr. Francisco, Fiapo, Luiz Fiapo, Luiz Cláudio, Mirian, Clarice, Sílvia, Torto, Donizete, Davi, Ari, Ronaldo, Cido, Maranhão, Edivaldo, Tiãozinho, Carlão, Sr. Zé e Sr Tico (*in memoriam*) agradeço imensamente pelas ajudas esperadas ou inesperadas e pela amizade a mim dispensada.

Aos funcionários do Setor de Suinocultura, Sr. Wilson e José Antônio. Obrigada por todo o auxílio antes, durante e após o experimento e por ter me amparado quando eu chorava pelos meus “porquinhos”.

Aos pós-graduandos Urbano, Pedro, Rizal, Guido e Alessandro Fraga (*in memoriam*) pelas imensas colaborações na elaboração do projeto, na formulação das dietas, na condução dos experimentos, no processamento dos dados, redação da Tese....ufa!!!! Sem vocês teria sido muito mais difícil e sempre que precisarem de qualquer ajuda, estarei a disposição.

Aos estagiários, alunos de graduação de pós-graduação que convivi no Laboratório de Biomassa e Biodigestão Anaeróbia: Marcieli, Camila, Fabrício, Airon, Karolina, Ellen, Laura, Adriane, Marco Antônio, Ana Carolina, Ludmilla, Rose, Adriana, Estevão, Ariane, Mário e Gracie. Agradeço pelas ajudas nas análises, empréstimos, dúvidas sanadas e especialmente pelas conversas que tornaram nossos dias de trabalho mais prazerosos. Agradeço especialmente a “pantaneira” Cris que começou e terminou todo o curso de Doutorado junto comigo. Mesmo que estejamos longe devido à distância, meu carinho e admiração sempre te acompanharão... obrigada por tudo.

As moradoras da República Zoona[®] e são muitas: Regina (Sukuri), Luciana (Maruá), Fernanda (Kenga), Hellen (Bába), Camila Consoni (Folgada), Ana Lígia (Pistolera), Camila Franciosi (Pop), Karolina (Krone), Fabrizia (Moeda), Laura, Ellen (Judoca) e Carla (Carlona) e agregadas: Fabiana (Minhoca), Renata e Polenta. Todas vocês contribuíram para o meu crescimento, nenhuma mais ou menos, de um jeito melhor ou pior, mas sim a seu jeito e é só no convívio diário que

realmente aprendemos a viver em comunidade, aprendemos a ouvir e falar (no nosso caso, mais falar), ajudar e pedir colo, ouvir lamentações e também chorar as nossas mágoas.... e foi com vocês que dividi os dias e noites mais fantásticos da minha vida, pois cheguei aqui em Gabuca como uma menininha “meio boba” e acho que estou saindo pelo menos mais esperta. Obrigada por tudo e saibam que cada uma de vocês, de um modo único e especial, estará presente nas minhas melhores recordações.

Ao Ita por toda a dedicação, carinho e amor. Também por acreditar no meu trabalho, iluminar minhas decisões e compartilhar meus momentos. Obrigada por ter sempre ouvido, com paciência, as histórias que eu contava sobre meus “porquinhos”. E o nosso futuro a Deus pertence.....

À minha família, meu porto seguro, meu ponto de partida e meu estímulo para buscar uma vida melhor. Agradeço a meus tios e tias, primos e primas, sobrinhos e sobrinhas pela torcida de sempre, orações e energias positivas. Agradeço especialmente aos meus irmãos Belo, Vitória, Glory, Clézia e Anézia que são pessoas abençoadas das quais tenho muito orgulho por ser irmã. Amo muito vocês!!!!

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização desta etapa na minha vida. Muito obrigada!!!!

Aos animais

*Aos meus “pequenos” suínos sem os quais hoje eu não teria o título de
Doutora*

*Ao cachorrinho Bobi. Felizes são as pessoas que reconhecem a amizade
desinteressada e o amor incondicional de um cão.*

*“Vida é valor absoluto. Não existe menor ou maior, inferior ou superior.
Enganam-se quem mata ou subjulga um animal por julgá-lo um ser
inferior. Diante da consciência que abriga a essência da vida, o crime é o
mesmo.”*

(Olympia Salete)

SUMÁRIO

	Pag
Lista de abreviaturas.....	xix
Resumo.....	xx
Abstract.....	xxi

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. Apresentação.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura da Tese.....	3

CAPÍTULO 2 - Suínos nas diferentes fases alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade dos nutrientes e produção de dejetos.

Resumo.....	4
Abstract.....	5
2.1. Introdução.....	6
2.2. Revisão de Literatura.....	8
2.2.1. Atividade suinícola no Brasil.....	8
2.2.2. Principais alimentos energéticos utilizados em rações de suínos.....	9
2.2.2.1. Milho (<i>Zea mays</i> L.).....	9
2.2.2.2. Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench).....	11
2.2.3. Utilização da energia dos alimentos pelos animais.....	15
2.2.4. Digestibilidade e balanços nutricionais.....	17
2.2.5. Caracterização dos dejetos produzidos por suínos.....	17
2.3. Material e Métodos.....	21
2.3.1. Definição dos experimentos.....	21

2.3.1.1. Ensaio de desempenho.....	22
2.3.1.2. Ensaio de digestibilidade dos nutrientes.....	23
2.3.1.3. Produção de fezes.....	24
2.3.2. Análises laboratoriais e metodologias utilizadas.....	25
2.3.3. Análises estatísticas.....	27
2.4. Resultados e Discussão.....	28
2.4.1. Desempenho dos animais.....	28
2.4.2. Digestibilidade de nutrientes.....	30
2.4.3. Produção e caracterização das fezes.....	33
2.5. Conclusões.....	52

CAPÍTULO 3 - Biodigestão anaeróbia de fezes de suínos nas diferentes fases alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo

Resumo.....	53
Abstract.....	54
3.1. Introdução.....	55
3.2. Revisão de Literatura.....	56
3.2.1. Suinocultura e meio ambiente.....	56
3.2.2. Utilização de biodigestores.....	59
3.2.3. Processo de biodigestão anaeróbia.....	60
3.2.4. Fatores que interferem no processo de biodigestão anaeróbia.....	62
3.2.5. Modelos e operação de biodigestores.....	66
3.2.6. O biogás.....	67
3.2.7. O biofertilizante.....	69
3.3. Material e Métodos.....	70
3.3.1. Ensaio de biodigestão anaeróbia.....	71
3.3.2. Descrição do sistema de biodigestão em escala laboratorial.....	72
3.3.3. Operação dos biodigestores.....	74
3.3.4. Colheita de amostras, análises realizadas e metodologias utilizadas..	75

3.3.4.1. Quantificação dos teores de sólidos totais e voláteis.....	76
3.3.4.2. Quantificação de nutrientes.....	76
3.3.4.3. Produção de biogás.....	77
3.3.4.4. Análise da composição do biogás produzido.....	78
3.3.5. Análise estatística.....	78
3.4. Resultados e discussão.....	79
3.4.1. Teores médios de sólidos e porcentagens de redução.....	79
3.4.2. Produção e potenciais de produção de biogás.....	83
3.4.3. Concentrações de nutrientes no afluente e efluente dos biodigestores	91
3.5. Conclusões.....	98
CAPÍTULO 4 - Considerações finais e implicações.....	99
REFERÊNCIAS.....	102
ANEXO 1.....	122
ANEXO 2.....	123

INDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 2 - Suínos nas diferentes fases alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade dos nutrientes e produção de dejetos.

TABELA 1	Composição do milho e sorgo baixo tanino (Valores expressos na matéria natural).....	15
TABELA 2	Consumo médio diário de ração (CMDR), ganho em peso médio diário (GPMD) e conversão alimentar (CA) ao final da fase inicial, crescimento e terminação por suínos alimentados com dietas formuladas com milho (M) ou sorgo (S).....	28
TABELA 3	Coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), coeficientes de digestibilidade da proteína bruta (CDPB), coeficientes de digestibilidade da energia bruta (CDEB), coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB), matéria seca digestível (MSD), proteína digestível (PD), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) para suínos nas fases inicial, crescimento e terminação alimentados com dietas formuladas com milho (M) ou sorgo (S). Valores expressos com base na matéria seca.....	31
TABELA 4	Produção média diária de fezes, em kg de matéria natural e matéria seca, por suínos alojados em baias individuais e alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.....	33
TABELA 5	Porcentagem média de fezes excretadas em relação ao consumido (matéria natural e matéria seca) por suínos alojados em baias individuais e alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.....	35

TABELA 6	Coeficientes de resíduo obtidos nas fases inicial, crescimento e terminação e no período total para suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo.....	38
TABELA 7	Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, em fezes de suínos alojados em baias individuais e alimentados com dietas contendo milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.....	39
TABELA 8	Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, em fezes de suínos alojados em gaiolas de estudos metabólicos e alimentados com dietas contendo milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.....	39
TABELA 9	Concentrações médias de macronutrientes (porcentagem da matéria seca) e micronutrientes (mg/kg de matéria seca) em fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases alojados em baias individuais.....	41
TABELA 10	Concentrações médias de macronutrientes (porcentagem da matéria seca) e micronutrientes (mg/kg de matéria seca) em fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases alojados em gaiolas de estudos metabólicos.....	43
TABELA 11	Concentrações médias de nutrientes (mg/L) em urina de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases alojados em gaiolas de estudos metabólicos.....	46
TABELA 12	Excreção fecal, urinária e total de nitrogênio, em porcentagem da ingestão, por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.....	48

TABELA 13	Excreção fecal, urinária e total de fósforo, em porcentagem da ingestão, por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.....	50
------------------	---	----

CAPÍTULO 3 – Biodigestão anaeróbia de fezes de suínos nas diferentes fases alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo

TABELA 1	Caracterização dos componentes do afluente para abastecimento inicial dos biodigestores.....	74
TABELA 2	Quantidades médias de fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo nas fases inicial, crescimento e terminação utilizadas nos afluentes dos biodigestores.....	75
TABELA 3	Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, de fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação utilizados na composição dos afluentes dos biodigestores.....	80
TABELA 4	Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, de afluentes dos biodigestores compostos por fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.....	81
TABELA 5	Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, de efluentes dos biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.....	82

TABELA 6	Reduções médias de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, em biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo nas fases inicial, crescimento e terminação.....	83
TABELA 7	Produção média diária de biogás, em m ³ , corrigida para 20 °C e 1 atm, em biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo nas diferentes fases.....	84
TABELA 8	Potenciais médios de produção de biogás de fezes de suínos alimentados com dieta formulada com milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.....	86
TABELA 9	Relação entre produção média diária de biogás, em m ³ , e produção média diária de fezes por suíno alimentado com dietas formuladas à base de milho ou sorgo em diferentes fases.....	88
TABELA 10	Teores médios de metano, em porcentagem, em biogás gerado de fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo nas fases de crescimento inicial, crescimento e terminação.....	90
TABELA 11	Concentrações médias de macronutrientes (porcentagem da matéria seca) e micronutrientes (mg/kg de matéria seca) em afluentes de biodigestores compostos por fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) na fase inicial, crescimento e terminação.....	92
TABELA 12	Concentrações médias de macronutrientes (porcentagem da matéria seca) e micronutrientes (mg/kg de matéria seca) em efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos nas fases inicial, crescimento e terminação, alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S).....	94

TABELA 13 Macronutrientes, em g, nos afluentes e efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos nas fases inicial (I), crescimento (C) e terminação (T) alimentados com dietas contendo milho ou sorgo e porcentagens de redução de massa nos efluentes.....	96
---	----

TABELA 14 Micronutrientes, em mg, nos afluentes e efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos nas fases inicial (I), crescimento (C) e terminação (T) alimentados com dietas contendo milho ou sorgo e porcentagens de redução de massa nos efluentes.....	97
--	----

ANEXOS

TABELA A Composição alimentar e nutricional das dietas utilizadas pelos suínos na fase inicial.....	122
TABELA B Composição alimentar e nutricional das dietas utilizadas pelos suínos nas fases crescimento e terminação.....	123

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 – Suínos nas diferentes fases alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade dos nutrientes e produção de fezes.

FIGURA 1	Produção média diária de fezes (matéria natural) por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.....	34
FIGURA 2	Produção média diária de fezes (matéria seca) por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.....	34
FIGURA 3	Correlação entre produção média diária de fezes por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) e idade dos animais.....	36
FIGURA 4	Correlação entre produção média diária de fezes por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) e peso médio dos animais.....	37
FIGURA 5	Ingestões e excreções de N por suínos nas fases inicial (1-4), crescimento (5-8) e terminação (9-12) alimentados com dietas contendo milho (M) ou sorgo (S).....	51
FIGURA 6	Ingestões e excreções de P por suínos nas fases inicial (1-4), crescimento (5-8) e terminação (9-12) alimentados com dietas contendo milho (M) ou sorgo (S).....	52

CAPÍTULO 3 - Biodigestão anaeróbia de fezes de suínos em diferentes fases alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo

FIGURA 1	Biodigestores acondicionados em caixa de fibrocimento.....	72
-----------------	--	----

FIGURA 2	Detalhes do biodigestor e corte transversal.....	73
FIGURA 3	Gasômetros independentes acondicionados em caixa de fibrocimento.....	73
FIGURA 4	Produção média diária de biogás, corrigida para 20 °C e 1 atm, em biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.....	84
FIGURA 5	Produção média diária de biogás, em m ³ , corrigida para 20 °C e 1 atm, em biodigestores cujos afluentes continham fezes de suínos nas diferentes fases alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S).....	85
FIGURA 6	Produção média diária de biogás/kg de estrume de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.....	89
FIGURA 7	Produção média diária de biogás/quantidade média diária de fezes excretada por suíno alimentado com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.....	89
FIGURA 8	Porcentagem média de metano em biogás gerado de fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.	90

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

atm	= atmosfera	Kg	= quilograma
Ca	= cálcio	Kgf	= quilograma-força
cca	= centímetro de coluna d'água	KW	= quilowatt
CA	= conversão alimentar	KWh	= quilowatt-hora
CDEB	= coeficiente de digestibilidade da energia bruta	L	= litro
CDMS	= coeficiente de digestibilidade da matéria seca	m ²	= metro quadrado
CDPB	= coeficiente de digestibilidade da proteína bruta	m ³	= metro cúbico
CH ₄	= metano	Mg	= magnésio
cm	= centímetro	mg	= miligrama
cm ²	= centímetro quadrado	mL	= mililitros
CMDR	= consumo médio diário de ração	mm	= milímetro
CMEB	= coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta	Mn	= manganês
CO ₂	= dióxido de carbono	MN	= matéria natural
Cr	= coeficiente de resíduo	MS	= matéria seca
Cu	= cobre	MSD	= matéria seca digestível
CV	= coeficiente de variação	N	= nitrogênio
°C	= graus Celsius	N	= normal
DBO ₅	= demanda bioquímica de oxigênio	Na	= sódio
EB	= energia bruta	NH ₃	= amônia ou amoníaco
ED	= energia digestível	N ₂	= gás nitrogênio
EL	= energia líquida	N ₂ O	= óxido nitroso
ELm	= energia líquida de manutenção	O ₂	= gás oxigênio
ELp	= energia líquida de produção	P ^{0,75}	= peso metabólico
EM	= energia metabolizável	P	= fósforo
Fe	= ferro	%	= porcentagem
G	= grama	PB	= proteína bruta
GLP	= gás liquefeito de petróleo	PD	= proteína digestível
GMDP	= ganho médio diário de peso	S	= sul
H	= horas	ST	= sólidos totais
H ₂	= gás hidrogênio	SV	= sólidos voláteis
H ₂ S	= gás sulfídrico	ton	= tonelada
IC	= incremento calórico	TRH	= tempo de retenção hidráulica
K	= Kelvin	W	= oeste

SUÍNOS EM DIFERENTES FASES DE CRESCIMENTO ALIMENTADOS COM MILHO OU SORGO: DESEMPENHO, DIGESTIBILIDADE E EFEITOS NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

RESUMO - Avaliaram-se dietas formuladas com milho ou sorgo para suínos nas fases inicial, crescimento e terminação sobre o desempenho dos animais, digestibilidade dos nutrientes, produção e características de fezes e urina e biodigestão anaeróbia dos dejetos. No ensaio de desempenho não foram verificadas diferenças quanto ao consumo médio diário de ração, ganho médio diário de peso e conversão alimentar. Foi realizado um ensaio de digestibilidade em cada fase de crescimento dos animais utilizando o método de coleta total de fezes, não se observando diferenças para coeficientes de digestibilidade da matéria seca e da energia bruta, coeficiente de metabolizabilidade, energia digestível e metabolizável. Os maiores coeficientes de digestibilidade da proteína bruta e proteína digestível foram verificados nos animais alimentados com dietas à base de milho na fase terminação. Para animais alimentados com dietas formuladas com sorgo foram verificados maiores valores de matéria seca digestível nas fases crescimento e terminação. Verificou-se maior produção média de fezes para animais alimentados com dietas formuladas com sorgo, gerando maiores coeficientes de resíduo. Os maiores teores de sólidos totais e voláteis foram verificados nas fezes de animais alimentados com dieta à base de milho, em todas as fases de crescimento. As concentrações médias dos nutrientes nas fezes e na urina variaram entre os tratamentos e fases. O abastecimento de 20 biodigestores indicou maiores reduções nos teores de sólidos voláteis e maiores produções de biogás quando se utilizaram fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho. As concentrações médias dos nutrientes no afluente e efluente dos biodigestores variaram entre os tratamentos e fases.

Palavras-chave: biodigestores, fezes, nutrientes, suinocultura

**PIGS IN DIFFERENT STAGES OF GROWTH FED WITH CORN OR SORGHUM:
PERFORMANCE, DIGESTIBILITY OF THE NUTRIENTS AND EFFECTS ON
ANAEROBIC DIGESTION**

SUMMARY - There were evaluated diets formulated with corn or sorghum for pigs in the initial stages, growing and finishing on the growth performance of animals, digestibility of nutrients, production and characteristics of feces and urine and anaerobic digestion of pigs manure. In the test of growth performance were not found differences in the average daily consumption of feed, average daily weight gain and feed conversion. There was performed a test of digestibility at each stage of growth of animals using the total collection of feces, no difference was observed for digestibility coefficients of dry matter and gross energy, coefficient to metabolize, digestible and metabolizable energy. The highest rates of digestibility of crude protein and digestible protein were observed in animals fed with diets based on corn in the finishing stage. For animals fed diets formulated with sorghum there were observed higher values of digestible dry matter in growing and finishing phases. There was a greater average production of feces by animals fed with diets based on sorghum, generating higher coefficient of waste. The highest levels of total and volatile solids were found in the feces of animals fed with diets containing corn, in all the stages of growth. The average concentrations of minerals in feces and urine varied among treatments and stages. The supply of 20 anaerobic digesters indicated greater reductions in the volatile solids levels and greater production of biogas when using waste from pigs fed with diets based with corn. The average concentrations of minerals in the affluent and effluent in the anaerobic digesters varied among treatments and stages.

Keywords: digesters, feces, nutrients, piggery.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. Apresentação

A preocupação com a escassez dos recursos naturais disponíveis, associada ao aumento da demanda por alimentos ocasiona a procura por modelos de produção sustentáveis, o que implica em significativas mudanças nos sistemas de produção animal tradicionais. Na suinocultura é exigido maior refinamento tecnológico como aumento de desempenho dos animais, redução dos custos e melhora na qualidade do produto. Concomitantemente à nutrição, genética, sanidade e instalações, destaca-se o manejo de resíduos, pois a utilização ou disposição inadequada destes, acarreta o aumento do impacto ambiental e a diminuição da lucratividade nas unidades produtoras.

O conhecimento do valor energético dos alimentos é de fundamental importância nutricional e econômica para a formulação de rações que resultem em ótimo desempenho dos animais. Para a elaboração de rações para suínos, diversos alimentos são utilizados e o milho é a principal fonte energética empregada e em maior quantidade. Porém a ocorrência de problemas na disponibilidade deste cereal, especialmente na entressafra, resulta em elevação dos preços e afeta toda a cadeia produtiva animal.

O interesse no estudo e no desenvolvimento de fontes alimentares alternativas para suínos estimula a procura de alimentos substitutos ao milho. O sorgo pode ser uma estratégia para manutenção da suinocultura, dada a versatilidade desta gramínea quanto à adaptação aos diversos tipos de solos e climas e o conteúdo de nutrientes similar ao do milho (FIALHO & BARBOSA, 1992). Há de se considerar que a busca por alimentos alternativos, na tentativa de minimização de gastos, necessita de conhecimentos da digestibilidade de seus nutrientes para a formulação de rações, pois o custo desse ingrediente está associado ao seu valor nutricional (OLIVEIRA et al., 2004).

Aliada ao desempenho dos animais e à lucratividade da atividade está a questão ambiental. Portanto, é importante ajustar as exigências dos animais não se limitando

somente aos ganhos zootécnicos, mas também à diminuição do poder poluente dos dejetos gerados, sobretudo considerando ser a nutrição um dos principais determinantes da produção de dejetos na suinocultura (PENZ JÚNIOR, 2000).

Frente às quantidades de dejetos geradas diariamente e a composição destes, torna-se inviável, em termos econômicos e ambientais, a proposta de sistemas de produção animal que priorizem os produtos nobres, reservando aos resíduos um destino impróprio, sem que haja a reciclagem energética e/ou de nutrientes. Portanto, é necessária a busca e aplicação de técnicas voltadas ao manejo de resíduos da produção animal.

Para a mitigação do problema relacionado ao manejo de dejetos destaca-se a biodigestão anaeróbia, a qual é uma tecnologia apropriada para tratar os resíduos de suínos além de explorar e recuperar a energia presente nestes. A biodigestão anaeróbia é importante por utilizar os recursos de forma sustentável, reciclar os resíduos de maneira aceitável e facilitar a comercialização de créditos de carbono através da redução da emissão de metano e dióxido de carbono, os quais estão relacionados com as alterações no clima do planeta e, conseqüentemente, com a perda de qualidade de vida dos seres como um todo.

1.2. Objetivos

- Avaliar o desempenho de suínos alimentados com dietas formuladas utilizando o milho ou sorgo como fonte energética no que se refere ao consumo diário de ração, ganho diário de peso e conversão alimentar nas diferentes fases;
- Avaliar a digestibilidade da matéria seca, da proteína bruta e energia bruta influenciadas por dois tipos de dietas, diferenciadas quanto às fontes de energia, em suínos nas fases inicial, crescimento e terminação;
- Analisar quantitativa e qualitativamente as excreções de fezes e urina de acordo com o desenvolvimento dos animais, considerando as diferentes dietas e fases dos suínos;

- Avaliar a produção e a qualidade do biogás de fezes de suínos nas diferentes fases e sob diferentes manejos alimentares, bem como a composição do biofertilizante produzido em biodigestores anaeróbios.

1.3. Estrutura da Tese

O desenvolvimento da Tese foi embasado em obtenção de dados de desempenho, digestibilidade e biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos em diferentes fases. Desta forma são apresentados quatro capítulos.

No Capítulo 1 é feita a apresentação da problemática e objetivos do estudo.

No Capítulo 2 foram discutidos aspectos relativos ao desempenho dos animais no que se refere ao consumo diário de ração, ganho médio diário em peso e conversão alimentar, sendo que os animais, nas diferentes fases, foram alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo como principais fontes energéticas. Foram também apresentados e discutidos dados referentes aos ensaios de digestibilidade realizados com os animais nas três fases e, ainda, mostradas e analisadas as excreções de fezes e urina quanto aos nutrientes presentes nestas considerando o desenvolvimento dos animais.

No Capítulo 3 foram apresentados os dados de produção e potenciais de produção de biogás, os teores de metano no biogás e características dos afluentes e efluentes dos biodigestores anaeróbios utilizados no experimento de biodigestão anaeróbia utilizando as fezes geradas no experimento de desempenho dos animais.

No capítulo 4 foram feitas as considerações finais e implicações da pesquisa.

CAPÍTULO 2 - Suínos nas diferentes fases alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade dos nutrientes e produção de fezes

RESUMO - Foram avaliados o desempenho e digestibilidade de nutrientes para suínos nas fase inicial, crescimento e terminação alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo e quantificadas e caracterizadas as fezes e urina geradas. No ensaio de desempenho, seis suínos foram alimentados com cada dieta experimental e alojados em baias individuais. Não foram verificadas diferenças quanto ao consumo médio diário de ração, ganho médio diário de peso e conversão alimentar. Foi realizado um ensaio de digestibilidade em cada fase utilizando o método de coleta total de excretas. Não foi observada diferença entre as dietas em nenhuma das fases para coeficiente de digestibilidade da matéria seca e coeficiente de digestibilidade da energia bruta, coeficiente de metabolizabilidade, energia digestível e energia metabolizável. Os maiores valores para o coeficiente de digestibilidade da proteína bruta e proteína digestível ocorreram para animais alimentados com dietas à base de milho na fase terminação. Para animais alimentados com dieta à base de sorgo foram verificados maiores valores de matéria seca digestível nas fases crescimento e terminação. A produção média diária de fezes apresentou diferença entre as dietas nas fases crescimento e terminação, verificando-se maior produção média para animais alimentados com dietas contendo sorgo (0,900 e 1,119 kg de fezes/dia, respectivamente). Os coeficientes de resíduo foram maiores para animais alimentados com dietas contendo sorgo. Os maiores teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) foram verificados em fezes de animais alimentados com dietas à base de milho, sendo que estes variaram de 29,9 a 35,0% para ST e de 26,0 a 30,6% para SV. Em relação às fases, os maiores teores médios de sólidos foram verificados na fase inicial em ambos os tratamentos. As concentrações médias dos nutrientes nas fezes e urina dos suínos variaram entre as dietas e fases.

Palavras-chave: alimentos energéticos, fezes, suinocultura

CHAPTER 2 - Pigs in different stages fed with diets formulated with corn or sorghum: growth performance, digestibility of nutrients and waste production

SUMMARY - There were evaluated diets formulated with corn or sorghum for pigs in the initial stages, growing and finishing on the growth performance of animals, digestibility of nutrients, production and characteristics of feces and urine by the pigs. In the test of growth performance, six pigs were fed in each experimental diet and housed in individual stalls. No differences were found on the average of daily consumption of feed, daily weight gain and feed conversion. This was a test of digestibility in each phase using the total collection of excreta. There were no differences between the diets and the different stages for digestibility of dry matter and digestibility of gross energy, metabolize coefficient, digestible and metabolic energy. The highest values for the digestibility of crude protein and digestible protein occurred in animals fed diets based on corn in the finishing stage. For animals fed with diets based on sorghum were observed higher values of digestible dry matter in growing and finishing phases. The average daily production of feces presented difference between the diets in growing and finishing phases, with higher average production for animals fed with diets formulated based on sorghum (0.900 and 1.119 kg of feces per day, respectively). The rate of waste were higher for animals fed with a basic diet of sorghum. The highest average levels of total solids (TS) and volatile solids (VS) in feces were observed in animals fed with diets based on corn, where they ranged from 29.9 to 35.0% for TS and 26.0 to 30.6% for VS. Regarding the stages, the highest average levels of solids were observed in the initial phase in both treatments. The average concentrations of nutrients N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn and Cu in feces and urine of pigs varied among diets and stages.

Keywords: energetic diets, feces, piggery

2.1. Introdução

Na suinocultura, assim como em outros segmentos da produção animal, a nutrição é considerada de grande impacto, pois é um dos fatores fundamentais de produção e representa cerca de 70% dos custos totais da atividade (SILVEIRA & TALAMINI, 2007).

Para viabilidade econômica na produção, a suinocultura depende essencialmente da disponibilidade local e regional de ingredientes que tenham preços compatíveis com os preços pagos por quilograma de suíno. Cada granja apresenta o seu custo específico referente à alimentação do plantel e, dessa forma, o impacto da oscilação nos preços dos ingredientes no mercado reflete de forma diferenciada na rentabilidade da atividade. Assim, o produtor deve conhecer o custo decorrente da alimentação e, de forma constante, ter seu objetivo centrado na sua redução visando a garantia da qualidade na produção (BELLAVÉR & LUDKE, 2004).

Os ingredientes mais utilizados nas rações de suínos são o farelo de soja e o milho, constituindo em torno de 80 a 90% das rações e são as principais fontes protéica e energética das dietas, respectivamente. Tais ingredientes são importantes produtos do agronegócio brasileiro, de maneira que suas ofertas e preços no mercado são influenciados pelas políticas econômicas e cambiais do país, pelos preços internacionais do milho, da soja e de outras culturas que possam ser cultivadas no mesmo período agrícola e pelos aspectos climáticos. Assim, tais pontos estão fora do controle do produtor de suínos e podem influenciar de maneira significativa os custos de alimentação e de produção (RUIZ, 2006).

Para obter a redução dos custos com a alimentação podem ser empregadas alternativas para o processamento dos ingredientes tradicionais (milho e soja) visando a sua inclusão nas rações ou a utilização de ingredientes alternativos nas diferentes fases de produção. O sorgo é um alimento energético, sendo o segundo cereal em importância para a alimentação de suínos no Brasil, pois é mais resistente ao estresse hídrico e menos exigente em fertilidade do solo que o milho (LOPES, 2004). O valor

comercial do sorgo é cerca de 80% do valor do milho e seu valor biológico alcança 95% do principal cereal (BORGES, 2002; FIALHO et al., 2002).

Além dos preços dos ingredientes e dos custos das rações, outro fator preocupante atualmente é a poluição ambiental relacionada ao crescimento da atividade suinícola e a destinação inadequada dos dejetos produzidos pelos animais (LIU & BAIDOO, 2008). De acordo com WILLIAMS (1995), a quantidade e a composição dos dejetos produzidos por animais, em muitos casos, excedem a capacidade do solo em recebê-los como fertilizante, de maneira que passam a ser vistos como contaminantes ou poluentes do solo e da água.

Além da poluição hídrica e do solo, deve-se também considerar a contaminação do ar devido a evaporação de compostos voláteis dos dejetos que causam prejuízos ao bem-estar humano e animal (CROMWELL et al., 1996). Foi constatado que suínos expostos a altos níveis de amônia, por um curto período de tempo, apresentam redução no ganho de peso (COLE et al., 1996). Há de se considerar ainda os gases de efeito estufa gerados e emitidos nos sistemas de criação e de tratamentos de dejetos, sendo o CO₂, CH₄ e gases nitrogenados (NH₄, N₂O e N₂) os principais gases emitidos (OLIVEIRA, 2003).

Dejetos oriundos da produção animal não podem ser lançados no ambiente sem prévio tratamento e a produção e as características físico-químicas destes estão diretamente relacionadas ao manejo, nutrição e alimentação dos animais. Desta forma, o estudo da nutrição e da alimentação animal tem como objetivos buscar meios para aliar incrementos na produtividade, redução de custos e minimização do impacto ambiental dos dejetos.

Neste trabalho foram avaliados o desempenho de suínos nas diferentes fases e a digestibilidade de nutrientes de dietas formuladas utilizando o milho ou sorgo como fonte energética. Foram também analisadas as excreções de fezes e urina quanto a quantidade excretada e concentrações de nutrientes.

2.2. Revisão de Literatura

2.2.1. Atividade suinícola no Brasil

A suinocultura é uma atividade de grande relevância na produção animal. A carne suína é a mais produzida e consumida em todo o mundo, representando cerca de 50% do consumo global de carnes (SILVEIRA & TALAMINI, 2007). A China é o maior produtor mundial e responde por mais da metade da produção, sendo seguida pelos Estados Unidos e Alemanha. O Brasil é o quarto maior produtor e deve encerrar o ano de 2008 com a marca de 34 milhões de cabeças ou 3,1 milhões de toneladas (ANUALPEC, 2008).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína - ABIPECS (2008), a cadeia produtiva de suínos do Brasil tem apresentado expressivo crescimento da produção e das exportações. É uma cadeia produtiva bem organizada, onde as operações, desde a produção dos animais até a comercialização no mercado interno e externo, têm boa coordenação das agroindústrias, sendo tão moderna quanto a de países desenvolvidos e produtores tradicionais.

A concentração da produção ocorre de maneira acelerada, reduzindo o número de suinocultores, mas mantendo altas taxas de crescimento da produção, tornando o Brasil um dos mais importantes países no cenário internacional pela qualidade e baixo custo de seu produto. Porém, embora alguns estados brasileiros possuam atividade suinícola com produtividade média próxima a de países em que a atividade é mais avançada, a média nacional ainda é baixa, devido ao desempenho pouco expressivo das criações sem bases empresariais (ANUALPEC, 2008).

Aproximadamente 54% do rebanho brasileiro encontra-se na região Sul, 17,15% na região Sudeste, 12,11% no Nordeste, seguido por 11,65 e 4,93% nas regiões Centro-Oeste e Norte, respectivamente (ANUALPEC, 2008).

A região Sul do Brasil é sede dos maiores grupos empresariais e cooperativos da suinocultura, respondendo por 72% dos abates sob inspeção federal, onde a produção dos suínos ocorre, predominantemente, em pequenas propriedades familiares. Porém,

em anos recentes, ocorreu expansão da produção de suínos para as regiões Sudeste e Centro Oeste, motivada pela abundante oferta de milho e soja e propriedades com maior área, o que facilita a utilização dos dejetos como fertilizante do solo. O Estado de Minas Gerais com 9%, São Paulo com 6%, Goiás com 4,4%, Mato Grosso do Sul com 4% e Mato Grosso com 2% praticamente completam a totalidade da produção com inspeção federal no Brasil. A produção pouco expressiva nas regiões Norte e Nordeste é consequência da escassez e altos preços dos insumos para a alimentação, o que limita a expansão da atividade (MIELE & MACHADO, 2007).

2.2.2. Principais alimentos energéticos utilizados em rações de suínos

Alimentos energéticos são aqueles que possuem menos de 20% de proteína bruta e menos de 18% de fibra bruta em sua composição. Estes alimentos são constituídos pelos grãos de cereais e seus subprodutos, frutos, raízes, tubérculos, gorduras e óleos de origem animal ou vegetal.

Segundo FIALHO et al. (2003), os alimentos energéticos compõem a maior parte das dietas para suínos. Os referidos autores acrescentaram que embora a principal função dos ingredientes classificados como energéticos seja o fornecimento de energia (carboidratos), é importante ressaltar que os mesmos também suprem parte das proteínas, vitaminas e minerais, os quais constituem nutrientes essenciais quando do balanceamento de dietas para suínos nas diferentes fases do ciclo de produção.

A seguir serão apresentadas as características gerais do milho, principal alimento energético utilizado em rações de suínos, e do sorgo, que pode ser um alimento alternativo ao milho.

2.2.2.1. Milho (*Zea mays* L.)

O milho é uma planta da família Gramineae e seu nome científico é *Zea mays* L.. Comumente, o termo se refere a sua semente, um cereal de alto valor nutritivo. Devido a sua multiplicidade de aplicações, quer na alimentação humana ou animal, torna-se

importante fonte de energia, assume relevante papel socioeconômico e constitui indispensável matéria-prima impulsionadora de diversificados complexos agroindustriais (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000)

O Brasil é o terceiro país maior produtor de milho, atrás dos Estados Unidos e China. Segundo GUIMARÃES (2008), a produção no País em 2008 foi de 54 milhões de toneladas, juntando as safras de verão e inverno. Entretanto, no que se refere à produtividade por hectare, o Brasil apresenta produtividade média mais baixa que os principais competidores, necessitando, portanto, de solução referente a este diferencial (BUTOLO, 2002).

O grão de milho participa com mais de 60% do total dos grãos utilizados e é também o ingrediente com maior participação em rações animais no Brasil (BUTOLO, 2002). Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal - SINDIRAÇÕES, as indústrias de ração animal trabalham com uma produção anual de mais de 50 milhões de toneladas de ração e nada menos que 65% deste total é milho. São quase 12 milhões de toneladas usadas somente na alimentação de suínos.

Como os demais cereais, o milho é constituído de basicamente três partes: pericarpo (5%), endosperma (82%) e germe (13%). A casca do grão de milho é rica em fibras, fundamental para a eliminação de toxinas. Além das fibras, o grão de milho é constituído de carboidratos, proteínas, especialmente a zeína presente no endosperma e gluteína presente no germe, ambas, entretanto, consideradas proteínas incompletas ou de baixo valor nutricional, em função de apresentarem baixos teores em aminoácidos essenciais. O grão de milho possui, ainda, vitaminas, caroteno, fósforo, óleo e grandes quantidades de açúcares, gorduras, celulose e calorias (BUTOLO, 2002; FIALHO et al., 2003; MILHO..., 2008).

Para se definir o valor nutricional do milho é necessário o correto entendimento do valor de digestibilidade do amido e da proteína presentes nos grãos. O amido é a principal forma de armazenagem da glicose nos vegetais superiores, representando cerca de 70 a 80% da maioria dos grãos e constitui na principal fonte de energia da dieta dos animais monogástricos. A estrutura e composição do amido e suas interações

com a proteína desempenham importante papel na digestibilidade e valor alimentar do grão em relação aos animais (FERNANDES, 2002).

Segundo FIALHO et al. (2003), o milho contém, em média, 72,28% de amido, dos quais, 98% se encontra no endosperma. O amido de milho é constituído de uma mistura de amilose (25%) e amilopectina (75%), sendo a sua digestibilidade diretamente relacionada com o teor de amilose presente.

2.2.2.2. Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Segundo BELLAYER & LUDKE (2004), na avaliação da oportunidade de uso do ingrediente alternativo, deve-se considerar os seguintes pontos específicos:

- Disponibilidade comercial: é necessário um suprimento quantitativamente atrativo e que justifique o esforço de mudança de fórmulas de ração, pois pequenas quantidades em geral associadas a sobras de pré-limpeza de cereais não deveriam ser utilizadas, pois se corre o risco de causarem mais problemas como alta fibra, sementes tóxicas, micotoxinas etc. do que vantagens;
- Quantidade de nutrientes e energia: os ingredientes podem ser mais ou menos densos energeticamente e estimativas de sua energia podem ser obtidas após análises laboratoriais. Análises de composição proximal servem para indicar o conteúdo de alguns nutrientes e são indispensáveis, se não houver informação sobre os ingredientes;
- Qualidade dos nutrientes: é importante que os valores de nutrientes digestíveis estejam disponíveis, pois são esses que verdadeiramente são utilizados pelos animais. Alguns fatores como altas temperaturas ou falhas no processamento podem desnaturar proteínas ou impedir que os nutrientes dos ingredientes sejam adequadamente digeridos. Também a presença de micotoxinas e de fatores antinutricionais nos ingredientes brutos podem comprometer a qualidade da dieta e não serem adequados;

- Características físicas do ingrediente: na formulação de rações é importante levar em consideração a densidade e umidade dos ingredientes, fatores que tem influência direta na capacidade e condições de armazenamento.

Os mesmos autores afirmaram que alimentos energéticos semelhantes ao milho, como o sorgo, apresentam a possibilidade de substituição total do milho necessitando apenas pequenos ajustes na porcentagem dos demais ingredientes da ração. Segundo ROSTAGNO et al. (2000), os valores de energia digestível aparente e energia metabolizável aparente dos grãos de milho são 3,4 e 2,8% mais altos que os dos grãos de sorgo somente, o que justifica a substituição integral do milho pelo sorgo nas dietas de animais nas fases de engorda e terminação, se considerado apenas o valor energético dos dois cereais.

O sorgo é uma planta que pertence à família das Gramíneas (Poaceae) e seu nome científico é *Sorghum bicolor* L. Moench. Ocupa entre os cereais o quinto lugar em área plantada no mundo, atrás do trigo, arroz, milho e cevada. A produção de sorgo na América do Norte, América do Sul, Europa e Austrália destina-se, principalmente, à alimentação animal, ao passo que na África, Ásia, Rússia, China e América Central, o grão é utilizado na alimentação humana (MAGALHÃES et al., 2000).

No Brasil, a cultura do sorgo que era inexpressiva até 1970, cresceu significativamente desde então. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, em 2008 o crescimento da cultura do sorgo foi de 10,6%, a área plantada alcançou 734,9 mil hectares e a produção chegou a 1,65 milhões de toneladas contra 1,5 milhões na safra anterior. É uma cultura realizada como segunda safra nas principais regiões do Brasil, em sucessão a uma cultura de verão. A produção média é de 2,5 t/ha, valor este bem inferior ao dos Estados Unidos, maior produtor mundial, onde o rendimento é de 4,3 toneladas do grão por hectare.

Segundo JUNQUEIRA (2002), 70% do sorgo cultivado no país é do tipo granífero, utilizado na sua quase totalidade, na alimentação de suínos e aves. É o alternativo produzido em maior escala, pois seu valor biológico é cerca de 95% do

observado no milho (FIALHO et al., 2003), geralmente apresenta preço inferior, sendo ainda mais vantajoso seu cultivo em regiões de solos arenosos e clima seco, onde apresenta melhor rendimento de nutriente por unidade de área (SCHEUERMANN, 1998).

De acordo com a Embrapa Milho e Sorgo, a área cultivada tem mostrado flutuações em decorrência da política econômica e tem a comercialização como principal fator limitante. Os armazéns graneleiros, por exemplo, são usados prioritariamente para estocagem de milho e soja, sendo destinados apenas espaços marginais para armazenagem de sorgo. Assim sendo, as condições ambientais desfavoráveis durante a época de colheita (julho e agosto) e condições de armazenagem podem comprometer a qualidade nutritiva dos grãos de sorgo (FERNANDES, 2002).

BUTOLO (2002) citou que devido ao fato de não apresentar proteção para as sementes como a palha do milho ou as glumas do trigo e da cevada, os grãos de sorgo possuem vários compostos fenólicos que podem afetar a cor, aparência e qualidade nutricional. Esses compostos podem ser classificados em três grupos: ácidos fenólicos, flavonóides e taninos.

Os ácidos fenólicos são encontrados em todos os tipos de sorgo enquanto os flavonóides não. Estes dois compostos não têm efeito adverso na qualidade nutricional do sorgo. O fenol, conhecido como tanino, encontra-se na testa do grão (BUTOLO, 2002) e segundo JANSMAN (1993) são polímeros solúveis em água, com peso molecular variando de 500 a 3000.

Existem duas classes de tanino: hidrolisáveis e condensados. Não há evidências de presença de grandes quantidades de tanino hidrolisável no sorgo. Já o tanino condensado é aquele encontrado em sorgo resistente a pássaros e confere também ao grão defesa química contra patógenos e outros competidores. Os taninos condensados possuem ação antinutricional além de conferir cor indesejável à ração, diminuir a palatabilidade e reduzir o ganho de peso dos monogástricos (BUTOLO, 2002). Segundo MAGALHÃES et al. (2000), a presença do tanino no grão de sorgo depende da

constituição genética do material. Os genótipos que possuem os genes dominantes B₁ e B₂ são considerados sorgo com presença de tanino.

A controvérsia em relação à utilização do sorgo, especialmente para monogástricos, gira em torno do tanino, pois apesar destes diminuírem os prejuízos causados pelos pássaros e insetos à cultura, devido ao sabor adstringente, torna as rações menos palatáveis e nutritivas, interferindo no metabolismo dos carboidratos e proteínas (FIALHO & BARBOSA, 1997) e prejudicando a absorção de alguns nutrientes e inibindo ou reduzindo a ação de determinadas enzimas do sistema digestivo (MILHO..., 2008).

O sabor adstringente que o tanino confere ao sorgo é devido à sua associação com a proteína e a estabilidade desse complexo se deve, sobretudo, à formação de pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas entre essas moléculas (BUTOLO, 2002).

Por sua vez, a Embrapa enfatiza que a comercialização de sementes de sorgo com tanino no Brasil é restrita, sendo somente 4% do sorgo granífero semeado deste tipo.

A composição química do sorgo é considerada próxima a do milho, mas varia de acordo com o genótipo (VALADARES FILHO et al., 2002). A Tabela 1 mostra que o milho contém mais óleo e caroteno que o sorgo. Por outro lado, a composição em energia metabolizável (EM), proteína, aminoácidos e demais nutrientes destes dois cereais têm valores bastante similares. Enfatiza-se que o valor de EM é inversamente relacionado ao conteúdo de tanino do cereal, sendo difícil citar somente um valor energético para todas as variedades de sorgo.

TABELA 1. Composição do milho e sorgo baixo tanino (Valores expressos na matéria natural).

Variáveis	Milho	Sorgo baixo tanino
Matéria seca (%)	89,00	89,00
Proteína bruta (%)	8,30	9,20
Proteína digestível - suínos (%)	7,51	6,80
Energia bruta (kcal/kg)	3875	3844
Energia digestível - suínos (kcal/kg)	3460	3456
Energia metabolizável (kcal/kg)	3420	3340
Extrato etéreo (%)	3,90	2,90
Fibra bruta (%)	2,80	2,30
Ac. Linoléico (%)	1,91	1,15
Matéria mineral (%)	1,19	1,59
Cálcio (%)	0,03	0,03
Fósforo total (%)	0,28	0,29
Fósforo disponível (%)	0,08	0,09
Sódio (%)	0,03	0,02
Potássio (%)	0,30	0,32
Magnésio (%)	0,10	0,09
Manganês (mg/kg)	5,60	19,10
Ferro (mg/kg)	41,08	29,09
Cobre (mg/kg)	2,82	2,03
Zinco (mg/kg)	16,71	11,07
Caroteno (mg/kg)	1,80	0,20
Metionina (%)	0,17	0,16
Metionina + Cistina (%)	0,37	0,33
Lisina (%)	0,26	0,22
Treonina (%)	0,33	0,33
Triptofano (%)	0,06	0,09
Arginina (%)	0,37	0,36
Glicina (%)	0,32	0,32
Glicina + Serina (%)	0,71	0,79
Isoleucina (%)	0,28	0,42
Leucina (%)	1,00	1,30
Valina (%)	0,37	0,50
Histidina (%)	0,24	0,22
Fenilalanina (%)	0,40	0,31
Fenilalanina + Tirosina (%)	0,66	0,87

FONTES: LIMA (1998); NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC (1998); ROSTAGNO et al. (2000); FERNANDES (2002); FIALHO et al. (2003).

2.2.3. Utilização da energia dos alimentos pelos animais

A energia presente nos alimentos é um dos fatores mais importantes a ser considerado na nutrição animal (CARVALHO et al., 2003), pois é componente fundamental na elaboração de rações. Segundo o National Research Council - NRC (1994), não é um nutriente, mas o resultado da oxidação dos nutrientes durante o metabolismo animal.

Segundo MASCARENHAS et al. (2002), os suínos se alimentam a fim de atender prioritariamente sua necessidade energética e, assim sendo, a qualidade e quantidade da energia consumida irão influenciar a deposição de gordura e proteína na carcaça dos animais de diferentes pesos. Ressalta-se que as exigências nutricionais dos suínos variam em função da idade ou, mais freqüentemente, do peso animal, ou seja, mudam conforme a fase de crescimento.

Dentre os constituintes dos alimentos, os carboidratos, os lipídeos, as proteínas (aminoácidos) e parte da fibra são fornecedores de energia para o organismo animal (NRC, 1998).

A energia dos alimentos é biologicamente dividida em energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL).

A energia bruta é produzida pela oxidação total da matéria orgânica dos alimentos.

Energia digestível representa a energia do alimento que é absorvida após o processo de digestão dos animais. É determinada pela diferença entre a energia bruta do alimento consumido e a energia bruta das fezes.

A energia metabolizável é obtida pela energia bruta do alimento e a energia bruta das excretas (fezes e urina) e dos gases oriundos da digestão. Considerando que a energia perdida na forma de gases nos monogástricos é muito baixa, esta é desprezada nos cálculos da energia metabolizável. A energia perdida como gases no trato digestório de suínos representa entre 0,1 e 3% da ED (NOBLET et al., 1989).

Energia líquida é aquela obtida da energia metabolizável menos a energia perdida como incremento calórico (IC). O IC representa toda perda de energia durante os processos de digestão, absorção e metabolismo de nutrientes. A energia do IC não é usada para os processos produtivos, mas pode ser utilizada para manter a temperatura corporal em condições de baixa temperatura ambiente. A energia líquida é a energia que o animal utiliza para a manutenção (ELm), ou seja, garante o metabolismo basal (animal em repouso, em jejum e na zona de neutralidade térmica) e produção (ELp), ganho de peso, no caso de suínos.

A relação entre energia líquida e energia metabolizável (k) é a eficiência de utilização da EM para produzir EL. A eficiência da EM varia de acordo com a finalidade que é depositada, podendo ser para ganho de proteína ou para ganho de gordura ou a combinação de proteína e gordura. O k varia com a composição da ração, porque os nutrientes (proteína, carboidratos e gorduras) não são utilizados com a mesma eficiência.

2.2.4. Digestibilidade e balanços nutricionais

Digestibilidade é definida como fração dos nutrientes consumidos e absorvidos no trato gastrointestinal, ou seja, porções do alimento não recuperadas nas fezes. Quando esta fração não recuperada nas fezes se expressa como porcentagem da ingesta, recebe o nome de coeficiente de digestibilidade (ANDRIGUETTO et al., 1983a).

Segundo os mesmos autores, a digestibilidade não é uma medida igualmente útil para todos os nutrientes. Para minerais, por exemplo, realizam-se balanços minerais, determinando a ingestão total e a eliminação total com a finalidade de medir a fração que realmente ficou retida no corpo.

A determinação do nitrogênio do alimento ingerido e das excreções do corpo, sob condições controladas, por exemplo, fornece uma medida quantitativa do metabolismo das proteínas. Na determinação de balanço de nitrogênio, as perdas resultantes das excreções dérmicas e da queda de pelos não são consideradas. Portanto, determinando-se o teor de N no alimento e nas excreções (fezes e urina), obtêm-se o balanço de N.

2.2.5. Caracterização dos dejetos produzidos por suínos

A quantidade de resíduos produzida por suínos depende do peso, da idade dos animais, desempenho, eficiência alimentar e da digestibilidade dos nutrientes da dieta (PENZ JUNIOR et al., 1999) e as características são afetadas por fatores como a fisiologia do animal e a composição das rações.

A quantidade total de dejetos refere-se a fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e também para a higienização do local, resíduos de ração, pêlos e poeira decorrentes do sistema criatório.

Segundo LUCAS JUNIOR & SILVA (1998) a produção total de dejetos em granjas de suínos é muito variável, dependendo principalmente do manejo de limpeza adotado em cada granja, sendo o fator determinante, a quantidade de água utilizada. De qualquer forma, a água estará sempre presente, diluindo e fazendo parte na geração do resíduo final, o que dá aos dejetos de suínos, na maior parte dos sistemas, a característica de efluente líquido. HONEYMAN (1992) complementa que a água é o maior constituinte dos dejetos e apresenta variação de 85 a 95%, reduzindo a concentração de nutrientes e aumentando o volume produzido.

OLIVEIRA (1994) citou que a média diária de produção de dejetos em uma granja de ciclo completo é de 2,35 kg de esterco, 5,80 kg de esterco + urina e 8,60 L de dejetos líquidos.

De acordo com PERDOMO et al. (1999), uma granja com 100 matrizes em ciclo completo produz cerca de 10 m³ de dejetos/dia, quando se utiliza pouca água na higienização das instalações, 15 m³ de dejetos/dia ao se empregar uma quantidade intermediária de água na lavagem das instalações e mais de 20 m³ de dejetos/dia, utilizando-se grandes quantidades de água para limpeza.

KONZEN (1983) afirmou que a quantidade de dejetos líquidos produzidos varia de acordo com o desenvolvimento ponderal dos animais, cerca de 8,5 a 4,9% do seu peso vivo/dia, para a faixa de 15 a 100 kg. Segundo o mesmo autor, a produção de urina é aspecto importante na quantidade de dejetos líquidos produzidos, pois corresponde a aproximadamente 30% do total dos excrementos em peso.

Segundo informações da Associação Paulista de Criadores de Suínos citada por FERREIRA JUNIOR (2002), um suíno produz até 15 kg de dejetos por dia. NAGAE et al. (2005) observaram produção média diária de dejetos líquidos de 10,8 litros por animal. OLIVEIRA (2005) citado por DAGA (2007) complementou que cada matriz, em uma

granja de ciclo completo, produz até 25 m³ de dejeções ao ano considerando fezes, urina, desperdícios de água de bebedouros ou de limpeza e resíduos de rações.

ENSMINGER et al. (1990) ao considerarem uma base de 450 kg de peso vivo, verificaram que os suínos excretam 1,9 vezes mais dejetos que um bovino de corte e 1,3 vezes mais dejetos que um bovino de leite (aproximadamente 16 ton/ano). Ressaltam-se também as concentrações de matéria orgânica e nutrientes presentes nos dejetos, conferindo-lhes elevada carga poluente.

O dejetos de suíno possui potencial poluidor bastante superior ao dejetos humano, pois enquanto para o esgoto doméstico, a DBO₅ (demanda bioquímica de oxigênio) é cerca de 200 mg/L, a DBO₅ dos dejetos de suínos oscila entre 30.000 e 52.000 mg/L, ou seja, em torno de 260 vezes superior (OLIVEIRA, 1993).

De forma geral, elementos como nitrogênio (N), fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn), dependendo da manipulação das fórmulas das dietas e do uso de aditivos alimentares, podem ser eliminados através das fezes e urina em maiores ou menores quantidades, tornando-se potenciais agentes poluidores (PENZ JUNIOR, 1998), contaminando o solo, a água e o ar (WILLIAMS, 1995).

A preocupação com o N é devida a vários fatores:

- contaminação das águas quando na forma de nitrato, o qual está associado a efeitos adversos à saúde através da ocorrência de metaemoglobinemia, especialmente em crianças e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, 1998);
- poluição do ar na forma de amônia (DOURMAD, et al., 1999b);
- presença em excesso nas águas juntamente com o P acarretando eutrofização dos corpos d'água que propicia crescimento excessivo de algas, em especial cianobactérias, as quais são produtoras de toxinas que intoxicam seres humanos quando o corpo d'água é utilizado como fonte de abastecimento para a população (PECHAR, 2000; CAMPOS et al., 2002). Com a morte destas algas ocorre, ainda, o consumo do oxigênio dissolvido na água podendo levar a morte peixes e outros organismos aquáticos.

O potencial do P para contaminar o solo e a água é menor que o do N, em função do P aderir às partículas do solo, tornando-se assim, contaminante parcial de rios e lagos devido à sua translocação limitada (COFFEY, 1992). Porém, como já mencionado, juntamente com o N e em contato com a superfície das águas, o fosfato estimula o crescimento das algas, resultando em contaminação da água.

PAIN (1994) considerou que da poluição causada pela produção animal, 57% provêm da suinocultura devido ao N e P presentes nos dejetos.

De acordo com a United State Department of Agriculture - USDA (1994), o N está contido em 49% do teor de matéria seca dos dejetos, o P representa 18% e o K 29%. Segundo o NRC (1998), 45 a 60% do N e 50 a 80% do P consumidos são excretados pelos animais.

ATIKSON & WATSON (1996) ressaltaram as elevadas excreções de N e P por suínos ao constatarem que as quantidades de N nas fezes e urina se elevaram com o crescimento dos animais, apresentando valores de 60, 67 e 81% de N excretado, em relação à quantidade fornecida, por suínos nas fases inicial, crescimento e terminação, respectivamente. Ao considerarem as perdas de fósforo, observaram que em média 83% é excretado em relação à quantidade fornecida, evidenciando inclusive, maiores perdas de P que de N. Neste aspecto a concentração de fósforo nos dejetos de suínos, ao invés do nitrogênio, assume maior importância.

Trabalho realizado na França por DOURMAD et al. (1999a) mostrou que a excreção fecal de N é de 3,81 e 8,93 g/dia e de P é de 3,12 e 7,29 g/dia para suínos em fase inicial e crescimento/terminação, respectivamente. Ao considerar a excreção urinária destes elementos, verificaram valores de 10,23 e 26,45 g/dia de N e 0,47 e 1,11 g/dia de P para suínos nas fases inicial e crescimento/terminação respectivamente.

A preocupação com o potencial poluente do Cu e Zn consiste na utilização de altas dosagens destes minerais nas rações dos suínos com a função de promotores de crescimento (Cu e Zn) e controle da diarreia (Zn). LIMA et al. (1999) citaram que a taxa de excreção de Cu chega a 71,76% do total consumido e 76,36% para o elemento Zn. Assim, tornam-se constituintes importantes das excreções visto que suas concentrações nos dejetos de suínos são diretamente proporcionais à concentração na

ração. Segundo OLIVEIRA (1994), níveis relativamente baixos destes elementos podem prejudicar o desenvolvimento de espécies aquáticas que entrem em contato com os dejetos e quando absorvidos pelas plantas, podem entrar na cadeia alimentar humana, acumulando-se no organismo e provocando sérias enfermidades.

2.3. Material e Métodos

Os experimentos de desempenho e de digestibilidade de suínos foram conduzidos no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal. As coordenadas geográficas do Setor de Suinocultura são: 21° 15' 22" S; 48° 18' 58" W e altitude média de 595 m. No período de realização do experimento (06/10/2006 a 03/02/2007) a temperatura média ambiente foi de 24,2 °C, a umidade relativa do ar 77,4% e a precipitação média 254,7 mm (Universidade Estadual Paulista, 2008).

2.3.1. Definição dos experimentos

Os animais foram submetidos a duas dietas constituindo dois tratamentos:

- M: dieta contendo o milho como principal fonte energética;
- S: dieta contendo o sorgo como principal fonte energética.

Os experimentos foram divididos em três fases, de acordo com a idade dos animais quando foram realizadas as mudanças das rações, sendo:

- fase inicial: 21 aos 63 dias de idade;
- fase crescimento: 64 aos 110 dias de idade;
- fase terminação: 111 aos 150 dias de idade.

2.3.1.1. Ensaio de desempenho

Foram utilizados 12 suínos machos castrados da linha genética Dalland/Topigs desmamados aos 21 dias de idade, com aproximadamente $5,70 \pm 0,42$ kg de peso vivo médio. Assim, seis animais foram alimentados com dietas formuladas com milho (M) e seis com dietas formuladas com sorgo (S) em todas as fases.

Os pesos vivos médios dos animais no início do experimento e nos momentos das mudanças de rações foram:

- Dieta M: 5,53 kg no início da fase inicial;
19,53 kg no início da fase crescimento;
75,23 no início da terminação.
- Dieta S: 5,70 kg no início da fase inicial;
17,77 kg no início da fase crescimento;
73,20 no início da terminação.

Os animais foram abrigados individualmente em baias experimentais de $2,55 \text{ m}^2$, com piso de concreto, com saída de esgoto tampada com grelha para escoamento de líquidos, bebedouro em nível do tipo vaso comunicante e comedouro semi-automático.

Durante todo o experimento os animais receberam ração farelada e água à vontade. As rações experimentais foram formuladas de forma a atender as exigências nutricionais mínimas de cada fase de crescimento dos animais. Foram formuladas sete dietas em cada tratamento, sendo elas: Inicial com zinco, Inicial I, Inicial II, Crescimento I, Crescimento II e Terminação. A composição dos ingredientes utilizados baseou-se nas tabelas de ROSTAGNO (2005) e estão apresentadas nos Anexos 1 e 2.

O milho utilizado nas formulações das rações foi um híbrido duplo comercial, ciclo normal, amarelo dentado. O sorgo possuía grãos de coloração castanha, com teor de taninos totais igual a $1,34 \text{ g}$ de ácido tânico/kg MS, fenóis totais igual a $2,68 \text{ g}$ de ácido tânico/kg MS e não possuía taninos condensados, sendo, portanto, recomendado para fabricação de ração animal, visto que segundo BUTOLO (2002) o teor de taninos totais

pode ser devido a outros fenóis e não a presença de taninos condensados. A determinação dos teores de fenóis totais foi realizada utilizando o método Azul da Prússia descrito por PRICE & BUTLER (1977) e realizadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, ESALQ/USP.

Para determinação do desempenho dos animais, os suínos, a ração fornecida e as sobras de ração foram pesados no início e ao final de cada fase. O desempenho foi avaliado quanto ao ganho médio diário de peso (GMDP), em kg/dia, consumo médio diário de ração (CMDR), em kg/dia e conversão alimentar (CA) obtidos como se segue:

- a) GMDP: determinado por diferença entre as pesagens dos animais no início e final de cada fase de crescimento, dividida pelo número de dias da fase;
- b) CMDR: obtido por meio de pesagens das rações fornecidas aos animais em cada fase de crescimento dividido pelo número de dias de cada fase;
- c) CA: obtida pela relação entre o consumo diário de ração e ganho diário de peso do animal nos períodos considerados.

2.3.1.2. Ensaio de digestibilidade dos nutrientes

A unidade de digestibilidade do Setor de Suinocultura contém gaiolas de estudos metabólicos metálicas semelhantes às descritas por PEKAS (1968). As gaiolas estavam localizadas em salas equipadas com cortinas móveis e ventiladores a fim de propiciar maior conforto térmico aos animais.

Foram realizados três ensaios metabólicos. Quatro suínos machos castrados da linha genética Dalland/Topigs foram submetidos a cada dieta experimental, ou seja, ração formulada com milho ou sorgo, em cada uma das fases. Na fase inicial foi utilizada a ração inicial II (Anexo 1), na fase crescimento e terminação, as rações crescimento I e terminação, respectivamente (Anexo 2).

Foi utilizado o método de coleta total de fezes, ou seja, foi mensurado o total de alimento consumido e o total de excretas produzidas durante determinado período de tempo. Na fase inicial os animais foram alojados nas gaiolas de estudos metabólicos durante 15 dias, sendo os oito primeiros dias para adaptação às gaiolas e determinação

do consumo individual de ração, objetivando-se que, no período de coleta, sete dias, fossem fornecidas quantidades de ração para serem totalmente consumidas. Nas fases crescimento e terminação, a adaptação às gaiolas durou seis e três dias, respectivamente, e a fase de coleta, sete dias.

O cálculo da quantidade de ração fornecida para cada animal, em cada ensaio metabólico, foi o produto do menor coeficiente de consumo pelo peso metabólico de cada animal ($P^{0,75}$). O coeficiente de consumo foi o quociente entre a quantidade média de ração consumida voluntariamente por animal no período de adaptação e o seu peso metabólico. As quantidades de ração foram ajustadas pelo consumo do animal de menor ingestão, observado durante o período de adaptação, permitindo a todos os animais o consumo de quantidades iguais de nutrientes por peso metabólico. O arraçoamento foi realizado duas vezes ao dia pela manhã e à tarde (8 e 17 h), com as rações previamente pesadas e em seguida umedecidas e a água de bebida foi fornecida à vontade.

O óxido férrico (Fe_2O_3) foi utilizado como marcador fecal para determinar o início e o final do período de coleta. As fezes foram coletadas e pesadas duas vezes ao dia e posteriormente mantidas congeladas em sacos de plástico. A urina foi coletada diariamente em baldes de plástico, filtrada, o volume produzido mensurado e uma alíquota de 20% mantida congelada. Em cada recipiente utilizado para coleta de urina foram adicionados 20 mL de solução 1:1 de ácido clorídrico (HCl) e água destilada, para evitar proliferação microbiana e a perda de compostos nitrogenados.

Para as análises laboratoriais as fezes e urina de cada animal foram descongeladas, homogeneizadas e amostradas.

2.3.1.3. Produção de fezes

Para avaliação da produção de fezes e dos teores de nutrientes nestas as mesmas foram coletadas de cada baia utilizada no ensaio de desempenho durante todo o período experimental, em dias alternados, da seguinte forma: na véspera do dia de coleta, no período da manhã, as baias eram limpas com água pressurizada e neste

mesmo dia, no período da tarde, era efetuada a primeira coleta das fezes para serem pesadas. No dia seguinte, pela manhã, era realizada a segunda pesagem das fezes produzidas e a coleta para secagem em estufa, armazenagem e posteriores análises laboratoriais. Assim feito, era obtido o total de fezes produzidas em 24 h por animal. As baias foram separadas por placas de madeira, a fim de evitar que um animal defecasse na baia adjacente, através das grades divisórias.

Durante as coletas foi tomado o cuidado de separar fezes que tivessem sido contaminadas com restos de ração das fezes intactas de forma que seu peso foi considerado, mas seu conteúdo não foi incorporado à amostra a ser armazenada para não alterar os teores de nutrientes.

As fezes e urina obtidas nos ensaios de digestibilidade foram coletadas, pesadas e congeladas como já explicado.

Foi determinado o coeficiente de resíduo (Cr) a partir das fezes geradas nas baias. O conceito de Cr pode, em muitas situações, ser aplicado em estudos com animais fornecendo importantes informações quanto ao balanço de massa no sistema alimento x animal x resíduo. Na suinocultura, significa a relação entre a quantidade de fezes geradas (base seca) e o peso dos animais produzidos, conforme adaptado de RISSER (1987) e STREHLER & SÜTZLE (1987) por SANTOS (1997).

2.3.2. Análises laboratoriais e metodologias utilizadas

As amostras de fezes obtidas nos dois ensaios foram submetidas à pré-secagem, em estufa com circulação de ar forçada a 55 °C durante 72 h.

Após a pré-secagem, parte das amostras foi submetida às análises de ST em estufa de circulação de ar forçada por 12 h a 105 °C. Os ST resultantes foram para forno mufla a 600 °C durante 2 h e possibilitaram a determinação de sólidos voláteis (SV) conforme descrito em APHA (1998).

Para a determinação dos nutrientes, as amostras de fezes submetidas à pré-secagem a 55 °C foram moídas em moinho portátil IKA® A11 basic.

A digestão das amostras para determinação do N foi realizada utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) e mistura digestora composta por sulfato de sódio (Na_2SO_4), sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) e selenito de sódio (Na_2SeO_3). A determinação foi pelo método Micro-Kjeldahl, o qual se baseia no princípio da transformação do nitrogênio amoniacal (NH_4) $_2\text{SO}_4$ em amônia, a qual é fixada pelo ácido bórico (H_3BO_3) e posteriormente titulada com H_2SO_4 até nova formação de (NH_4) $_2\text{SO}_4$ na presença de indicador ácido-base (SILVA & QUEIRÓZ, 2002).

Para determinação dos demais nutrientes, as amostras sofreram digestão nítrico-perclórica, a qual promove a digestão total da matéria orgânica a partir da mistura de ácido nítrico (HNO_3) e ácido perclórico (HClO_4). Com o extrato obtido da digestão foi possível efetuar a determinação dos teores de fósforo, cálcio, magnésio, sódio, potássio, zinco, cobre, ferro e manganês, segundo BATAGLIA (1983).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2010 (HACH, 1991). O método baseia-se na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6 N. A concentração de fósforo das amostras é obtida utilizando uma reta padrão traçada previamente com concentrações conhecidas de padrões de 0 e 52 mg de P/mL. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por MALAVOLTA et al. (1989).

As concentrações de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica tipo chama modelo GBC 932 AA.

As amostras de ração não sofreram a pré-secagem sendo apenas moídas, seguindo os mesmos procedimentos descritos para as amostras de fezes.

Para a determinação dos nutrientes presentes na urina, foram utilizadas amostras *in natura*, ou seja, que não sofreram secagem em estufa. A digestão da urina foi realizada utilizando ácido nítrico (HNO_3), ácido clorídrico (HCl) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) de acordo com adaptação do método 3050B da USEPA (EDGE, 1998). Com exceção da digestão das amostras de urina, as determinações de nutrientes seguiram as mesmas metodologias supracitadas.

Para determinação da energia bruta (EB), as amostras de urina foram secas em placas de Petri, em estufa com circulação de ar forçada a 55 °C por 72 h, sendo que a cada 24 h o volume das placas era completado. A determinação de EB das fezes obtidas no ensaio de metabolismo, rações e urina foi realizada em bomba calorimétrica do tipo Parr.

A partir dos resultados obtidos nas amostras do ensaio de metabolismo, foram calculados os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (MS), EB e proteína bruta (PB), assim como os respectivos nutrientes digestíveis das rações. Também foi calculado o coeficiente de metabolizabilidade da energia digestível e conseqüentemente obtida a energia metabolizável. Estes cálculos foram feitos de acordo com ADEOLA (2001).

As determinações de ST e nutrientes foram realizadas no Laboratório de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP e as análises de energia no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da mesma faculdade.

2.3.3. Análises estatísticas

Em ambos os ensaios, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, com duas dietas, milho e sorgo, e três fases, inicial, crescimento e terminação. No ensaio de desempenho foram utilizadas seis repetições e um animal por unidade experimental. Como não houve redistribuição dos animais ao final de cada fase, os resultados de desempenho (CMDR, GMDP e CA) foram analisados da seguinte forma:

- Fase inicial: dos 21 aos 63 dias de idade;
- Fase crescimento: dos 21 aos 110 dias de idade;
- Fase terminação: dos 21 aos 150 dias de idade.

No ensaio de digestibilidade, também foram testadas duas dietas, milho e sorgo, e as fases inicial, crescimento e terminação, considerando-se quatro repetições.

Os dados obtidos nos dois ensaios foram submetidos à análise de variância de medidas repetidas, considerando um fator entre os animais e um fator dentro dos animais. O primeiro fator possuía dois níveis (dietas) e o segundo, três níveis (fases). O modelo estatístico aplicado foi conforme ZAR (1999). Utilizou-se do programa estatístico SISVAR 4.6. (FERREIRA, 2000) e as comparações das médias foram efetuadas pelo teste de Tukey (5%).

2.4. Resultados e Discussão

2.4.1. Desempenho dos animais

Os dados de consumo médio diário de ração (CMDR), ganho em peso médio diário (GPMD) e conversão alimentar (CA) estão apresentados na Tabela 2. As diferentes dietas não alteraram ($P>0,05$) o desempenho em nenhuma das fases.

TABELA 2. Consumo médio diário de ração (CMDR), ganho em peso médio diário (GPMD) e conversão alimentar (CA) ao final da fase inicial, crescimento e terminação por suínos alimentados com dietas formuladas com milho (M) ou sorgo (S).

	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
CMDR (kg)	M	0,602	1,552	1,839
	S	0,531	1,461	1,763
*CV (%)		31,10	29,05	16,70
GMDP (kg)	M	0,353	0,652	0,686
	S	0,289	0,626	0,668
CV (%)		44,93	27,60	13,60
CA	M	1,75	2,36	2,66
	S	1,84	2,34	2,65
CV (%)		14,94	6,15	3,83

*CV: Coeficiente de variação.

Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey (5%).

MARQUES et al. (2007) afirmaram que a variabilidade da composição química e conseqüentemente do valor nutricional do sorgo pode reduzir o desempenho de suínos. Entretanto, neste trabalho não foram verificadas diferenças ($P>0,05$) no desempenho dos animais em nenhuma das fases e em nenhuma variável analisada.

Observa-se também pelos resultados obtidos que a CA, piorou para os tipos de dietas conforme os animais se desenvolveram e mudaram de fase. Na fase terminação há aumento de deposição de gordura e esta tem cerca de 10% de matéria seca, enquanto que o tecido muscular (carne) tem 30%, o que indica uma necessidade três vezes maior de alimento para a produção de gordura do que para a produção de carne. Assim, a porcentagem de gordura da carcaça está proporcionalmente ligada à conversão alimentar (ANDRIGUETTO et al., 1983b).

A ausência de diferenças entre as dietas na fase inicial de crescimento de suínos também foi verificada por outros autores. RANTANEN et al. (1995) não detectaram diferenças no desempenho de suínos alimentados com rações formuladas à base de sorgo ou milho. Da mesma forma, DEAN et al. (2000) avaliaram o efeito de diferentes híbridos de sorgo, compararam com o milho e com base nos dados de desempenho, concluíram que os valores nutricionais dos vários híbridos de sorgo testados foram semelhantes aos do milho.

OLIVEIRA et al. (2004) estudaram o desempenho de suínos em fase inicial alimentados com ração composta por 63,7% de milho e verificaram CMDR de 0,953 kg, GMDP de 0,559 kg e CA 1,70, sendo que os dois primeiros valores citados foram maiores que os observados no presente trabalho e a CA menor e, portanto, melhor.

Experimento com animais na fase crescimento foi realizado por FIALHO et al. (2002) os quais testaram diferentes níveis de substituição do milho pelo sorgo para suínos e não observaram diferença no desempenho quando substituíram 100% do milho pelo sorgo.

CONTIJO et al. (1976) estudaram a substituição de 100% do milho pelo sorgo em rações para suínos em crescimento e terminação e observaram que o GMDP e CMDR foram semelhantes entre os animais. Os GMDP observados pelos autores foram maiores que os observados no presente trabalho, sendo eles 0,726 e 0,794 kg para o milho e 0,701 e 0,741 kg para o sorgo, nas fases crescimento e terminação, respectivamente. Os valores de CA foram maiores que os observados neste trabalho, sendo eles 2,64 e 2,87 para o milho e sorgo, respectivamente, na fase crescimento passando tais valores para 3,44 e 3,57 na terminação.

Para animais em terminação alimentados com ração contendo 76,78% de milho, SILVA et al. (2002) verificaram CMDR, GMDP e CA de 3,706 kg, 0,936 kg e 4,03, respectivamente. Tais valores foram maiores que os verificados por MOREIRA et al. (2002) os quais observaram CMDR de 2,686 kg, GMDP de 0,867 kg e CA 3,10 quando forneceram ração contendo 74,25% de milho. Em ambos os trabalhos, os dados de desempenho foram maiores que os observados neste.

2.4.2. Digestibilidade de nutrientes

Os resultados e respectivas análises estatísticas dos dados do experimento de digestibilidade encontram-se na Tabela 3.

Não foi observada qualquer diferença ($P > 0,05$) entre as dietas em nenhuma das fases para os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da energia bruta (CDEB), coeficiente de metabolizabilidade (CMEB), energia digestível (ED) e metabolizável (EM). Para o coeficiente de digestibilidade da proteína bruta (CDPB) e proteína digestível (PD) foram observadas diferenças ($P < 0,05$) entre as dietas apenas na fase terminação, sendo que a dieta à base de milho apresentou maiores valores. Quanto à matéria seca digestível (MSD) foram verificadas diferenças ($P < 0,05$) entre dietas nas fases crescimento e terminação, sendo os maiores valores verificados nas dietas formuladas com sorgo.

Comparando as diferentes fases verifica-se que a fase terminação apresentou maiores valores ($P < 0,05$) que as demais nos coeficientes de digestibilidade da MS, PB, EB, CMEB, ED e EM considerando ambas as dietas. Para a variável PD os maiores valores ($P < 0,05$) foram verificados na fase inicial, tanto para a dieta à base de milho como para a dieta à base de sorgo. Não foram verificadas diferenças ($P > 0,05$) entre as diferentes fases para a variável MSD.

TABELA 3. Coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), coeficientes de digestibilidade da proteína bruta (CDPB), coeficientes de digestibilidade da energia bruta (CDEB), coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB), matéria seca digestível (MSD), proteína digestível (PD), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) para suínos nas fases inicial, crescimento e terminação alimentados com dietas formuladas com milho (M) ou sorgo (S). Valores expressos com base na matéria seca.

Variáveis	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
CDMS (%)	M	85,82 Ab	86,16 Ab	90,05 Aa
	S	83,82 Ab	86,46 Ab	89,53 Aa
*CV (%) dietas: 2,62 fases: 1,64				
CDPB (%)	M	83,40 Ab	84,84 Ab	90,27 Aa
	S	79,58 Ab	82,04 Aab	84,40 Ba
CV (%) dietas: 4,75 fases: 2,81				
CDEB (%)	M	84,86 Ab	85,44 Ab	89,39 Aa
	S	82,57 Ab	85,15 Ab	88,11 Aa
CV (%) dietas: 2,70 fases: 1,67				
CMEB (%)	M	82,34 Ab	84,45 Ab	88,62 Aa
	S	81,71 Ab	84,46 Aab	87,43 Aa
CV (%) dietas: 3,26 fases: 2,20				
MSD (%)	M	76,37 Aa	75,52 Ba	76,87 Ba
	S	77,82 Aa	79,64 Aa	79,59 Aa
CV (%) dietas: 2,71 fases: 1,56				
PD (%)	M	19,91 Aa	18,35 Ab	17,61 Ab
	S	19,00 Aa	17,88 Ab	15,92 Bc
CV (%) dietas: 4,98 fases: 2,90				
ED (kcal/kg)	M	3304,82 Aab	3271,09 Ab	3398,28 Aa
	S	3261,32 Ab	3311,18 Aab	3393,92 Aa
CV (%) dietas: 2,69 fases: 1,67				
EM (kcal/kg)	M	3206,57 Ab	3233,05 Aab	3368,93 Aa
	S	3227,25 Ab	3284,39 Aab	3368,08 Aa
CV (%) dietas: 3,27 fases: 2,21				

Coefficiente de Variação

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

A similaridade dos coeficientes de digestibilidade da MS, PB e EB verificada nas fases inicial e crescimento corroboram com afirmações de COUSINS et al. (1981) e LIZARDO et al. (1995) os quais citaram que o sorgo de baixo tanino pode ser utilizado

em quantidades similares às do milho em dietas para leitões em fase inicial e apresenta digestibilidade dos nutrientes semelhantes à do milho em suínos em fase crescimento.

Os resultados obtidos para CDMS, CDPB e CDEB no presente trabalho foram maiores que os verificados por MARQUES et al. (2007), os quais obtiveram CDMS = 85,49%, CDPB = 82,8% e CDEB = 83,37% para animais alimentados com milho e CDMS = 82,61%, CDPB = 76,56%, CDEB = 79,44% para animais alimentados com sorgo quando avaliaram os efeitos digestivos da substituição de milho por sorgo em dietas para suínos em crescimento. FIALHO et al. (2002) verificaram CDPB 84,49 e 85,78% para rações formuladas com milho e sorgo, respectivamente, quando trabalharam com animais dos 10 aos 30 kg de peso vivo médio, sendo os resultados obtidos maiores que os observados na presente pesquisa. Os referidos autores não verificaram diferenças no CDPB entre os tratamentos e nem em valores de ED e EM.

As diferenças de estrutura e tipo de proteína do grão de sorgo, comparadas as do milho, podem ter contribuído para o menor coeficiente de digestibilidade da proteína bruta (CDPB) e proteína digestível (PD) na dieta formulada com sorgo verificado na fase terminação. Segundo DUODU et al. (2003), o tipo de proteína e sua distribuição no endosperma dos grãos de sorgo são fatores que podem influenciar a digestibilidade da proteína. O sorgo geralmente apresenta uma proporção da região periférica do endosperma maior do que a do milho e esta região periférica é densa e resistente à penetração de água, sendo constituída de elevado conteúdo protéico que também pode prejudicar a degradação física e enzimática do amido. Além disso, as prolaminas presentes no sorgo podem formar ligações entre si e diminuir a digestibilidade da proteína que o envolve (ROONEY & MILLER, 1982; ROONEY & PFLUGFELDER, 1986, citados por MARQUES et al., 2007).

Os maiores valores médios ($P > 0,05$) de CDMS, CDPB e CDEB foram na fase terminação. Tais resultados corroboram com afirmação de VAREL (1987), o qual afirmou que animais mais velhos, como suínos em terminação, apresentam valores de digestibilidade maiores que animais em crescimento.

A ausência de diferenças ($P>0,05$) entre as dietas nos valores de energia digestível (ED) e metabolizável (EM) era esperada, pois os grãos de milho e de sorgo apresentam em sua composição valores similares de energia e apesar de o tanino interferir negativamente na utilização da energia das rações (FIALHO & BARBOSA, 1997) a análise laboratorial evidencia que o sorgo usado no presente trabalho caracteriza uma variedade sem taninos condensados.

2.4.3. Produção e caracterização das fezes

As quantidades médias de fezes, baseadas na matéria natural e matéria seca, excretadas diariamente por suínos alojados em baias individuais e alimentados com duas dietas nas três fases estão apresentadas na Tabela 4 representadas nas Figuras 1 e 2.

As diferentes dietas não interferiram ($P>0,05$) na quantidade de fezes geradas, considerando a matéria natural, na fase inicial, ao passo que nas demais as maiores produções médias ($P<0,05$) foram por animais alimentados com dietas contendo sorgo. Considerando a quantidade de matéria seca excretada nas fezes, as diferentes dietas não influenciaram ($P>0,05$) na produção nas fases inicial e terminação e na fase crescimento a maior produção média de matéria seca ($P<0,05$) foi por animais alimentados com dietas contendo sorgo.

TABELA 4. Produção média diária de fezes, em kg de matéria natural e matéria seca, por suínos alojados em baias individuais e alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

Dietas		Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
Matéria natural	M	0,321 A	0,622 B	0,902 B
	S	0,348 A	0,900 A	1,119 A
	CV (%)	16,91	13,74	6,53
Matéria seca	M	0,112 A	0,186 B	0,270 A
	S	0,110 A	0,232 A	0,276 A
	CV (%)	14,49	18,04	6,52

Coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si (Tukey, 5%).

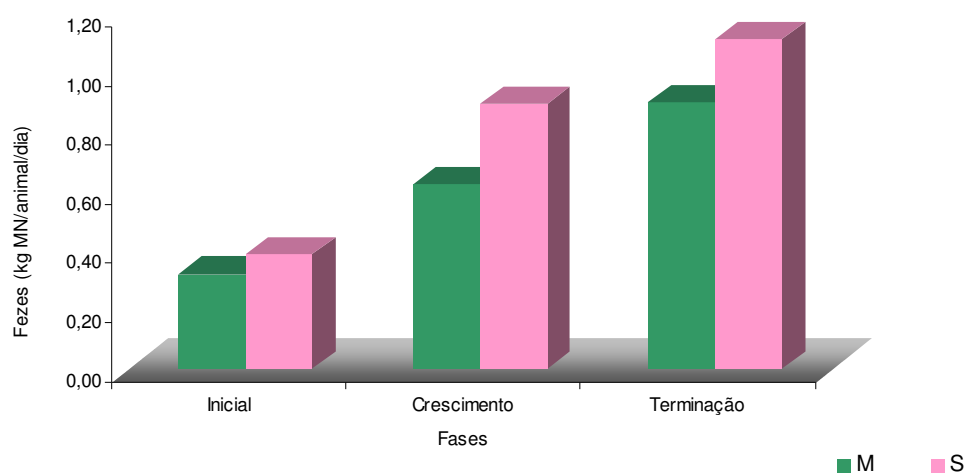


FIGURA 1. Produção média diária de fezes (matéria natural) por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.

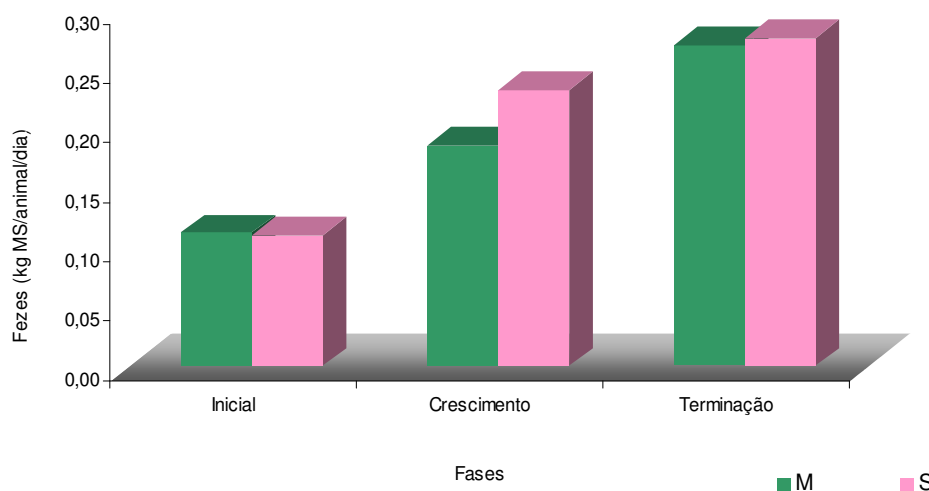


FIGURA 2. Produção média diária de fezes (matéria seca) por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.

A maior produção de fezes, em matéria natural, por animais alimentados com dietas contendo sorgo ocorreu devido a maior porcentagem de água nestas, além destes animais terem excretado maior quantidade matéria seca.

FRAGA (2005) verificou produção média diária de fezes para suínos na fase terminação igual a 922 g de matéria natural e 312 g de matéria seca, quando estes

foram alimentados com dieta formulada à base de milho, valores estes similares aos observados no presente trabalho.

Conhecendo o consumo médio diário de ração e as quantidades médias de fezes excretadas durante cada fase de crescimento pelos suínos alojados em baias individuais, foi possível calcular a excreção total de fezes, em porcentagem do consumido. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

As diferentes dietas interferiram ($P < 0,05$) na porcentagem de excreção em relação à matéria natural consumida na fase crescimento, na qual o maior valor médio ($P < 0,05$) foi para suínos alimentados com dieta formulada à base de sorgo. Analisando as diferentes fases observa-se que animais na fase crescimento alimentados com dieta à base de milho excretaram menos ($P < 0,05$) em relação à matéria natural consumida e animais em fase inicial alimentados com ambas as dietas apresentaram maior percentual médio ($P < 0,05$) de excreção de fezes, em relação à matéria seca consumida.

TABELA 5. Porcentagem média de fezes excretadas em relação ao consumido (matéria natural e matéria seca) por suínos alojados em baias individuais e alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
Matéria Natural	M	54,84 Aa	40,72 Bb	49,59 Aa
	S	66,27 Aa	61,20 Aa	62,93 Aa
		*CV (%) dietas: 33,37 fases: 7,37		
Matéria Seca	M	19,75 Aa	12,55 Ac	15,29 Ab
	S	21,57 Aa	16,34 Ab	16,04 Ab
		CV (%) dietas: 32,05 fases: 7,72		

Coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

Diversos autores (KOLB, 1976; CLANTON et al., 1991; BELLI FILHO, 1995) afirmaram que a quantidade de dejetos de suínos é influenciada pela quantidade, composição e forma física (sólido, pastoso e líquido) do alimento. Como neste trabalho a composição das dietas foi diferente, ou seja, foram formuladas com milho ou sorgo

como fontes de energia, as quantidades ingeridas variaram entre as dietas. Portanto, as quantidades diferentes de excreções são justificáveis.

Na Figura 3 está representada a correlação entre a produção média diária de fezes e idade dos suínos submetidos às diferentes dietas, milho (M) ou sorgo (S) durante todo o período experimental.

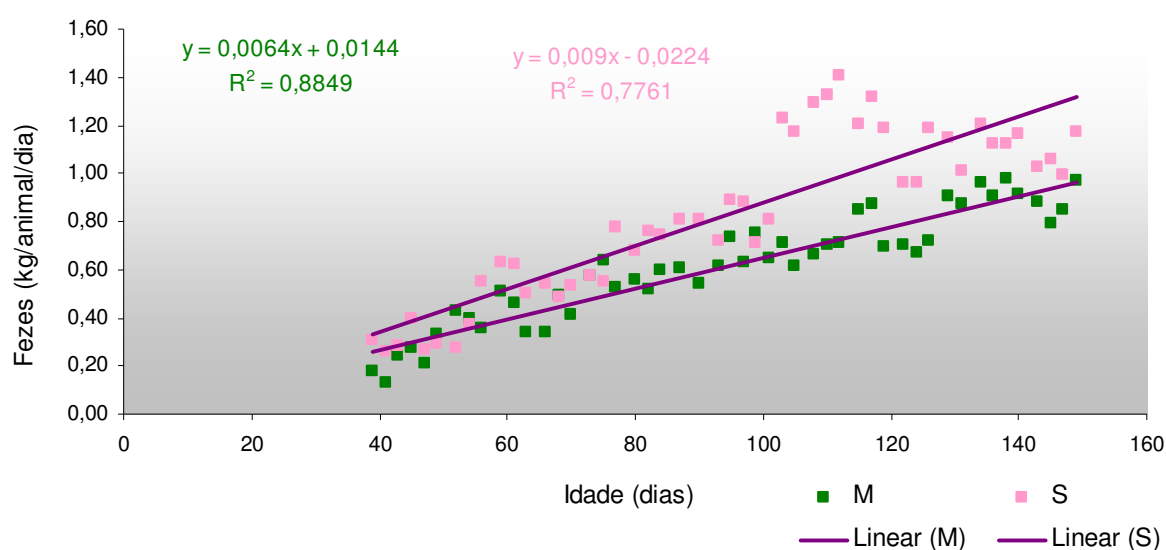


FIGURA 3. Correlação entre produção média diária de fezes por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) e idade dos animais.

Verifica-se que a produção média diária de fezes variou entre os animais de mesma idade e submetidos às diferentes dietas. SOUZA et al. (2008) afirmaram que para suínos a quantidade de resíduos produzida depende do peso e da idade dos animais e que as características dos resíduos também são afetadas por fatores como a fisiologia do animal e a composição das rações. Frente a tal afirmação, foi correlacionada a produção média diária de fezes com o peso vivo médio dos suínos submetidos a dieta contendo milho ou sorgo (Figura 4).

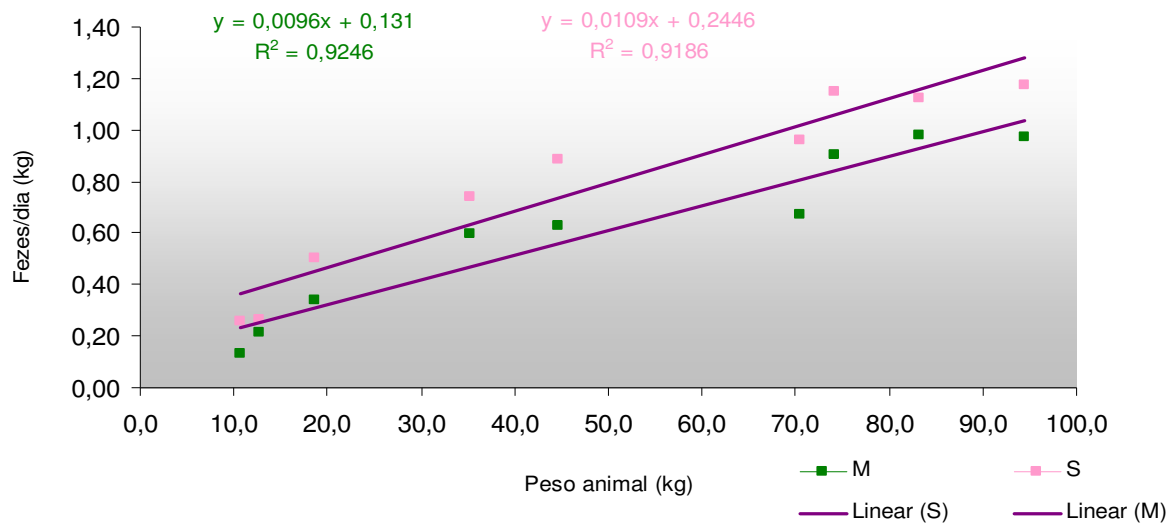


FIGURA 4. Correlação entre produção média diária de fezes por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) e peso médio dos animais.

Analisando a quantidade média de fezes produzidas pelos suínos e o peso vivo médio destes, verifica-se que as excreções aumentaram conforme os animais ganharam peso. Entretanto, considerando a produção média de fezes em porcentagem do peso vivo, observa-se que os valores diminuiriam conforme os animais aumentavam de peso e mudavam de fase de crescimento. As porcentagens de fezes em função do peso vivo dos animais alimentados com milho foram 1,64; 1,21 e 1,06% nas fases inicial, crescimento e terminação, respectivamente. Para os animais alimentados com sorgo estes valores foram 2,17; 1,22 e 1,18% nas fases inicial, crescimento e terminação, respectivamente.

Como a quantidade de dejetos de suínos é influenciada pelo tipo de ração e pelo peso vivo dos animais, era esperado que a excreção média diária de fezes pelos suínos submetidos a dietas diferentes e com pesos vivos também diferentes fossem variadas.

Na Tabela 6 estão apresentados os valores dos coeficientes de resíduo (Cr) de suínos alimentados com dietas contendo milho ou sorgo nas fases inicial, crescimento e terminação, bem como no período total de criação.

Comparando-se as diferentes dietas, verifica-se diferença ($P < 0,05$) nas três fases nas quais os maiores Cr foram observados para animais alimentados com dieta formulada à base de sorgo. As diferentes fases não interferiram nos valores de Cr.

TABELA 6. Coeficientes de resíduo obtidos nas fases inicial, crescimento e terminação e no período total para suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo.

Dietas	Fases			Período total
	Inicial	Crescimento	Terminação	
Milho	0,27 Ba	0,23 Ba	0,26 Ba	0,25 B
Sorgo	0,35 Aa	0,30 Aa	0,34 Aa	0,33 A

*CV (%) dietas: 20,46
fases: 20,47

Coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

As dietas formuladas com sorgo induziram a maior produção de fezes quando comparadas com as dietas formuladas com milho e este fato, juntamente com o ganho em peso dos animais, proporcionaram os maiores valores de Cr para suínos alimentados com dietas contendo sorgo.

Os teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) nas fezes dos suínos submetidos as duas dietas nos três períodos experimentais, alojados em baias individuais e em gaiolas de estudos de metabolismo, são mostrados nas Tabelas 7 e 8.

Nas fezes de suínos alojados em baias individuais os teores médios de sólidos foram maiores ($P < 0,05$) para aqueles animais alimentados com dieta formulada com milho e, considerando as diferentes fases, a fase inicial diferiu ($P < 0,05$) das demais em ambas as dietas. Quanto aos suínos alojados em gaiolas de estudos metabólicos, as dietas e fases não interferiram ($P > 0,05$) nos teores médios de sólidos.

TABELA 7. Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, em fezes de suínos alojados em baias individuais e alimentados com dietas contendo milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
ST	M	35,00 Aa	29,86 Ab	29,89 Ab
	S	31,64 Ba	25,93 Bb	24,75 Bb
*CV (%) dietas: 20,48 fases: 21,76				
SV	M	30,59 Aa	25,98 Ab	26,68 Ab
	S	27,96 Ba	23,20 Bb	22,16 Bb
CV (%) dietas: 20,80 fases: 21,41				

Coefficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

TABELA 8. Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, em fezes de suínos alojados em gaiolas de estudos metabólicos e alimentados com dietas contendo milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
ST	M	24,22	27,53	31,53
	S	27,76	30,63	28,11
*CV (%) dietas: 25,65 fases: 19,93				
SV	M	20,64	23,17	26,30
	S	24,35	26,66	24,27
CV (%) dietas: 29,55 Fases: 19,51				

Coefficiente de variação.

Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey (5%).

A ausência de diferença nos teores de ST das fezes obtidas em gaiolas de estudos metabólicos era esperada, visto que os CDMS das duas dietas testadas não diferiram. MARCATO & LIMA (2005) citaram estudos que mostram que o aumento da digestibilidade da matéria seca da dieta pode promover queda na excreção de matéria seca pelas fezes.

Os teores médios de ST e SV observados nas fezes dos animais em terminação alojados em baias individuais ou gaiolas de estudos metabólicos foram menores que valores obtidos por FRAGA (2005), o qual verificou teores de 34,6 e 29,3% de ST e SV, respectivamente, em fezes de suínos alojados em baias e alimentados com dietas formuladas com milho.

Nas tabelas que se seguem são apresentadas as concentrações médias de nutrientes presentes nas fezes e urina dos suínos. Serão discutidas as concentrações médias de N, P, Zn e Cu por serem os nutrientes que mais causam impacto da suinocultura ao meio ambiente. Entretanto, o que se verificou para estes nutrientes também ocorreu com os demais, ou seja, a excreção média diferiu entre as dietas testadas e as diferentes fases dos animais.

Na Tabela 9 são apresentadas as concentrações médias de nutrientes presentes nas fezes de suínos alojados em baias individuais.

As fezes de animais alimentados com dietas formuladas com milho apresentaram maiores concentrações médias ($P < 0,05$) de P em todas as fases, N na fase inicial, Zn no crescimento e terminação e Cu na terminação. As maiores concentrações médias ($P < 0,05$) de N na terminação e de Cu nas fases inicial e crescimento foram verificadas nas fezes dos suínos alimentados com dietas contendo sorgo.

Comparando as fases, nota-se que na fase inicial ocorreram maiores excreções médias ($P < 0,05$) de N e Zn por animais alimentados com ambas as dietas.

TABELA 9. Concentrações médias de macronutrientes (porcentagem da matéria seca) e micronutrientes (mg/kg de matéria seca) em fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases alojados em baias individuais.

Nutrientes	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
Nitrogênio (%)	M	5,60 Aa	4,27 Ab	3,69 Bc
	S	5,09 Ba	4,48 Ab	4,87 Aab
*CV (%) dietas: 9,46 fases: 10,70				
Fósforo (%)	M	1,66 Aa	1,54 Aa	1,56 Aa
	S	1,02 Ba	1,25 Ba	1,13 Ba
CV (%) dietas: 23,86 fases: 24,03				
Potássio (%)	M	2,48 Aa	2,41 Aa	2,30 Aa
	S	2,79 Aa	2,20 Ab	2,12 Ab
CV (%) dietas: 18,85 fases: 17,52				
Cálcio (%)	M	0,57 Ab	0,76 Aa	0,73 Aa
	S	0,49 Ba	0,48 Ba	0,48 Ba
CV (%) dietas: 14,75 fases: 18,57				
Magnésio (%)	M	1,83 Aab	2,06 Aa	1,66 Ab
	S	1,30 Ba	1,53 Ba	1,41 Ba
CV (%) dietas: 18,93 fases: 17,19				
Sódio (%)	M	0,58 Ba	0,49 Aa	0,64 Aa
	S	0,95 Aa	0,68 Ab	0,78 Aab
CV (%) dietas: 41,76 fases: 37,86				
Ferro (MG/kg)	M	2.290 Ab	2.678 Aa	2.049 Ab
	S	2.038 Aa	2.294 Ba	2.172 Aa
CV (%) dietas: 16,87 fases: 19,22				
Manganês (mg/kg)	M	335 Aa	375 Aa	270 Bb
	S	267 Bb	342 Aa	331 Aa
CV (%) dietas: 18,88 fases: 19,49				
Zinco (mg/kg)	M	588 Aa	463 Ab	422 Ab
	S	580 Aa	368 Bb	344 Bb
CV (%) dietas: 17,94 fases: 19,23				
Cobre (mg/kg)	M	128 Ba	128 Ba	151 Aa
	S	166 Aa	164 Aa	167 Ba
CV (%) dietas: 15,44 fases: 17,54				

*Coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

Na Tabela 10 são apresentadas as concentrações médias de nutrientes presentes nas fezes de suínos alojados em gaiolas de estudos metabólicos.

Comparando as dietas testadas, nota-se que as fezes de animais alimentados com dietas à base de milho apresentaram maiores concentrações médias de P ($P < 0,05$) e as fezes daqueles alimentados com dieta contendo sorgo, maiores concentrações médias de N ($P < 0,05$) em todas as fases. As diferentes dietas não interferiram ($P > 0,05$) nas concentrações médias de Zn e Cu.

As concentrações médias de nutrientes nas fezes de animais alimentados com dietas à base de sorgo não diferiram ($P > 0,05$) entre as fases. Entretanto, para animais alimentados com dietas contendo milho, as concentrações médias de N foram menores ($P < 0,05$) e de P maiores ($P < 0,05$) na terminação em relação às demais fases.

TABELA 10. Concentrações médias de macronutrientes (porcentagem da matéria seca) e micronutrientes (mg/kg de matéria seca) em fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases alojados em gaiolas de estudos metabólicos.

Nutrientes	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
Nitrogênio (%)	M	4,43 Ba	3,92 Ba	3,25 Bb
	S	5,03 Aa	4,86 Aa	4,76 Aa
*CV (%) dietas: 10,07 fases: 8,07				
Fósforo (%)	M	2,29 Ab	2,51 Aab	2,80 Aa
	S	1,85 Ba	1,77 Ba	1,87 Ba
CV (%) dietas: 13,27 fases: 8,08				
Potássio (%)	M	1,75 Aa	1,56 Aa	1,73 Aa
	S	1,44 Ba	1,18 Ba	1,47 Ba
CV (%) dietas: 14,86 fases: 11,96				
Cálcio (%)	M	1,09 Ab	1,57 Aa	1,43 Aa
	S	1,13 Aa	1,18 Ba	1,01 Ba
CV (%) dietas: 18,45 fases: 14,08				
Magnésio (%)	M	2,04 Aa	2,12 Aa	2,20 Aa
	S	2,12 Aa	2,01 Ab	2,16 Aa
CV (%) dietas: 8,65 fases: 5,34				
Sódio (%)	M	0,32 Aa	0,21 Aa	0,30 Aa
	S	0,19 Aab	0,18 Aa	0,37 Aa
CV (%) dietas: 51,02 fases: 38,83				
Ferro (MG/kg)	M	9.342 Ab	10.333 Aab	11.910 Aa
	S	8.983 Aa	8.863 Aa	9.619 Ba
CV (%) dietas: 13,95 fases: 10,45				
Manganês (mg/kg)	M	369 Bb	484 Aa	471 Aa
	S	459 Aa	374 Bb	414 Aab
CV (%) dietas: 10,68 fases: 9,34				
Zinco (mg/kg)	M	591 Aa	576 Aa	596 Aa
	S	526 Aa	505 Aa	573 Aa
CV (%) dietas: 8,56 fases: 10,51				
Cobre (mg/kg)	M	29 Aa	25 Aa	26 Aa
	S	26 Aa	17 Aa	29 Aa
CV (%) dietas: 59,27 fases: 55,49				

Coefficiente de Variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

A maior excreção de N pelos animais alimentados com dietas contendo sorgo pode ser explicada pela maior porcentagem de proteína bruta nas dietas formuladas com sorgo. Com relação aos animais terem excretado maior quantidade de P quando alimentados com dietas contendo milho se deve ao fato de as dietas terem apresentado maiores teores tanto de P total como de P disponível, conforme pode ser observado nas tabelas apresentadas como anexos 1 e 2 (Tabelas A e B).

As concentrações médias de N e P verificadas nas fezes dos suínos alojados em baias individuais apresentaram valores similares aos observados por FRAGA (2005) quando realizou experimento com suínos em terminação alimentados com dieta formulada com milho. O referido autor verificou concentrações médias de 4,31 e 0,93%, para N e P, respectivamente. As concentrações médias de Zn foram menores e de Cu maiores que as concentrações médias obtidas no presente trabalho.

Os diferentes locais de alojamento dos suínos interferiram nas concentrações médias de nutrientes nas fezes. Tal fato ocorreu devido a fatores ambientais, ou seja, possível contaminação das fezes com urina, poeira, ração etc. nas baias individuais e com marcador fecal (Fe_2O_3) nas gaiolas de estudos metabólicos, o qual contribuiu especialmente para as maiores concentrações de ferro nestas fezes; os valores apresentados representam todo período experimental no qual se obteve as amostras nas baias individuais, ao passo que nas gaiolas de estudos metabólicos os animais ficaram alojados por menor tempo; as rações utilizadas para animais alojados em baias individuais foram obtidas quinzenalmente podendo os ingredientes ter interferido nas concentrações médias de nutrientes nas fezes, enquanto os animais submetidos aos estudos metabólicos foram alimentados com rações preparadas uma só vez, além de possíveis problemas de amostragem e/ou variações inerentes às análises laboratoriais.

As concentrações médias de nutrientes presentes na urina dos suínos são apresentadas na Tabela 11. Além do N e P é importante destacar as presenças do K e Na, visto que estes apresentam elevadas concentrações na urina. Os teores de Zn e Cu não serão aqui discutidos, pois as excreções urinárias destes são pequenas, sendo os traços de Zn encontrados na urina normal provenientes do metabolismo próprio dos rins (MAYNARD & LOOSLI, 1974; ANDRIGUETTO et al., 1983a).

As concentrações médias de N, P e K diferiram ($P < 0,05$) entre as dietas na fase inicial, na qual as maiores concentrações médias ($P < 0,05$) foram verificadas na urina de animais alimentados com dietas contendo milho. As concentrações médias de N, P, K e Na na urina de suínos alimentados com dietas à base de sorgo não diferiram ($P > 0,05$) entre fases. Para animais alimentados com dietas contendo milho, as concentrações médias de N, P e Na obtidas na fase inicial e de K no crescimento diferiram ($P < 0,05$) das demais fases.

TABELA 11. Concentrações médias de nutrientes (mg/L) em urina de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases alojados em gaiolas de estudos metabólicos.

Nutrientes	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
Nitrogênio	M	7.410,25 Aa	3.829,50 Aab	2.461,50 Ab
	S	2.125,00 Ba	974,75 Aa	1.603,25 Aa
*CV (%) dietas: 74,57 fases: 66,01				
Fósforo	M	11,87 Aa	0,90 Ab	2,24 Ab
	S	0,87 Ba	0,68 Aa	0,57 Aa
CV (%) dietas: 103,57 fases: 114,30				
Potássio	M	1260,50 Aab	1295,75 Aa	595,50 Ab
	S	424,50 Ba	731,25 Aa	378,50 Aa
CV (%) dietas: 69,25 fases: 45,55				
Cálcio	M	26,35 Aa	9,91 Ab	6,06 Ab
	S	7,69 Ba	3,28 Aa	5,86 Aa
CV (%) dietas: 103,05 fases: 65,02				
Magnésio	M	5,52 Ab	14,33 Aa	6,62 Ab
	S	9,65 Aa	9,97 Aa	12,34 Aa
CV (%) dietas: 57,52 fases: 26,90				
Sódio	M	168,69 Aa	123,94 Aab	93,55 Ab
	S	114,03 Aa	64,71 Aa	46,54 Aa
CV (%) dietas: 45,59 fases: 38,13				
Ferro	M	1,330 Aa	1,090 Aab	0,563 Ab
	S	0,428 Ba	0,418 Ba	0,278 Aa
CV (%) dietas: 77,38 fases: 47,93				
Manganês	M	0,036 Aa	0,028 Aa	0,020 Aa
	S	0,028 Aa	0,031 Aa	0,026 Aa
CV (%) dietas: 51,62 fases: 33,91				
Zinco	M	0,773 Aa	0,514 Aa	0,251 Aa
	S	0,470 Aa	0,139 Aa	0,088 Aa
CV (%) dietas: 96,73 fases: 85,25				
Cobre	M	0,084 Aa	0,045 Ab	0,024 Ab
	S	0,031 Ba	0,024 Aa	0,021 Aa
CV (%) dietas: 67,71 fases: 41,79				

Coefficiente de Variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

Observando os coeficientes de variação de todos os nutrientes analisados na urina dos suínos, verifica-se que estes foram elevados, evidenciando diferença entre cada animal submetido ao ensaio de metabolismo. Esta variação considerável entre os animais é vista como resultado do efeito de diversos fatores fisiológicos individuais e ambientais.

As concentrações médias de N nas fezes dos suínos alojados nas diferentes instalações foram maiores para animais alimentados com dietas à base de sorgo e as concentrações médias verificadas na urina foram menores que para os animais alimentados com dietas contendo milho. Neste contexto, MAKKAR (2003) citou que a presença de taninos ocasiona partição do nitrogênio, fazendo com que menor proporção seja excretada pela urina, direcionando sua excreção para as fezes, estando o N ligado aos taninos presentes nas fezes.

Foram calculadas as excreções médias de nitrogênio e fósforo, em porcentagem da ingestão, em fezes e urina dos suínos. Esta discussão se torna importante devido à preocupação com o impacto ambiental causado pelas atividades agropecuárias, em especial a suinocultura, devido a presença destes nutrientes nos dejetos gerados pela atividade. Na Tabela 12 são apresentadas as excreções fecais, urinárias e totais de N por suínos alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo nas três diferentes fases.

A excreção de N via fecal foi maior para suínos alimentados com dietas formuladas à base de sorgo, apresentando diferença ($P < 0,05$) nas fases crescimento e terminação. Para suínos alimentados com dieta à base de milho, a maior porcentagem de excreção via fecal ($P < 0,05$) ocorreu na fase crescimento e para aqueles alimentados com dieta à base de sorgo, no crescimento e terminação. As diferentes dietas e fases não interferiram ($P > 0,05$) na porcentagem de N excretado via urina e total excretado.

TABELA 12. Excreção fecal, urinária e total de nitrogênio, em porcentagem da ingestão, por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
Excreção fecal	M	11,27 Ab	21,00 Ba	13,95 Bb
	S	14,11 Ab	26,48 Aa	21,96 Aa
*CV (%) dietas: 24,72 fases: 16,43				
Excreção urinária	M	27,75 Aa	28,56 Aa	46,35 Aa
	S	17,10 Aa	27,89 Aa	33,48 Aa
CV (%) dietas: 42,17 fases: 41,94				
Excreção total	M	39,03 Aa	49,56 Aa	60,30 Aa
	S	31,22 Aa	54,37 Aa	55,44 Aa
CV (%) dietas: 24,64 fases: 27,21				

Coefficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

A maior quantidade de N excretado pelos suínos pela via urinária corrobora com BELLI FILHO (1995) o qual afirmou que esta é a principal via de excreção de nitrogênio. Enfatiza-se que a excreção média de N via urina foi maior ($P < 0,05$) para animais alimentados com dietas contendo milho em relação aos animais alimentados com dietas contendo sorgo e tal fato se deve a presença de taninos no sorgo que ocasionaram a partição do N (MAKKAR, 2003), fazendo com que menor proporção fosse eliminada pela urina. Conseqüentemente, as maiores excreções ($P < 0,05$) deste mineral ocorreram pelas fezes

A excreção média via urinária, em porcentagem do ingerido, foi de 34,2 e via fecal 15,4% considerando animais alimentados com dietas formuladas à base de milho. Para animais alimentados com dietas contendo sorgo, as excreções médias de N nas fezes e urina foram de 20,8 e 26,2% do ingerido, respectivamente. Os resultados obtidos para suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho estão próximos aos verificados por MARCATO & LIMA (2005), os quais demonstraram que 14% do N ingerido por suínos foram excretados nas fezes e 39,7%, na urina. DOURMAD et al. (1999b) estimaram que 17 a 19% do N ingerido é excretado nas fezes e 45 a 50% na urina, correspondendo a uma excreção total de 65 a 67% do ingerido.

Os menores valores numéricos de excreção de N na fase inicial foram devido ao maior acúmulo deste no organismo do animal, constituindo maior retenção de proteína para suprir o crescimento dos animais. Os acréscimos de excreção de N para animais alimentados com dietas contendo milho foram de 27% na fase crescimento em relação à inicial e de 21,2% comparando a terminação com o crescimento. Para animais alimentados com dietas à base de sorgo, os aumentos foram de 74,1 e 1,1% na fase crescimento em relação à inicial e na terminação em relação ao crescimento, respectivamente.

ATIKSON & WATSON (1996) ressaltaram as elevadas excreções de N por suínos ao constatarem que as quantidades de N nas fezes e urina se elevaram com o crescimento dos animais, apresentando valores de 60, 67 e 81% de N excretado, em relação à quantidade fornecida, por suínos nas fases inicial, crescimento e terminação, respectivamente, valores estes maiores que os obtidos neste trabalho.

Considerando as excreções totais de N pelos suínos e, dividindo-os em duas categorias (fase inicial e fases crescimento/terminação) observa-se que o N excretado total foi de 35 e 55% para suínos em fase inicial e crescimento/terminação, respectivamente. Tais valores foram menores que os obtidos por LOVATTO et al. (2005) quando desenvolveram um modelo para determinação da excreção de N para a suinocultura brasileira e obtiveram, para as mesmas categorias valores de 66 e 75%. Foram menores também que valores citados por PEET-SCHWERING et al. (1999), sendo estes 46 e 67% excretado em porcentagem do ingerido, para suínos em fase inicial e crescimento/terminação, respectivamente.

Na Tabela 13 são apresentadas as excreções fecais, urinárias e as excreções totais de P. As excreções de P via fecal e total foram maiores para suínos alimentados com dietas contendo milho, apresentando diferença ($P < 0,05$) nas fases crescimento e terminação. As menores excreções ($P < 0,05$) ocorreram na fase inicial, considerando ambas as dietas. A excreção via urina foi maior ($P < 0,05$) para suínos alimentados com dietas contendo milho nas fases inicial e terminação. Entre fases não ocorreu diferença ($P > 0,05$) na excreção via urinária para suínos alimentados com dietas contendo sorgo e

para aqueles alimentados com dieta à base de milho as menores excreções ($P < 0,05$) foram verificadas na fase crescimento.

TABELA 13. Excreção fecal, urinária e total de fósforo, em porcentagem da ingestão, por suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
Excreção fecal	M	36,89 Ab	75,82 Aa	82,07 Aa
	S	33,53 Ab	64,24 Ba	63,27 Ba
*CV (%) dietas: 8,09 fases: 6,39				
Excreção urinária	M	0,26 Aa	0,04 Ab	0,32 Aa
	S	0,08 Ba	0,12 Aa	0,11 Ba
CV (%) dietas: 52,44 fases: 72,94				
Excreção total	M	37,15 Ab	75,86 Aa	82,39 Aa
	S	33,60 Ab	64,36 Ba	63,37 Ba
CV (%) dietas: 8,09 fases: 6,46				

Coeficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

As menores excreções médias de P foram verificadas na fase inicial ocorrendo incremento nas fases subseqüentes. Os acréscimos de excreção para animais alimentados com dietas contendo milho foram de 104,2% na fase crescimento em relação à inicial e de 8,7% comparando a terminação com o crescimento. Para animais alimentados com dietas à base de sorgo, o incremento foi de 91,6% na fase crescimento em relação à inicial e decréscimo de 1,3% na terminação em relação à fase crescimento.

Dividindo os suínos em fase inicial e crescimento/terminação, obtêm-se valores médios de 36 e 72% de P total excretado em porcentagem do ingerido, respectivamente. PEET-SCHWERING et al. (1999) comprovaram excreções de 38 e 63% do ingerido, para suínos divididos nas mesmas categorias e LOVATTO et al. (2005) obtiveram valores de 67 e 73%. Portanto, os resultados obtidos no presente trabalho concordam com os primeiros autores citados, considerando os suínos em fase inicial, e com a segunda citação considerando suínos em crescimento/terminação.

O NRC (1998) mencionou excreções de 50 a 80% de P em relação ao consumido pelos animais. No presente trabalho, considerando todos os tratamentos e fases, verifica-se que a excreção de P variou de 33 a 82%.

ATKINSON & WATSON (1996) ao considerarem as perdas de fósforo, observaram que em média 83% de P é excretado, em relação à quantidade fornecida, considerando suínos nas três fases.

Utilizando dados dos animais submetidos aos ensaios de estudos metabólicos foi possível calcular as quantidades de N e P ingeridas e excretadas diariamente pelos animais. Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as ingestões e excreções de N e P diariamente de cada uma das dietas ingeridas.

Extrapolando os valores para todos os animais utilizados no experimento é possível dizer que diariamente o consumo de N para os animais alimentados com dietas contendo milho foi de 778,3 g e deste total, 401,3 g foram excretados. Para os suínos alimentados com dietas formuladas com sorgo, o consumo diário foi de 725,3 g de N e o excretado foi de 341,5 g. Considerando o P, o consumo diário foi de 111,25 e 104,62 g de P por suínos alimentados com dietas baseadas em milho e sorgo, respectivamente e as excreções foram de 76,6 e 59,6 g de P/dia, na mesma ordem supracitada.

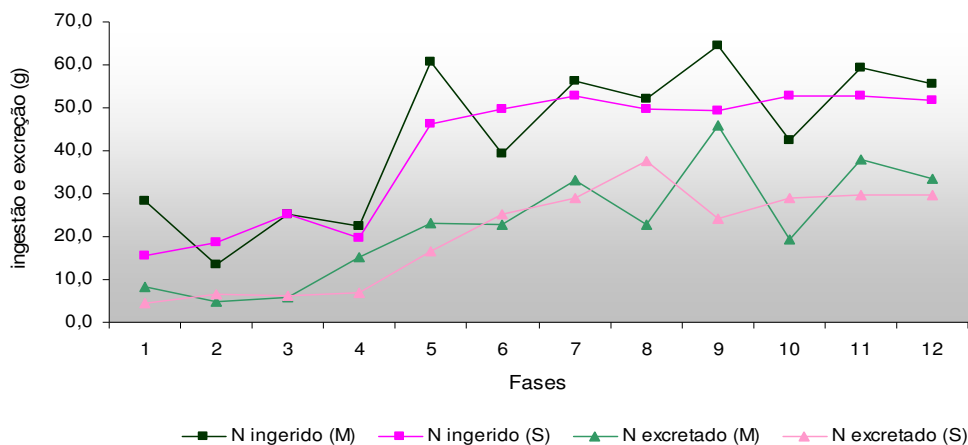


FIGURA 5 - Ingestões e excreções de N por suínos nas fases inicial (1-4), crescimento (5-8) e terminação (9-12) alimentados com dietas contendo milho (M) ou sorgo (S).

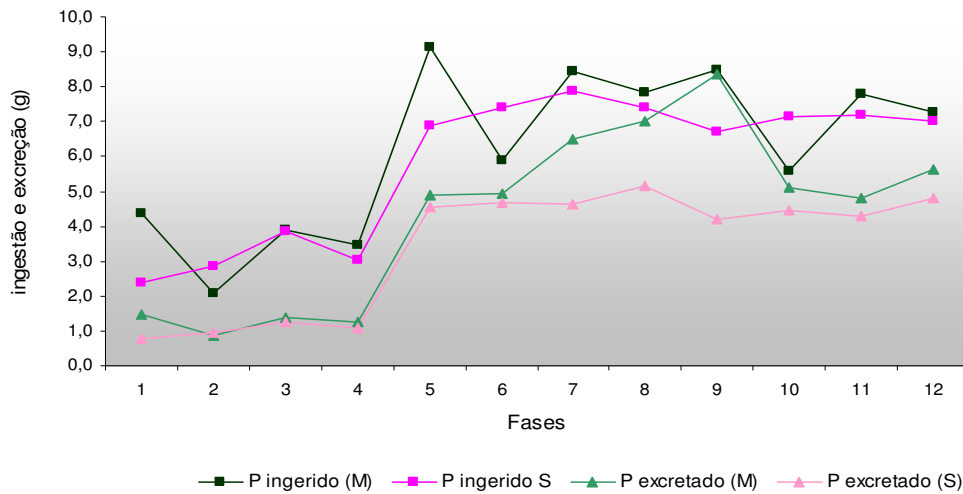


FIGURA 6 - Ingestões e excreções de P por suínos nas fases inicial (1-4), crescimento (5-8) e terminação (9-12) alimentados com dietas contendo milho (M) ou sorgo (S).

2.5. Conclusões

Os resultados obtidos nos ensaios de desempenho, digestibilidade dos nutrientes e caracterização de fezes e urina permitem concluir que:

- O desempenho dos animais não foi afetado pelas diferentes dietas formuladas à base de milho ou sorgo, indicando que o sorgo comercial sem tanino pode substituir totalmente o milho, sendo este fato corroborado pelas pequenas diferenças nas características digestíveis das duas dietas.

- As dietas formuladas com sorgo induziram maiores excreções de fezes, tendo os animais defecado 24,7% mais matéria seca na fase crescimento, fato este que associado ao ganho em peso dos animais proporcionou valor mais elevado de coeficiente de resíduo durante todo o período de criação.

- As maiores excreções de nitrogênio ocorreram por animais alimentados com dietas contendo sorgo ao passo que as maiores excreções de fósforo foram por animais alimentados com dietas contendo milho, demonstrando a importância em se considerar os possíveis impactos ambientais quando se adota uma ou outra dieta.

CAPÍTULO 3 - Biodigestão anaeróbia de fezes de suínos nas diferentes fases alimentados com dietas formuladas com milho ou sorgo

RESUMO - Objetivou-se avaliar a produção e qualidade do biogás e do biofertilizante obtidos em biodigestores abastecidos com fezes suínos nas fases inicial, crescimento e terminação, alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo como fontes energéticas. Utilizaram-se 20 biodigestores de bancada com volume útil 10 L e operados com temperatura de 35 °C, tempo de retenção hidráulica de 30 dias e cargas diárias que continham 4,0 a 6,0% de sólidos totais (ST) e 3,6 a 5,2% de sólidos voláteis (SV). Nos efluentes dos biodigestores foram verificados teores médios de ST variando de 1,6 a 2,0% e de SV entre 1,2 e 1,6%. Portanto, as reduções médias de ST foram de 57,7 a 64,7% e de SV de 61,7 a 69,0%, sendo que houve diferença somente na fase terminação, na qual as maiores reduções médias foram para biodigestores abastecidos com dejetos de animais alimentados com dietas à base de milho. Nos biodigestores abastecidos com dejetos de animais alimentados com dietas formuladas à base de milho em fase inicial de crescimento foram verificadas maiores produções médias de biogás e os maiores potenciais médios de produção de biogás. Os potenciais médios obtidos foram 0,033; 0,181; 0,685; 0,788 e 1,132 m³/kg de afluente, estrume, ST adicionados, SV adicionados e SV reduzidos, respectivamente. Não foram verificadas diferenças quanto ao teor médio de metano no biogás entre dietas e fases. As concentrações médias dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn e Cu no afluente e efluente dos biodigestores variaram entre as dietas e fases.

Palavras-chave: biodigestores, biogás, fezes de suínos

CHAPTER 3 - Anaerobic digestion of pigs feces in the initial, growing and finishing stages fed with diets formulated with corn or sorghum

SUMMARY - The objective was to evaluate the quality and the production of biogas and biofertilizer by from anaerobic digester supplied with pigs feces in the initial, growing and finishing stages, fed with diets formulated with on corn or sorghum as energy sources. Were used 20 anaerobic digesters bench scale usable with work volume of 10 L and operated with a temperature of 35 °C, hydraulic retention time of 30 days and daily loads that containing 4.0 to 6.0% of total solid (TS) and 3.6 to 5.2% of volatile solids (VS). In the effluent of anaerobic digesters it was observed average levels of TS between 1.6 and 2.0% and VS between 1.2 and 1.6%. Therefore, the average reductions of TS were 57.7 to 64.7% and from 61.7 to 69.0 VS%, and only there was difference in the finishing phase, in which the major averages reductions were produced by the anaerobic digesters supplied with manure from animals fed with diets based on corn. In digesters supplied with manure from animals fed with diets based on corn in the initial phase of growth, there were observed higher averages productions of biogas and the greatest potentials averages of biogas production. The potentials averages were 0.033; 0.181; 0.685; 0.788 and 1.132 m³/kg of affluent, manure, TS added, VS added and reduced VS, respectively. No differences were found on the average content of methane in the biogas between diets and stages. The averages concentrations of nutrients N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn and Cu in the affluent of the effluent and digesters ranged between diets and stages.

Keywords: digesters, biogas, pigs feces

3.1. Introdução

A atividade suinícola destaca-se pela sua qualidade técnica e elevada produtividade, gerando boas relações econômicas na indústria, comércio e prestação de serviços. No entanto, a viabilidade da atividade fica ameaçada quando se refere ao meio ambiente, sendo considerada pelos órgãos de controle ambiental, como de alto potencial poluente (CAMPOS, 2005).

Na suinocultura, destaca-se a contaminação da água e do solo, devido ao manejo inadequado dos resíduos, e a poluição atmosférica provocada pelos gases gerados nos sistemas de produção de suínos e manejo dos dejetos, principalmente os Gases de Efeito Estufa (LIMA et al., 2001).

Nas últimas décadas houve redução do número de produtores de suínos no país, porém ocorreu aumento considerável do número de animais, devido ao movimento econômico, nível tecnológico empregado nas criações, intensificação da exploração e a necessidade cada vez maior de consumo de proteína de alta qualidade pela população. O aumento do número de animais instalados em edificações com alto grau de confinamento trouxe como conseqüência o agravamento das agressões ambientais, visto que há maior quantidade de dejetos produzida em locais específicos, dificultando a disposição final destes, muitas vezes devido à escassez de área agrícola disponível. Portanto, as soluções para este problema dependem e são influenciadas pelas características da região onde a criação ocorre (SEGANFREDO, 2004).

Segundo KONZEN & ALVARENGA (2008), os sistemas agropecuários dão origem a vários tipos de resíduos orgânicos, os quais, corretamente manejados e utilizados, revertem-se em fornecedores de nutrientes para a produção de alimentos e melhoradores das condições físicas, químicas e biológicas do solo. Porém, quando inadequadamente manejados e tratados, constituem fonte de contaminação e agressão ao meio ambiente, especialmente quando manejados para os mananciais hídricos.

Diversas alternativas são procuradas na tentativa de tratar os resíduos e aproveitar o potencial fertilizante ou de geração de energia destes. O aspecto energia destaca-se pela interferência nos gastos finais de produção e, portanto, deve ser

destacado devido às oscilações de custos que podem reduzir a competitividade do setor. Ressalta-se que a crescente crise energética, o aquecimento global e os altos preços do petróleo, têm determinado essa procura no meio rural.

Com a utilização de biodigestores, os dejetos tornaram-se fonte de geração de energia, visto que a partir da biodigestão anaeróbia da matéria orgânica, obtém-se o biogás com alto poder energético e a possibilidade de utilização do biogás para geração de energia agrega valor ao dejetos diminuindo seus custos com o tratamento. O biofertilizante, material estabilizado no interior do biodigestor, representa estímulo à agricultura, pois é constituído por vários nutrientes que são importantes na adubação de culturas. Portanto, a biodigestão anaeróbia de dejetos gerados no meio rural, propicia que três benefícios ocorram concomitantemente, ou seja, saneamento no meio rural, atendimento da demanda energética e a utilização do material biodegradado como biofertilizante.

Diante do exposto, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a produção e a qualidade do biogás de fezes de suínos em diferentes fases alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo como fontes energéticas, bem como a composição do biofertilizante produzido em biodigestores.

3.2. Revisão de Literatura

3.2.1. Suinocultura e meio ambiente

Os dejetos de suínos, até a década de 70, não constituíam fator preocupante, pois a concentração de animais era pequena e não havia preocupação explícita com relação a cuidados com o meio ambiente (OLIVEIRA, 2004). No entanto, a expansão da atividade suinícola com a intensificação da produção, ampliação das granjas existentes e instalação de novos projetos, trouxe como consequência, aumento do volume de dejetos produzidos por unidade de área, sendo extremamente preocupante a situação em algumas regiões, pois o lançamento de dejetos indiscriminadamente em rios, lagos e solo, vem transformando-se em fator de degradação do meio ambiente através da

poluição dos leitos d'água e saturação de solos pelos componentes químicos presentes nestes dejetos e, portanto fator de risco para a saúde animal e humana e obstáculo a expansão da suinocultura como atividade econômica (FIALHO et al., 2001).

Os resíduos provenientes da suinocultura contêm, além dos dejetos animais, restos de ração, material do piso das baias e água em maior ou menor quantidade, dependendo do manejo adotado na criação. Quando se utiliza grande quantidade de água para lavagem e remoção dos dejetos, obtém-se um resíduo mais líquido e em maior volume, aumentando a preocupação com danos ambientais quando os resíduos são manejados de forma incorreta, uma vez que o poder de dispersão do material líquido é mais elevado que o resíduo coletado por meio de raspagem das baias (ORRICO JUNIOR, 2008). As diferenças na quantidade de água utilizada na limpeza das instalações implicam em perdas econômicas, não apenas no que se refere ao gasto de água, mas também na necessidade de construir estruturas maiores para a coleta e armazenamento dos dejetos.

Segundo FIALHO et al. (2001), os dejetos de suínos utilizados na agricultura sem o tratamento adequado, podem apresentar riscos para o meio ambiente e constituem ponto negativo para a imagem da atividade suinícola podendo prejudicar negócios. Além dos desequilíbrios ambientais, podem ainda, trazer problemas de saúde às pessoas e animais, visto que mais de 20% das enfermidades que atingem o homem, especialmente as crianças estão, direta ou indiretamente, ligadas às contaminações da água (TUCCI, 2003).

A incorporação de resíduos orgânicos ao solo é fundamental para melhorar suas qualidades físicas, químicas e biológicas. Entretanto, em áreas de elevada concentração de suínos, o solo não possui mais a capacidade de assimilação e retenção de nutrientes e, assim, o solo bem como mananciais de água superficial ou subterrânea, estão contaminados por microrganismos patogênicos e poluídos principalmente por fósforo, potássio, nitritos e nitratos (FIALHO et al., 2001).

Outro problema relacionado aos dejetos gerados na suinocultura é o alto potencial de emissão de gases de efeito estufa provenientes da degradação destes em lagoas de estabilização. MAGBANUA JUNIOR et al. (2001) afirmaram que a taxa diária

de emissão de CH_4 em dejetos de suínos varia de poucos gramas até em torno de 100 g. Segundo a United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC (2006), 20% das emissões mundiais de gases de efeito estufa são provenientes das atividades agropecuárias, sendo o metano (produzido durante a degradação da matéria orgânica em meio anaeróbio) e o óxido nitroso (produzido em meios anaeróbios utilizando os compostos nitrogenados de natureza orgânica ou inorgânica) os principais gases envolvidos. Estes gases impedem a saída da radiação solar que é refletida na superfície da Terra para o espaço contribuindo assim para o aumento da temperatura global.

Esses gases trazem grande preocupação devido ao seu tempo de vida na atmosfera e seu potencial de aquecimento global com relação ao CO_2 (o CO_2 é o principal gás do efeito estufa, por isso foi eleito como sendo índice 1 para o aquecimento global e os demais gases são comparados a ele). Segundo a UNFCCC (2006), a vida média desses gases na atmosfera seria de 12 anos para o CH_4 e 120 anos para o N_2O e os respectivos potenciais de aquecimento global de 21 e 310.

A única forma de evitar a emissão destes gases seria a captação e posterior queima, onde o CH_4 e N_2O seriam transformados em CO_2 e N_2 , respectivamente, reduzindo assim a contribuição para o aquecimento global. O uso de biodigestores é uma forma segura de captar esses gases de efeito estufa, pois consiste em um sistema fechado com uma saída que pode ser conectada a um queimador, para que ocorra a transformação de gases altamente prejudiciais em gases menos prejudiciais ao aquecimento global.

Neste contexto, cresce o número de projetos MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo) em suinoculturas com o uso de biodigestores como forma de tratamento dos efluentes. O MDL é um mecanismo de flexibilização em que para cada tonelada de CO_2 que deixa de ser emitida ou que é retirada da atmosfera, por um país em desenvolvimento, poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para redução das emissões globais (ROCHA, 2003).

Com a venda dos créditos de carbono e a utilização do biogás como fonte de energia para a granja, o suinocultor consegue reduzir seus custos de produção e agrega valor à atividade.

Com base nas características quantitativas, qualitativas e pelo alto potencial de emissão de gases de efeito estufa dos dejetos de suínos, torna-se evidente a necessidade de um tratamento que atue sobre cada um desses pontos.

3.2.2. Utilização de biodigestores

Durante o último século e início deste, o mundo se fez dependente e tem utilizado, em grande escala, os combustíveis e fertilizantes oriundos do petróleo, que além de não ser uma fonte renovável, teve por várias vezes seu fornecimento comprometido e preços supervalorizados por crises políticas e econômicas. A recuperação do biogás em biodigestores possibilita a utilização de energia substituta às fontes de origem fóssil, diminuindo as emissões de CO₂ pela substituição de fontes energéticas convencionais e a emissão de gases produzidos na fermentação dos dejetos que normalmente seriam emitidos para a atmosfera se estes fossem apenas amontoados em qualquer local da propriedade ou tratados em esterqueiras e lagoas de estabilização (OLIVEIRA et al., 2003).

A geração de biogás em biodigestores, ao contrário de outras formas de energia relacionadas à biomassa, como a produção do álcool da cana-de-açúcar e de óleo extraído de outras culturas, não compete com a produção de alimentos em busca de terras disponíveis, pois pode ser obtido de resíduos agrícolas ou mesmo de excrementos animais. Assim, ao contrário de ser um fator de poluição, transforma-se em auxiliar do saneamento ambiental.

SWEETEN & REDDELL (1985) afirmaram que no aspecto saneamento a biodigestão anaeróbia favorece a redução da matéria orgânica ocasionando decréscimo no potencial poluidor dos resíduos. Como conseqüência, ocorre o controle de odores dos dejetos, destruição de organismos patogênicos e parasitas, conversão dos resíduos orgânicos em gás metano e possibilidade de uso direto deste como fonte de energia.

No passado, o interesse pelo biogás no Brasil teve seu ápice nas décadas de 70 e 80, especialmente entre os suinocultores. Uma série de fatores foi responsável pelo insucesso dos programas de biodigestores neste período, entre os quais podem ser citados: falta de conhecimento técnico sobre construção e operação dos biodigestores; custo de implantação e manutenção elevado; o aproveitamento do biofertilizante continuava a exigir equipamentos de distribuição na forma líquida com custo de aquisição, transporte e distribuição elevados; falta de equipamentos desenvolvidos exclusivamente para o uso de biogás e a baixa durabilidade dos equipamentos adaptados para a conversão do biogás em energia; ausência de condensadores para água e de filtros para os gases corrosivos gerados no processo de biodigestão; disponibilidade e baixo custo da energia elétrica e do GLP (gás liquefeito de petróleo) (OLIVEIRA, 2003; KUNZ et al., 2004).

Hoje, novamente os biodigestores ressurgem como alternativa ao suinocultor, tendo em vista a disponibilidade de novos materiais para a construção e também devido a maior dependência de energia das propriedades em função do aumento da escala de produção. O uso de mantas plásticas na construção dos biodigestores, material de alta versatilidade e baixo custo, é o maior responsável pelo barateamento dos investimentos de implantação e da sua disseminação.

O interesse no aproveitamento dos resíduos orgânicos gerados nas suinoculturas tem aumentado, não somente pelos aspectos de reciclagem de nutrientes no próprio meio e de saneamento, mas também pelo aproveitamento energético do biogás. Segundo BORESMA et al. (1981), a produção de biogás de dejetos de suínos corresponde a 86,4% da energia utilizada numa propriedade agrícola, indicando a existência de um potencial para que se desenvolvam métodos que possibilitem às propriedades tornarem-se energeticamente independentes.

3.2.3. Processo de biodigestão anaeróbia

No interior dos biodigestores há um meio anaeróbio ideal ao desenvolvimento dos microrganismos que atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos dos

resíduos transformando-os em outras substâncias mais simples, que são metabolizadas, resultando em uma mistura de gases, denominada biogás, que inclui principalmente o metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). O processo biológico para conversão anaeróbia de substratos orgânicos complexos ocorre na ausência de oxigênio molecular, luz, nitrato, nitrito e sulfato. É realizado por bactérias quimioheterotróficas não metanogênicas e *archeas* metanogênicas (AGRICULTURAL ENGINEERING YEARBOOK STANDARDS - ASAE, 1994; MAGALHÃES, 1986).

A biodigestão anaeróbia geralmente é dividida em três fases, sendo elas a hidrólise enzimática, acidogênese e metanogênese. Porém, há autores que a dividem em quatro fases, acrescentando a acetogênese, fase intermediária entre a acidogênese e a metanogênese (CAMARERO et al., 1996; SINGH & SINGH, 1996; STERLING et al., 2001). Há ainda, quem divida o processo nas fases de hidrólise, acetogênese e metanogênese (SHARMA et al., 2000).

Diversos autores (RUIZ et al., 1992; VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; GARBA, 1996; HESSAMI et al., 1996; HAMMAD et al., 1999; LASTELLA et al., 2002; LIU et al., 2002) descreveram as fases do processo de biodigestão anaeróbia.

Na primeira fase, a transformação de substâncias complexas em outras mais simples é realizada por bactérias que possuem capacidade enzimática de decompor carboidratos, gorduras e proteínas. A reação que prevalece nesta fase é a conversão de polissacarídeos insolúveis (matéria orgânica insolúvel ou sólidos voláteis) em matéria orgânica solúvel, razão pela qual esta fase recebe o nome de hidrólise.

Na segunda fase, denominada ácida (acidogênese), as substâncias mais simples (monômeros), obtidas na primeira fase, tornam-se substratos para as bactérias saprófitas (facultativas) formadoras de ácidos, originando ácidos orgânicos simples, como ácido acético, propiônico, láctico, fórmico, ou mesmo acetatos e hidrogênio, liberando produtos de degradação intermediária, como o gás carbônico e o hidrogênio. Entre as bactérias envolvidas na acidogênese a maioria se constitui em espécies anaeróbias estritas além das facultativas. Estas últimas são importantes na remoção de oxigênio dissolvido presente no material em fermentação anaeróbia, que poderia afetar negativamente o processo.

Na última fase, chamada de gaseificação ou metanogênese, os ácidos formados na fase anterior são metabolizados pelas *archeas* metanogênicas, de vital importância na produção de metano. Dentre as *archeas* metanogênicas destacam as que utilizam o acetato (*Methanosarcina spp.* e *Methanotrix spp.*) e as que utilizam o formato e o hidrogênio (*Methanobacterium spp.* e *Methanococcus spp.*). A fase de metanogênese é a responsável pela limitação na velocidade da cadeia das reações, devido principalmente, à formação de microbolhas de metano e dióxido de carbono em torno da *archea* metanogênica, isolando-a do contato direto com a mistura em digestão. O CO₂ contido no biogás não provém apenas das transformações ocorridas na fase metanogênica, visto que ele também é formado nas etapas anteriores.

3.2.4. Fatores que interferem no processo de biodigestão anaeróbia

O sucesso do processo de biodigestão anaeróbia está ligado à seqüência bioquímica de transformações metabólicas e é influenciado por uma série de fatores que podem interferir no processo. Dentre esses fatores, destacam-se a temperatura, tempo de retenção hidráulica, pH, presença de inóculo e de nutrientes, teor de sólidos, composição do substrato e a interação entre os microrganismos envolvidos no processo.

A temperatura pode ser considerada como o principal fator que interfere na produção de biogás, tanto em termo qualitativo como quantitativo. Dependendo da temperatura que o processo está ocorrendo, este pode ser de três tipos: a biodigestão com temperatura entre 45 e 60 °C é considerada termofílica; a que ocorre entre as temperaturas 20 e 45 °C é a mesofílica e a biodigestão em baixas temperaturas (< 20°C) é referida como biodigestão psicofílica. Biodigestores operando na faixa termofílica produzem maior quantidade de biogás e mais rapidamente que aqueles operando na faixa mesofílica, resultando em menores tempos de retenção, biodigestores com câmaras menores e, conseqüentemente, menores custos (LUCAS JÚNIOR, 1994). Porém, o maior percentual de metano é obtido na faixa mesofílica

(SILVA, 2001). Segundo o mesmo autor, a produção de biogás será praticamente paralisada se a temperatura do substrato cair a menos de 10 °C.

O processo de biodigestão anaeróbia é termodinâmico (SOUZA, 2001) e mudanças bruscas na temperatura podem prejudicar o desempenho da biodigestão, visto que os microrganismos produtores de metano são sensíveis a variação de temperatura. Segundo SILVA (2001), variações da temperatura do substrato na ordem de 2 °C no intervalo de um dia podem paralisar a produção de biogás. Este é um dos principais motivos para a recomendação de construção de biodigestores subterrâneos, pois a velocidade de variação da temperatura do solo, a uma profundidade superior a 50 cm, é quase nula ao longo de um dia, qualquer que seja a temperatura na superfície.

HILL et al. (1985), trabalharam com biodigestores anaeróbios considerados semi-contínuos com expansão de cargas CED (continuously expanding digester), operando nas temperaturas 10, 22,5 e 35 °C, em três ciclos de tempo, 60, 100 e 200 dias, e concentrações de ST de 48, 95 e 128 g ST/L. Os resultados revelaram que o desempenho dos biodigestores foi marcadamente reduzido quando operaram nas temperaturas de 10 e 22,5 °C, em comparação com a operação a 35 °C e, portanto, os autores não recomendam a operação abaixo de temperaturas mesofílicas. A produtividade específica de metano esteve na faixa de 0,55 a 0,70 L CH₄/g de SV reduzido. SOUZA et al. (2005) avaliaram o desempenho e o comportamento na partida de biodigestores de bancada, alimentados com dejetos de suínos, com concentração de sólidos totais de 6% e submetidos às temperaturas 25, 35 e 40 °C e constataram que as temperaturas 35 e 40 °C favoreceram a partida dos biodigestores, pois resultaram em maior produção acumulada de biogás (115,48 e 113,74 L, respectivamente) e em menor tempo (28,13 e 21,75 dias, respectivamente), quando comparadas com a temperatura 25 °C.

O tempo de retenção hidráulica (TRH) designa o intervalo de tempo necessário de permanência do afluente no interior do biodigestor para que a degradação ocorra de maneira adequada, definindo o ponto de melhor qualidade do biogás no processo de biodigestão anaeróbia (MAGALHÃES, 1986). O TRH é determinado, num processo contínuo, dividindo-se o volume útil do digester pelo volume diário de carga introduzida

(SILVA, 2001). LUCAS JUNIOR (1994) avaliou os efeitos dos tempos de retenção hidráulica 50, 30, 20 e 15 dias, no processo de biodigestão anaeróbia de estrume de suínos e verificou que a maior eficiência foi obtida no TRH de 30 dias, ocorrendo pior aproveitamento do estrume no TRH de 15 dias.

O inóculo, segundo YADVIKA et al. (2004), consiste em material que já passou pelo processo de biodigestão e é capaz de fornecer ao novo afluente uma população adicional de microrganismos típicos da digestão anaeróbia e, como consequência, sua inclusão acelera a partida do processo de biodigestão anaeróbia. LUCAS JUNIOR (1994) quando estudou o desempenho de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos coletado sob diversas condições (frescos, pré-fermentados em esterqueiras e secos ao ar) verificou que o melhor rendimento em produção de biogás foi obtido com teores de inóculo em torno de 15% da matéria seca, no estrume fresco e no seco ao ar.

O valor de pH é um importante indicador do desenvolvimento metanogênico. A produção ótima de biogás é conseguida quando o valor do pH do conteúdo do biodigestor está entre 7,0 e 7,2. Este assumirá valores maiores que o normal quando os dejetos apresentarem alto teor de sólidos voláteis (ITODO & AWULU, 1999). Num período inicial de fermentação são produzidas grandes quantidades de ácidos orgânicos pelas bactérias formadoras de ácidos e, assim, o pH no interior do biodigestor pode diminuir abaixo de 5, inibindo ou até mesmo paralisando o processo de fermentação, pois as bactérias metanogênicas não crescem em valores de pH menores que 6,5. O valor de pH aumenta quando ocorre a digestão do nitrogênio, onde há um aumento da concentração de amônia, a qual pode levar o pH ao valor 8. Quando o nível de produção de metano atinge a estabilidade, o pH alcança valores entre 7,2 a 8,2 (FAO, 1996). O pH varia em função do tempo de retenção hidráulica no processo contínuo (MATA-ALVAREZ et al., 2000).

A disponibilidade de certos nutrientes é essencial para o crescimento e atividade microbiana. O carbono, nitrogênio e fósforo são essenciais para todos os processos biológicos. O carbono é a fonte de energia para o metabolismo das bactérias enquanto o nitrogênio é importante na construção da estrutura das células. As quantidades de nitrogênio e fósforo necessárias para a degradação da matéria orgânica presente

depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para a síntese em reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico. A relação C/N para a biodigestão deve ser 20 a 30/1, sendo que tanto o excesso como a deficiência de um ou do outro, prejudica a produção de biogás (FORESTI, 1999; SILVA, 2001).

Em contrapartida, caso o substrato seja rico em lignina e celulose, será um fator limitante para a degradação anaeróbia e, conseqüentemente, a produção de biogás será afetada em decorrência da constituição do mesmo (MATA-ALVAREZ et al., 2000). Substâncias em dosagens elevadas também podem agir como inibidoras do processo de biodigestão anaeróbia. A concentração ideal do hidróxido de amônio (NH_4OH), por exemplo, em pH neutro ou levemente alcalino, situa-se em torno de 3.000 mg/L, mas torna-se tóxica se o pH elevar para valores superiores a 7,6. A biodigestão pode também ser inibida ou paralisada pela simples presença de certas substâncias na biomassa como os hidrocarbonetos clorados (clorofórmio, tetracloreto de carbono, etc.) e outros usados como inseticidas, além de antibióticos usados em tratamentos de animais e que estarão em suas excretas, bem como os pesticidas, desinfetantes e mesmos os detergentes usados na limpeza das instalações (SILVA, 2001).

Outro aspecto importante a ser observado na biodigestão anaeróbia é o teor de sólidos no afluente dos biodigestores. O teor de sólidos totais (ST) refere-se ao material remanescente após a remoção da água de uma amostra quando esta é submetida a 105 °C. Corresponde ao total de sólidos fixos e voláteis e ao total de sólidos suspensos e dissolvidos (MERKEL, 1981). Para produção máxima de biogás por unidade de tempo e de volume de biodigestor, recomenda-se concentração de ST máxima de 6 a 8%, faixa na qual também é facilitado o movimento do material no interior do biodigestor. Para concentrações maiores que 10%, além de diminuição da eficiência do biodigestor, aumenta a probabilidade de formação de “crosta” (SILVA, 2001).

Sólidos voláteis (SV) são aqueles convertidos a gases voláteis quando os sólidos totais são submetidos ao forno mufla a 600 °C durante duas horas. São considerados como a matéria orgânica presente no resíduo passível de transformação. Os SV são os responsáveis diretos pela produção de biogás, sendo que quanto maior for a

concentração de SV na alimentação diária do biodigestor, maior será a capacidade do biodigestor de produção de biogás.

3.2.5. Modelos e operação de biodigestores

São propostos diversos modelos de biodigestores os quais diferem, principalmente, nas tecnologias associadas para obtenção de melhores rendimentos e nas características que os tornam mais adequados ao tipo de resíduo que se pretende utilizar e à frequência com que são obtidos.

Dentre os biodigestores anaeróbios utilizados no Brasil, no meio rural, são encontrados com mais frequência o batelada, quando o resíduo é obtido com periodicidade; o indiano e o chinês, no caso dos resíduos produzidos diariamente; com uso mais recente encontram-se o tubular, também biodigestor do tipo contínuo e o batelada seqüencial, quando há interesse em grande quantidade de biogás em curto intervalo de tempo e no uso de inóculo (COSTA, 2005).

Os biodigestores em batelada são carregados de uma só vez, mantidos fechados por um período conveniente, sendo a matéria orgânica fermentada descarregada posteriormente. Este modelo, apesar da simplicidade, pode ser útil em situações em que o resíduo é obtido periodicamente, como é o caso da cama obtida nos galpões de frangos de corte (LUCAS JUNIOR, 1995). Considerando que este modelo de biodigestor apresenta produção de biogás na forma de picos, que é abastecido de uma só vez e que o tempo de fermentação é relativamente longo, o problema consiste basicamente em adequar estas premissas à necessidade energética contínua, isto é, diária e durante o ano todo. Uma forma de solução é a adoção de uma bateria de unidades biodigestoras. A consistência do projeto está na confiabilidade dos estudos realizados sobre o potencial energético da biomassa, isto é, no comportamento da produção de biogás, durante o tempo previsto (ORTOLANI et al., 1991).

Quando a disponibilidade dos resíduos for diária, o interesse volta-se para os biodigestores contínuos como os modelos Indiano e Chinês (LUCAS JUNIOR, 1995). O

processo é chamado contínuo porque a cada carga diária, corresponde uma carga de volume semelhante de material fermentado. A biomassa no interior do biodigestor se movimenta por diferença de carga hidráulica, entre a entrada do substrato e a saída do biofertilizante no momento do carregamento. Cada carga requer um tempo de retenção, geralmente entre 30 e 50 dias, dependendo se a temperatura do meio onde está inserido o biodigestor é elevada ou baixa. Por essa razão, reatores contínuos são subterrâneos (BENINCASA et al., 1991).

No caso dos biodigestores batelada seqüencial, citados por SANTOS (2001) na reciclagem de nutrientes provenientes da cama de frangos de corte, trata-se de uma modificação da metodologia proposta por ORTOLANI et al. (1991), na qual deixa-se de adotar o sistema de bateria de biodigestores, optando-se pela utilização de apenas um biodigestor batelada abastecido com o resíduo a ser reciclado e, quando for o caso, uma quantidade de inóculo que permite o pico de produção logo no início do processo. Segundo COSTA (2005), o autor modificou a forma de dimensionamento, utilizando um biodigestor e adotando como critério para dimensionamento apenas os conceitos de quantidade de biogás necessária por dia, de biomassa necessária para o enchimento de uma unidade biodigestora e de volume útil da unidade biodigestora.

3.2.6. O biogás

O potencial energético de um determinado resíduo pode ser definido pela capacidade de produção de biogás decorrente do teor de matéria orgânica digerível presente neste resíduo (PAULA, 1982, citado por SOUZA et al., 2008).

Biogás é o nome comum dado à mistura gasosa produzida durante a biodegradação anaeróbia da matéria orgânica (YADVIKA et al., 2004). O biogás geralmente é constituído de 60 a 70% de metano, 30 a 40% de dióxido de carbono e outros gases incluindo amônia, gás sulfídrico, mercaptanas e outros como N_2 , H_2 e O_2 (HANSEN, s/d). O metano é incolor, inodoro, altamente combustível, queima com chama azul lilás sem deixar fuligem e com poluição mínima (BEDUSCHI et al., 1985). O

gás sulfídrico (H_2S) confere ao biogás o odor pútrido característico à mistura quando o gás é liberado.

O poder calorífico do biogás depende diretamente do seu teor de metano. LUCAS JÚNIOR (1987) analisando o biogás produzido em biodigestores modelos indiano e chinês, pelo período de um ano, encontrou, em média, 57,7% de CH_4 e 34,2 de CO_2 . O mesmo autor afirmou que a inflamabilidade do metano ($15,5\text{ }^\circ C$ e 1 atm) ocorre em misturas de 5 a 15% com o ar. O biogás, devido à presença de outros gases que não o metano, possui poder calorífico que varia de 4.800 a 6.900 kcal/ m^3 . No mesmo contexto, LUSK (1998) afirmou que o poder calorífico do metano puro varia de 7.973 a 9.512 kcal/ m^3 .

O biogás pode substituir o gás liquefeito de petróleo (GLP), a gasolina e o óleo diesel em motores estacionários de combustão interna, sistemas de geração de energia elétrica ou térmica e até a lenha ou óleo combustível em caldeiras. Em termos de equivalência energética, 1,63; 1,80; 1,26 e 0,70 m^3 de biogás são equivalentes a 1 L de gasolina, óleo diesel e álcool combustível e 1 KWh de energia elétrica, respectivamente (COMASTRI FILHO, 1981 citado por TEIXEIRA, 2003).

Para utilização do biogás em substituição ao GLP sem purificação do metano, basta uma adaptação dos queimadores. Quando o biogás vem diretamente do biodigestor, esta adaptação consiste no aumento do diâmetro dos bicos injetores (1,5 a 2,0 mm) apropriados ao uso do GLP para compensar a menor pressão do biogás que, em geral, está entre 0,015 a 0,025 Kgf/cm^2 , o que equivale a uma altura manométrica de 15 a 20 cca (centímetro de coluna de água).

KOSARIC & VELIKONJA (1995) citaram que 1 m^3 de biogás pode ser aplicado para iluminação de lâmpada de 60 W por cerca de sete horas, ou gerar 1,25 KW de eletricidade, ou cocção de três refeições para uma família de quatro pessoas, ou funcionar um motor de 2 HP por uma hora ou funcionar um refrigerador de 300 L por três horas.

A utilização do biogás de dejetos de suínos deve ser considerada, pois 1 m^3 de estrume de suínos produz em torno de 0,05 m^3 de biogás (KONZEN, 1983). O mesmo autor citou que em uma granja de suínos com 12, 24, 36 e 60 matrizes, o potencial de

geração de biogás diariamente é de 16, 32, 48 e 80 m³ de biogás, respectivamente. SILVA (1983) afirmou que 1 suíno produz diariamente 2,25 kg de dejetos o que geraria 0,18 m³ de biogás/dia. Cálculos mostram que sete suínos produzem diariamente estrume equivalente a 1 L de óleo diesel (TAKITANE, 2001).

3.2.7. O biofertilizante

De acordo com SWEETEN et al. (1986), essencialmente todos os nutrientes presentes no dejetos frescos estão presentes no efluente do biodigestor. O diferencial é que a biodigestão anaeróbia aumenta a solubilidade de alguns nutrientes tornando-os mais facilmente assimiláveis pelas plantas (SILVA, 2001). O biofertilizante utilizado para fertilização agrônômica promove a devolução de nutrientes ao solo além de acarretar melhorias nas propriedades físicas, biológicas e químicas do solo (SWEETEN et al., 1986).

Quando adequadamente estabilizados, os dejetos de suínos podem se constituir em fertilizantes eficientes (BURTON & TURNER, 2003), inclusive na produção de grãos e pastagens (KONZEN, 2003), pois dentre os benefícios relacionados às características físicas do solo destacam-se o aumento da capacidade de troca catiônica, melhorias na estrutura do solo e o aumento da porosidade e retenção de água (SEDIYAMA et al. (2000). O aumento da macroporosidade é particularmente importante porque influencia o crescimento das raízes, infiltração de água e aeração do solo (BARILLI, 2005). PAGLIAI & ANTISARI (1993) observaram aumento de macroporos no solo após aplicação de resíduos de suínos.

Além dos nutrientes presentes no biofertilizante, merece destaque o número relativamente pequeno ou até mesmo a ausência de microrganismos patogênicos e de seus ovos bem como de sementes da maioria das plantas invasoras.

O pH médio do biofertilizante é 7,5, ou seja, levemente alcalino. Este índice é extremamente favorável ao crescimento de microrganismos úteis para o solo. Alguns estudiosos acreditam que o biofertilizante não corrige a acidez do solo, mas cria condições para a proliferação desses microrganismos, os quais restabelecem a vida no

solo, propiciando o equilíbrio de pH (BARRERA, 1993). Porém, PERDOMO (1996) afirmou que a aplicação de biofertilizante no solo tem mostrado efeito benéfico na redução da acidez do solo, ou seja, no aumento de pH e ainda, aumento do teor de P disponível, melhoria das propriedades físicas do solo e menor disseminação de plantas invasoras.

No entanto, segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI (1995), ao aplicar o biofertilizante no solo devem ser levados em conta critérios agronômicos a fim de evitar o impacto ambiental, como a salinização dos solos e lixiviação de sais solúveis para cursos d'água e a possibilidade de aumento de concentração de metais no solo e nas plantas. Os custos com transporte, topografia ondulada, propriedades de pequeno tamanho e a escassez de áreas agrícolas apropriadas para a mecanização, constituem os maiores obstáculos a otimização do uso de biofertilizante (Embrapa Suínos e Aves, 2003, citada por OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

3.3. Material e Métodos

O experimento de biodigestão anaeróbia foi realizado no Laboratório de Biomassa e Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural e os dejetos coletados no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia ambos localizados na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, UNESP - Campus de Jaboticabal. Este situa-se em local cujas coordenadas geográficas são: 21° 15' 22" S; 48° 18' 58" W e altitude média de 595 m. No período de realização do experimento, a temperatura média ambiente foi de 24,2 °C, a umidade relativa do ar 77,4% e a precipitação média 254,7 mm (Universidade Estadual Paulista, 2008).

3.3.1. Ensaio de biodigestão anaeróbia

Foi conduzido experimento de biodigestão anaeróbia com operação contínua, ou seja, os biodigestores laboratoriais foram abastecidos diariamente. Adotou-se o tempo de retenção hidráulica (TRH) de 30 dias.

As fezes utilizadas para o abastecimento dos biodigestores foram obtidas de animais alimentados com dietas distintas, de acordo com a fonte energética, ou seja, milho ou sorgo. Os animais estavam alojados individualmente em baias experimentais de 2,55 m², com piso de concreto, bebedouro em nível do tipo vaso comunicante e comedouro semi-automático.

De acordo com cada tipo de fezes geradas, pode-se dividir o ensaio de biodigestão em dois tratamentos, considerando as dietas dos suínos:

- M: Biodigestores abastecidos com fezes geradas por animais alimentados com dieta contendo o milho como principal fonte energética;
- S: Biodigestores abastecidos com fezes geradas por animais alimentados com dieta contendo o sorgo como principal fonte energética.

Foram utilizados dez biodigestores para fezes de animais alimentados com dietas à base de milho e dez biodigestores para aqueles obtidos de animais alimentados com dietas à base de sorgo. Para o abastecimento, as fezes foram colhidas diariamente após raspagem nas baias individuais. Os biodigestores foram abastecidos durante 149 dias. Nos primeiros 36 dias foram utilizadas fezes de animais em fase inicial de crescimento (12/10/2006 a 16/11/2006), nos 66 dias subsequentes fezes de animais em fase crescimento (17/11/2006 a 22/01/2007) e nos últimos 47 dias fezes de animais na fase terminação (23/01/2007 a 10/03/2007).

3.3.2. Descrição do sistema de biodigestão em escala laboratorial

Os biodigestores de bancada foram confeccionados com PVC e descritos anteriormente por HARDOIM (1999) e SOUZA (2001). Os biodigestores estão instalados dentro de três caixas de fibrocimento com 500 L de capacidade, com volume de água necessário ao aquecimento uniforme do substrato a 35°C, sendo este feito por resistências elétricas, o controle da temperatura por termostatos e a mistura da água aquecida por bomba d'água (Figura 1).

Cada biodigestor possui volume total de 14 L e volume útil de 10 L, uma única câmara de digestão, com entrada do afluente localizada a 5 cm do fundo e saída do efluente a 10 cm abaixo do nível do substrato, sendo o diâmetro interno de 20 cm, a altura total de 45 cm e a altura útil de 32 cm (relação diâmetro interno/altura de 0,625). As tubulações de carga e descarga de PVC possuem diâmetro de 4 cm (Figura 2).



FIGURA 1. Biodigestores acondicionados em caixa de fibrocimento.

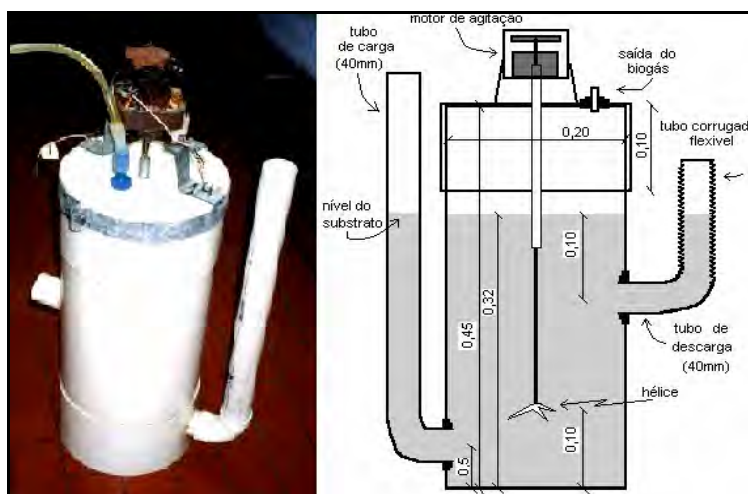


FIGURA 2. Detalhes do biodigestor e corte transversal.
Fonte: SOUZA (2001).

Os biodigestores possuem gasômetros independentes, dimensionados para armazenar 15 L de biogás, construídos em escala reduzida, cuja finalidade é armazenar e permitir a quantificação do biogás produzido, por meio de escala graduada afixada em sua parte externa. Todos os gasômetros estão imersos em uma caixa de fibrocimento com 1000 L de capacidade, contendo aproximadamente 750 L de água e uma lâmina de 5 mm de óleo de hidráulico, que permitia manter a estanqueidade do biogás e evitar a absorção do CO_2 produzido (Figura 3). Todos os biodigestores e respectivos gasômetros são codificados para facilitar a coleta de dados.



FIGURA 3. Gasômetros independentes acondicionados em caixa de fibrocimento.

3.3.3. Operação dos biodigestores

O abastecimento inicial dos biodigestores ocorreu 30 dias antes do início do experimento. Tal procedimento se fez necessário para que as bactérias envolvidas no processo se adaptassem ao ambiente no interior dos biodigestores. Dentre os componentes utilizados para abastecimento inicial estavam o lodo de reator UASB e efluente de biodigestor. Estes foram incluídos como inóculos a fim de acelerar a partida do processo.

Cada biodigestor foi abastecido inicialmente com oito quilos de afluente com teor de ST de 4,0% dos quais 74,6% eram voláteis. Os cálculos de ST e SV foram realizados baseados em metodologias descritas em AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA (1998). Os componentes do substrato para abastecimento inicial e suas respectivas quantidades são mostrados na Tabela 1.

TABELA 1. Caracterização dos componentes do afluente para abastecimento inicial dos biodigestores.

	ST ¹ (%)	SV ² (%)	MN ³ (kg)	ST (kg)
Fezes de suínos	23,8	85,9	0,16	0,04
Lodo	6,8	76,5	3,60	0,24
Efluente de biodigestor	1,8	68,3	2,80	0,05
Água	-	-	1,44	-
Total			8,00	0,32

¹ sólidos totais; ² sólidos voláteis; ³ matéria natural

Depois de calculadas as quantidades descritas de fezes, lodo de reator anaeróbio UASB, efluente obtido de biodigestor abastecido com fezes de suínos e água, a mistura foi homogeneizada com a utilização de liquidificador industrial, propiciando maiores condições de fermentação no interior dos biodigestores.

Após o abastecimento inicial, os biodigestores foram abastecidos a cada três dias, sendo o afluente composto por água e fezes de suínos obtidos após raspagem em baias coletivas do Setor de Suinocultura. As quantidades de fezes utilizadas para abastecimento dos biodigestores foram calculadas a partir dos teores de ST nas fezes (APHA, 1998). Com base nos teores de sólidos, as fezes foram misturadas à água necessária para compor afluente com teor de ST próximo a 6% (LUCAS JUNIOR,

1994). Foram feitos dez abastecimentos de 267 mL, cujo teor médio de ST foi 4,12%, dos quais 85,97% eram voláteis.

Após 30 dias de abastecimentos para adaptação dos biodigestores quanto às bactérias e estabilidade da produção de biogás iniciaram as cargas diárias com as fezes de suínos na fase inicial alimentados com dietas à base de milho ou sorgo. Na Tabela 2 são apresentadas as quantidades médias de fezes e água que compuseram o afluente de cada biodigestor.

TABELA 2. Quantidades médias de fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo nas fases inicial, crescimento e terminação utilizadas nos afluentes dos biodigestores.

Dietas	Fases	Fezes (g)	Água (g)
Milho	Inicial	49,2	217,8
	Crescimento	58,1	208,9
	Terminação	55,0	212,0
Sorgo	Inicial	55,2	211,8
	Crescimento	67,0	200,0
	Terminação	65,2	201,8

Os teores de ST das fezes determinados a cada semana permitiram calcular, semanalmente, as quantidades de fezes e água para compor os afluentes dos biodigestores.

3.3.4. Colheita de amostras, análises realizadas e metodologias utilizadas

Semanalmente foram coletadas amostras das fezes utilizadas para compor os afluentes dos biodigestores e diariamente retiradas amostras de cada tipo de afluente, ou seja, aqueles compostos por fezes de animais alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo. Quanto aos efluentes, foram retiradas amostras diariamente de cada um dos 20 biodigestores. As amostras foram secas em estufa e destinadas às análises de ST, SV e nutrientes.

3.3.4.1. Quantificação dos teores de sólidos totais e voláteis

Para a quantificação dos teores de sólidos totais e voláteis foram utilizadas metodologias descritas em APHA (1998).

As amostras de fezes utilizadas para composição dos afluentes, bem como as amostras de afluentes e efluentes dos biodigestores foram submetidas à pré-secagem em estufa com circulação de ar forçada a 55 °C durante 72 h. Em seguida, parte das amostras secas foi destinada à análise de nutrientes e outra parte foi submetida às análises de ST em estufa de circulação de ar forçada por 12 h a 105 °C.

O teor de SV foi determinado a partir do material seco que serviu para determinação do teor de ST. Portanto, as amostras previamente secas em estufa a 105 °C foram queimadas em forno mufla a 600 °C durante 2 h e possibilitaram a determinação dos SV.

3.3.4.2. Quantificação de nutrientes

As amostras de fezes, afluentes e efluentes dos biodigestores submetidas a pré-secagem foram moídas em moinho IKA[®] A11 basic.

A digestão das amostras para determinação do N foi realizada utilizando ácido sulfúrico (H₂SO₄) e mistura digestora composta por sulfato de sódio (Na₂SO₄), sulfato de cobre (CuSO₄.5H₂O) e selenito de sódio (Na₂SeO₃). A determinação foi pelo método Micro-Kjeldahl, o qual se baseia no princípio da transformação do nitrogênio amoniacal (NH₄)₂SO₄ em amônia, a qual é fixada pelo ácido bórico (H₃BO₃) e posteriormente titulada com H₂SO₄ até nova formação de (NH₄)₂SO₄ na presença de indicador ácido-base (SILVA & QUEIRÓZ, 2002).

Para determinação dos demais nutrientes, as amostras sofreram digestão nítrico-perclórica, a qual promove a digestão total da matéria orgânica a partir da mistura de ácido nítrico (HNO₃) e ácido perclórico (HClO₄). Com o extrato obtido da digestão foi possível efetuar a determinação dos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, ferro, manganês, zinco e cobre segundo BATAGLIA (1983).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2010 (HACH, 1991). O método baseia-se na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6 N. A concentração de fósforo das amostras é obtida utilizando uma reta padrão traçada previamente com concentrações conhecidas de padrões de 0 e 52 mg de P/mL. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por MALAVOLTA et al. (1989).

As concentrações de K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn e Cu foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica tipo chama modelo GBC 932 AA.

3.3.4.3. Produção de biogás

A quantificação da produção de biogás foi feita com base em dados constantes, num período de 30 dias, para cada biodigestor. Utilizando de uma escala graduada afixada na parte externa dos gasômetros e do deslocamento vertical destes foi possível medir a produção diária de biogás. O volume do biogás foi determinado pela multiplicação da altura de deslocamento do gasômetro pela área da sua seção transversal interna (0,30887 m²). Após cada leitura diária, os gasômetros foram esvaziados até atingirem o zero da escala.

Concomitantemente foi medida a temperatura ambiente no laboratório, utilizando-se um termômetro de vidro (escala de 0 a 110 °C e resolução de 0,1 °C). Posteriormente, era efetuada a correção no volume de biogás para 1 atm e 20°C, de acordo com a metodologia empregada por CAETANO (1985), onde pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresentava comportamento próximo ao ideal.

Conforme descrito por SANTOS (2001), para a correção do volume de biogás, utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, onde:

$$(V_0P_0) / T_0 = (V_1P_1) / T_1$$

em que:

V_0 = volume de biogás corrigido, m^3 ;

P_0 = pressão corrigida do biogás, 10.322,72 mm de H_2O ;

T_0 = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, 9.652,10 mm de H_2O ;

T_1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Os potenciais de produção de biogás foram calculados utilizando-se os dados de produção diária e as quantidades de fezes (estrume), de afluente, de ST e SV adicionados nos biodigestores e SV reduzidos durante o processo de biodigestão. Os valores foram expressos em m^3 de biogás / kg de estrume, de afluente, de ST ou SV adicionados e de SV reduzidos.

3.3.4.4. Análise da composição do biogás produzido

Para avaliação da composição do biogás produzido, foram feitas análises com base nos teores de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Semanalmente foram retiradas amostras de biogás de cada um dos biodigestores durante todo o período experimental, utilizando seringas plásticas de 50 mL de volume. As determinações foram feitas utilizando-se um cromatógrafo de fase gasosa da marca FINNINGAN GC 2001 equipado com colunas Porapak Q, Peneira Molecular 5A e detector de condutividade térmica, utilizando o hidrogênio como gás de arraste. A calibração do equipamento foi feita com o gás padrão contendo 55,4% de metano, 35,1% de dióxido de carbono, 2,1% de oxigênio e 7,7% de nitrogênio. Os percentuais dos componentes foram determinados com o auxílio de um integrador processador.

3.3.5. Análise estatística

Os dados obtidos no experimento de biodigestão anaeróbia permitiram analisar as reduções de ST e SV após o processo de biodigestão, teor de metano no biogás,

produções de biogás e quantidade de nutrientes no afluente e efluente dos biodigestores.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado a fim de comparar as duas dietas testadas, ou seja, milho e sorgo, e as fases inicial, crescimento e terminação, considerando-se 10 repetições (biodigestores).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância de medidas repetidas, considerando um fator entre os animais (fezes geradas de diferentes dietas) e um fator dentro dos animais (fases) (ZAR, 1999). Utilizou-se o programa estatístico SISVAR 4.6. (FERREIRA, 2000) e as comparações das médias foram efetuadas pelo teste de Tukey (5%).

3.4. Resultados e Discussão

3.4.1. Teores médios de sólidos e porcentagens de redução

Os teores médios de sólidos das fezes utilizadas para composição dos afluentes dos biodigestores são apresentados na Tabela 3. Os valores são referentes às semanas nas quais foram coletados os dados de produção de biogás em cada fase de crescimento.

Os teores médios de sólidos totais e voláteis foram maiores ($P < 0,05$) nas fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho, com exceção dos teores médios de SV na fase crescimento, na qual não houve diferença estatística. As fezes obtidas de animais na fase inicial diferiam ($P < 0,05$) das demais quanto aos teores médios de sólidos.

TABELA 3. Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, de fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação utilizados na composição dos afluentes dos biodigestores.

	Dietas	Semanas	Fases		
			Inicial	Crescimento	Terminação
ST	M	1	35,62	31,67	27,91
		2	44,10	28,17	31,65
		3	31,44	32,15	31,65
		4	35,77	29,81	31,65
		média	36,72 Aa	30,45 Ab	30,71 Ab
	S	1	26,80	29,15	25,31
		2	34,72	29,30	26,15
		3	33,08	26,65	26,15
		4	31,64	23,52	26,15
		média	31,51 Ba	27,15 Bb	25,75 Bb
CV (%) dietas: 19,64 fases: 19,51					
SV	M	1	30,72	27,23	2,27
		2	39,13	25,19	27,94
		3	28,82	27,87	28,19
		4	29,61	26,07	28,39
		média	32,08 Aa	26,57 Ab	27,45 Ab
	S	1	23,36	24,88	22,70
		2	31,34	27,41	24,12
		3	28,69	23,33	22,96
		4	28,72	20,90	22,92
		média	28,03 Ba	24,13 Ab	23,19 Bb
CV (%) dietas: 19,30 fases: 19,63					

Coefficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

Os teores médios de sólidos dos afluentes e efluentes dos biodigestores são apresentados nas Tabelas 4 e 5. Os valores médios são referentes às semanas nas quais foram coletados os dados de produção de biogás em cada fase de crescimento.

Os teores médios de sólidos nos afluentes dos biodigestores diferiram ($P < 0,05$) de acordo com as fezes utilizadas para composição dos afluentes e fases, sendo o maior valor observado no afluente composto por fezes de suínos alimentados com dieta à base de milho obtidas de animais na fase terminação (Tabela 4).

TABELA 4. Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, de afluentes dos biodigestores compostos por fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

	Dietas	Semanas	Fases		
			Inicial	Crescimento	Terminação
ST	M	1	4,32	4,67	5,59
		2	5,18	5,15	5,49
		3	3,76	5,28	5,70
		4	4,54	6,03	7,12
		média	4,46 Ac	5,28 Ab	5,96 Aa
	S	1	3,73	4,32	4,81
		2	4,39	4,56	4,99
		3	4,15	4,78	4,42
		4	4,07	4,88	5,07
		média	4,09 Ab	4,64 Bab	4,82 Ba
*CV (%) dietas: 18,62 fases: 17,41					
SV	M	1	3,66	4,02	4,89
		2	4,62	4,46	4,77
		3	3,12	4,68	5,02
		4	4,10	5,10	6,21
		média	3,86 Ac	4,57 Ab	5,22 Aa
	S	1	3,27	3,66	4,24
		2	3,93	4,05	4,38
		3	3,48	4,41	3,93
		4	3,78	4,37	4,41
		média	3,61 Ab	4,12 Aab	4,24 Ba
CV (%) dietas: 20,73 fases: 18,21					

Coefficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

Os teores médios de sólidos nos efluentes dos biodigestores apresentaram diferenças ($P < 0,05$) somente em fezes obtidas de suínos em crescimento, sendo os maiores teores médios ($P < 0,05$) verificados em efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas à base de milho. Comparando as fases, verifica-se que efluentes obtidos de biodigestores abastecidos com fezes de suínos na fase terminação apresentaram maiores teores médios de sólidos ($P < 0,05$) (Tabela 5).

TABELA 5. Teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, de efluentes dos biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

	Dietas	Semanas	Fases		
			Inicial	Crescimento	Terminação
ST	M	1	1,99	1,95	1,77
		2	1,68	1,82	1,57
		3	1,59	1,96	2,52
		4	1,52	2,03	2,37
		média	1,69 Ab	1,94 Aa	2,06 Aa
	S	1	1,80	1,74	1,96
		2	1,32	1,68	1,53
		3	1,67	1,78	2,21
		4	1,82	1,79	2,44
		média	1,64 Ab	1,75 Bb	2,03 Aa
*CV (%) dietas: 12,79 fases: 9,70					
SV	M	1	1,41	1,46	1,36
		2	1,20	1,36	1,23
		3	1,12	1,47	1,99
		4	1,11	1,53	1,80
		média	1,22 Ab	1,45 Aa	1,59 Aa
	S	1	1,29	1,33	1,56
		2	1,00	1,28	1,21
		3	1,15	1,36	1,76
		4	1,31	1,34	1,94
		média	1,18 Ab	1,33 Bb	1,62 Aa
CV (%) dietas: 13,56 fases: 10,22					

Coefficiente de variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

Os teores médios de sólidos dos afluentes dos biodigestores foram maiores que os obtidos por NAGAE et al. (2005) quando caracterizaram dejetos de suínos em crescimento e terminação criados em sistema de lâmina d'água e obtiveram teores médios de ST e SV de 3,4 e 2,73%, respectivamente.

As porcentagens de reduções de ST e SV após passagem dos afluentes compostos por fezes de suínos alimentados com diferentes dietas pelos biodigestores são apresentadas na Tabela 6. Na fase terminação as dietas oferecidas aos suínos interferiram nas reduções de sólidos sendo as maiores reduções médias de ST e SV ($P < 0,05$) verificadas nos biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dieta à base de milho. Em relação às fases, não foram verificadas diferenças

($P > 0,05$) nas reduções de sólidos em biodigestores abastecidos com fezes de animais alimentados com dietas contendo milho. Entretanto nos biodigestores cujos afluentes foram compostos por fezes obtidas de animais alimentados com dietas à base de sorgo na fase crescimento ocorreram maiores reduções médias de ST ($P < 0,05$) e menores reduções médias de SV ($P < 0,05$) naqueles que continham fezes obtidas de animais em terminação.

TABELA 6. Reduções médias de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem, em biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo nas fases inicial, crescimento e terminação.

	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
ST	Milho	62,16 Aa	63,31 Aa	64,72 Aa
	Sorgo	59,71 Aab	62,38 Aa	57,69 Bb
*CV (%) dietas: 7,94 fases: 5,76				
SV	Milho	68,97 Aa	66,87 Aa	68,89 Aa
	Sorgo	66,77 Aa	67,64 Aa	61,73 Bb
CV (%) dietas: 6,60 fases: 4,85				

Coeficiente de Variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

Os valores de redução de sólidos foram menores que os obtidos por ORRICO JUNIOR (2008) quando avaliou o desempenho de biodigestores de bancada abastecidos com dejetos de suínos operando com TRH de 29 dias. Os valores obtidos pelo referido autor foram de 66,77% de redução de ST e 70,82% de redução de SV. Já ZHANG et al. (1990) quando avaliaram biodigestores anaeróbios operados com TRH de 15 dias, obtiveram valor de redução de SV de 66%, sendo este semelhante aos obtidos no presente trabalho.

3.4.2. Produção e potenciais de produção de biogás

A produção média diária de biogás está apresentada na Tabela 7 e representada na Figura 4. Nos biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com

dietas contendo milho ocorreram maiores produções médias diárias de biogás ($P < 0,05$) em todas as fases e comparando estas, verifica-se que na fase crescimento, nos biodigestores cujos afluentes continham fezes de animais alimentados com dietas à base de milho, ocorreu menor produção média diária de biogás ($P < 0,05$) e nos biodigestores abastecidos com fezes de suínos em fase inicial e alimentados com dietas contendo sorgo ocorreu maior produção média diária de biogás ($P < 0,05$).

TABELA 7. Produção média diária de biogás, em m^3 , corrigida para 20 °C e 1 atm, em biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo nas diferentes fases.

Dietas	Fases		
	Inicial	Crescimento	Terminação
Milho	0,0088 Aa	0,0080 Ab	0,0089 Aa
Sorgo	0,0078 Ba	0,0067 Bb	0,0070 Bb

*CV (%) dietas: 8,71
fases: 9,38

Coeficiente de Variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

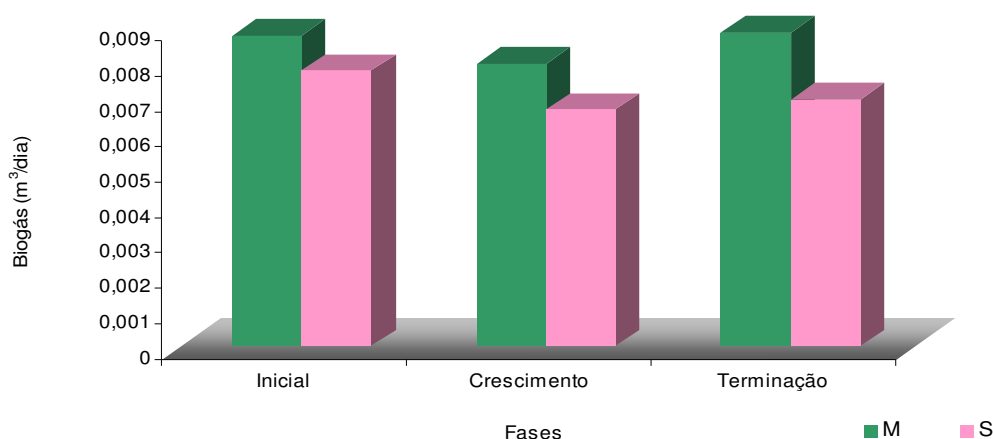


FIGURA 4. Produção média diária de biogás, corrigida para 20 °C e 1 atm, em biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.

As curvas de produção de biogás de fezes de suínos alimentados com dietas à base de milho ou sorgo são mostradas na Figura 5.

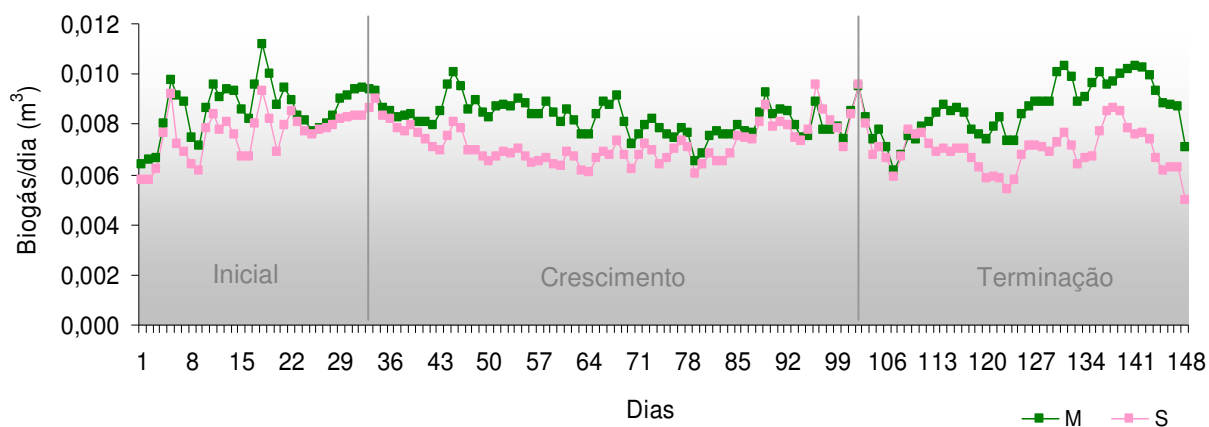


FIGURA 5. Produção média diária de biogás, em m³, corrigida para 20 °C e 1 atm, em biodigestores cujos afluentes continham fezes de suínos nas diferentes fases alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S).

Os potenciais médios de produção de biogás são apresentados na Tabela 8. Os maiores potenciais médios de produção de biogás ($P < 0,05$) foram verificados nos biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas à base de milho em todas as fases considerando as variáveis m³/kg de afluente e de estrume, na fase inicial para a variável m³/kg de ST adicionados, nas fases inicial e crescimento para a variável m³/kg de SV adicionados e na fase crescimento para a variável m³/kg de SV reduzidos.

Comparando as fezes produzidas nas diferentes fases dos animais, foram observados maiores potenciais médios de produção de biogás ($P < 0,05$) nas fezes obtidas na fase inicial em todas as variáveis analisadas e em ambas as dietas.

TABELA 8. Potenciais médios de produção de biogás de fezes de suínos alimentados com dieta formulada com milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

Biogás	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
m ³ /kg de afluente	M	0,033 Aa	0,030 Ab	0,033 Aa
	S	0,029 Ba	0,025 Bb	0,026 Bb
*CV (%) dietas: 7,88 fases: 5,45				
m ³ /kg de estrume	M	0,181 Aa	0,138 Ac	0,161 Ab
	S	0,142 Ba	0,100 Bb	0,107 Bb
CV (%) dietas: 7,91 fases: 5,40				
m ³ /kg de ST ¹ adicionados	M	0,685 Aa	0,521 Ab	0,525 Ab
	S	0,649 Ba	0,491 Ab	0,499 Ab
CV (%) dietas: 7,97 fases: 5,59				
m ³ /kg de SV ² adicionados	M	0,788 Aa	0,632 Ab	0,599 Ab
	S	0,734 Ba	0,552 Bb	0,563 Ab
CV (%) dietas: 8,02 fases: 5,61				
m ³ /kg de SV reduzidos	M	1,132 Aa	0,948 Ab	0,872 Ab
	S	1,080 Aa	0,819 Bc	0,904 Ab
CV (%) dietas: 9,04 fases: 7,39				

Coeficiente de Variação; ¹: Sólidos totais; ²: Sólidos voláteis.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

A produção média diária de biogás e os potenciais médios de produção foram menores para fezes de suínos alimentados com dietas à base de sorgo. Apesar de não haver explicação conclusiva para os fatos, sugere-se que tenha ocorrido efeito deletério da presença dos taninos sobre as *archeas* metanogênicas, corroborando a afirmação de SCALBERT (1991), em que a catequina, um dos componentes do tanino, quando na forma oxidada, é um agente fortemente inibidor de *archeas* metanogênicas.

Os maiores potenciais de produção de biogás obtidos na fase inicial de criação se devem as diferenças na formulação das dietas, nas quais se têm a inclusão de ingredientes mais ricos e de mais fácil degradação quando se destinam a animais jovens.

SOUZA & CAMPOS (2007) relataram que em experimento de biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos, verificaram potencial médio de produção de biogás de 0,136 m³/kg de estrume em biodigestores submetidos à temperatura de 35 °C e TRH de

30 dias. Estes valores corroboram com os verificados no presente trabalho, especialmente se considerarmos as fezes de suínos alimentados com dieta à base de milho e a fase crescimento.

MIRANDA (2005a) verificou potenciais médios de produção de biogás de 0,489; 0,566 e 0,768 m³/kg de ST e SV adicionados e SV reduzidos, respectivamente, em biodigestores de bancada abastecidos com fezes de suínos e submetidos a temperatura 35 °C e operados com TRH de 30 dias, sendo tais valores menores que os obtidos no presente trabalho. No mesmo contexto, ORRICO JUNIOR (2008) utilizando biodigestores de bancada operados com TRH de 29 dias, observou potenciais médios de produção de biogás de 0,814 e 0,757 m³/kg de ST e SV adicionados, respectivamente.

Ressalta-se que os trabalhos citados sobre potenciais de produção de biogás de fezes de suínos não continham informações sobre a dieta utilizada pelos animais. Acredita-se que eram formuladas com milho e farelo de soja como ingredientes principais, visto que estes são os ingredientes mais utilizados para o arraçamento de suínos no Brasil.

Conhecendo os potenciais médios de produção de biogás/kg de estrume e a produção média diária de fezes por animal alojado nas baias individuais onde foram coletadas as fezes para composição dos afluentes dos biodigestores (0,321; 0,622 e 0,902 kg de fezes de suínos alimentados com dietas contendo milho e 0,348; 0,900 e 1,119 kg de animais alimentados com dietas formuladas à base de sorgo, nas fases inicial, crescimento e terminação, respectivamente) foi possível relacionar a produção de biogás e a quantidade diária de fezes gerada pelos suínos nas diferentes fases e submetidos as duas dietas experimentais (Tabela 9).

A produção média diária de biogás relacionada à produção média diária de fezes diferiu entre as dietas na fase terminação, na qual a maior produção média ($P < 0,05$) foi de fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho. Fezes obtidas nesta mesma fase propiciaram as maiores produções médias de biogás ($P < 0,05$).

TABELA 9. Relação entre produção média diária de biogás, em m³, e produção média diária de fezes por suíno alimentado com dieta formulada à base de milho ou sorgo em diferentes fases.

Dietas	Fases		
	Inicial	Crescimento	Terminação
Milho	0,055 Ac	0,081 Ab	0,146 Aa
Sorgo	0,050 Ac	0,089 Ab	0,119 Ba

*CV (%) dietas: 24,73
fases: 22,78

Coefficiente de Variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

Conforme os animais mudaram de fase ocorreu aumento na quantidade média de fezes geradas diariamente. Como consequência, ocorreu também aumento na produção média diária de biogás, em função do aumento de fezes produzidas, embora os potenciais médios de produção de biogás/kg de estrume tenham sido maiores na fase inicial considerando as fezes geradas pelos animais alimentados com ambas as dietas.

As maiores produções e potenciais médios de produção de biogás/kg de estrume foram obtidos em fezes de suínos em todas as fases alimentados com dietas contendo milho, conforme pode ser verificado na Figura 6. Porém, ao relacionar a produção média diária de biogás e a quantidade média de fezes geradas por dia (Figura 7), verifica-se que na fase crescimento o maior valor médio foi obtido de fezes de suínos alimentados com dieta à base de sorgo, fato esse que se deve a maior produção média diária de fezes por animais alimentados com dieta contendo o referido ingrediente.

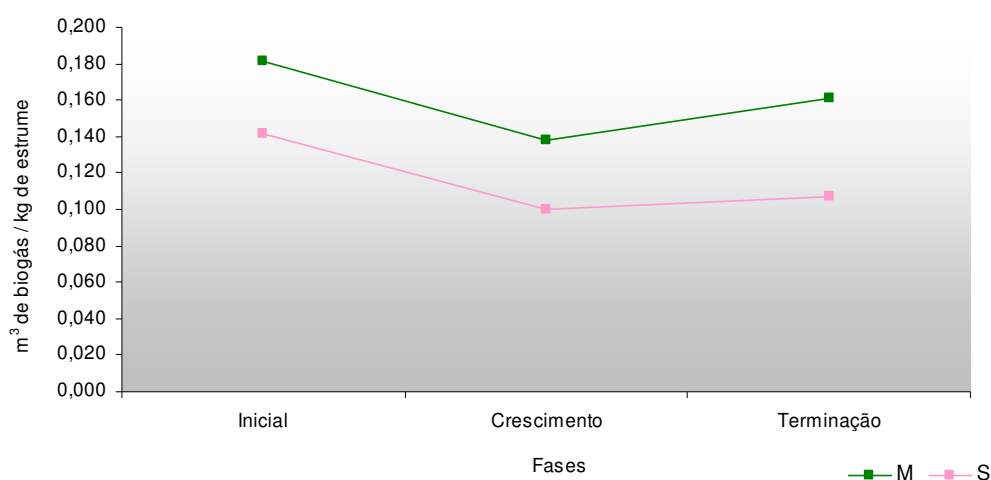


FIGURA 6. Produção média diária de biogás/kg de estrume de suíno alimentado com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.

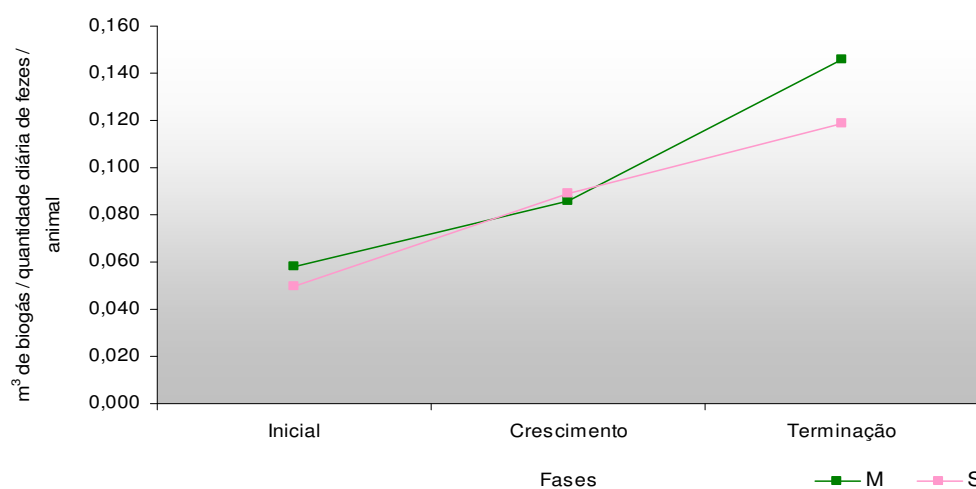


FIGURA 7. Produção média diária de biogás/quantidade média diária de fezes excretada por suíno alimentado com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas diferentes fases.

Na Tabela 10 e Figura 8 são apresentados os teores médios de metano no biogás gerado em biodigestores abastecidos com fezes de suínos em diferentes fases. As diferentes dietas e fases não interferiram ($P > 0,05$) no teor médio de metano no biogás gerado de fezes de suínos.

TABELA 10. Teores médios de metano, em porcentagem, em biogás gerado de fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho ou sorgo nas fases inicial, crescimento e terminação.

Dietas	Fases		
	Inicial	Crescimento	Terminação
Milho	66,99	64,65	65,50
Sorgo	67,42	65,19	67,32

*CV (%) dietas: 3,89
Fases: 3,84

*Coeficiente de variação.

Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey (5%).

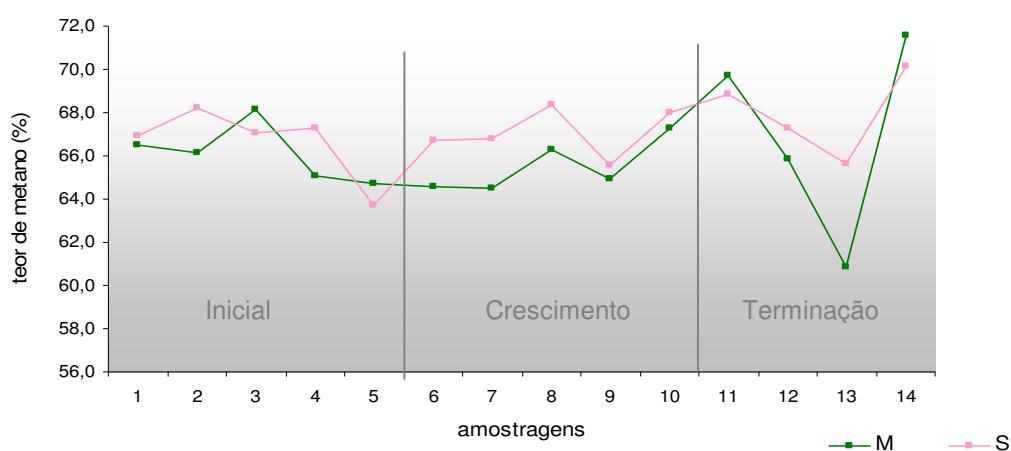


FIGURA 8 - Porcentagem média de metano em biogás gerado de fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

A composição do biogás de dejetos de suínos, segundo SILVA (1998), varia de 60 a 70% de metano. Os resultados obtidos estão entre estes valores e corroboram com diversos autores que trabalhando com biodigestão anaeróbia utilizando dejetos de suínos verificaram valores neste intervalo: MIRANDA (2005b) verificou biogás com 65,73% de metano em biodigestores de bancada operados a 35 °C e TRH de 30 dias; ORRICO JUNIOR (2008) obteve 66,55% de metano em biogás gerado em biodigestores de bancada operados com TRH de 29 dias.

Comparando os resultados obtidos com o teor médio de metano em biogás gerado em biodigestores instalados em suinocultura de Santa Catarina pelo PNMA II (Programa Nacional do Meio Ambiente II) citado por OLIVEIRA & HIGARASHI (2006),

observa-se que os teores médios de metano foram menores, pois a porcentagem de CH₄ naqueles biodigestores manteve-se praticamente constante em 69%.

3.4.3. Concentrações de nutrientes no afluente e efluente dos biodigestores

Na Tabela 11 estão apresentadas as concentrações médias de nutrientes presentes nos afluentes dos biodigestores. As diferentes dietas e fases dos animais interferiram ($P < 0,05$) nas concentrações médias de macro e micronutrientes presentes nas fezes e, conseqüentemente, interferiram nas concentrações médias destes nos afluentes dos biodigestores.

Nos afluentes compostos por fezes de animais alimentados com dietas contendo milho foram verificadas maiores concentrações médias de P e Cu em todas as fases, Zn na fase crescimento e Ca na terminação ($P < 0,05$), enquanto nos afluentes compostos por fezes de animais alimentados com dietas contendo sorgo, as maiores concentrações médias foram de N, Mg e Fe em todas as fases ($P < 0,05$).

Analisando as fases, constatam-se na fase inicial as maiores concentrações médias ($P < 0,05$) de Na e Zn e menores concentrações médias ($P < 0,05$) de P e Mg nos afluentes compostos por fezes obtidas de animais alimentados com dietas à base de milho. A maior concentração média ($P < 0,05$) de Mn foi verificada na fase crescimento. As maiores concentrações médias de todos os nutrientes analisados nos afluentes compostos por fezes obtidas de animais alimentados com dietas contendo sorgo, ocorreram na fase inicial, com exceção do Mg, o qual apresentou maior concentração nos afluentes preparados com fezes obtidas de suínos em crescimento.

TABELA 11. Concentrações médias de macronutrientes (porcentagem da matéria seca) e micronutrientes (mg/kg de matéria seca) em afluentes de biodigestores compostos por fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S) nas fases inicial, crescimento e terminação.

Nutrientes	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
Nitrogênio (%)	M	3,97 Ba	3,58 Ba	3,42 Ba
	S	6,08 Aa	4,74 Ab	4,49 Ab
*CV (%) dietas: 12,89 fases: 19,35				
Fósforo (%)	M	1,72 Ab	2,04 Aa	2,08 Aa
	S	1,25 Ba	1,24 Ba	1,00 Ba
CV (%) dietas: 11,81 fases: 12,62				
Potássio (%)	M	3,07 Aa	2,72 Aa	2,86 Aa
	S	3,42 Aa	2,72 Ab	2,68 Ab
CV (%) dietas: 13,67 fases: 10,54				
Cálcio (%)	M	0,71 Aa	0,72 Aa	0,75 Aa
	S	0,70 Aa	0,63 Aab	0,54 Bb
CV (%) dietas: 10,40 fases: 14,09				
Magnésio (%)	M	1,29 Bb	1,57 Ba	1,51 Ba
	S	2,16 Ab	2,32 Aa	2,11 Ab
CV (%) dietas: 9,86 fases: 6,06				
Sódio (%)	M	1,13 Aa	0,66 Ac	0,87 Ab
	S	1,23 Aa	0,87 Ab	0,99 Ab
CV (%) dietas: 23,86 fases: 14,97				
Ferro (mg/kg)	M	2.425 Ba	2.036 Ba	2.219 Ba
	S	3.929 Aa	3.342 Aab	3.257 Ab
CV (%) dietas: 15,41 fases: 14,64				
Manganês (mg/kg)	M	305 Aab	341 Aa	285 Ab
	S	382 Aa	319 Aa	310 Aa
CV (%) dietas: 10,05 fases: 9,53				
Zinco (mg/kg)	M	842 Aa	557 Aab	496 Ab
	S	572 Aa	249 Bab	220 Ab
CV (%) dietas: 50,93 fases: 46,86				
Cobre (mg/kg)	M	207 Aa	202 Aa	180 Aa
	S	157 Ba	161 Ba	135 Ba
CV (%) dietas: 12,08 fases: 17,90				

Coefficiente de Variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

ORRICO JUNIOR (2008) abasteceu biodigestores de bancada com afluente composto por dejetos de suínos e observou concentrações médias de 3,74 (N); 2,05 (P); 2,32 (K); 1,16 (Ca); 0,59 (Mg) e 0,66 (Na), em % da matéria seca. A concentração média de N foi semelhante às obtidas nos afluentes contendo fezes de suínos alimentados com dieta à base de milho. Já as concentrações médias de P e Ca foram maiores, enquanto os valores de K, Mg e Na foram menores que os obtidos neste.

As concentrações médias de nutrientes nos efluentes dos biodigestores estão apresentadas na Tabela 12. Observa-se que as concentrações médias de nutrientes no efluente diferiram ($P < 0,05$) entre biodigestores abastecidos com fezes oriundas de suínos em diferentes fases e alimentados com dietas distintas.

Analisando as diferentes dietas, verificam-se nos efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dieta à base de milho maiores concentrações médias ($P < 0,05$) de P, Ca e Zn em todas as fases, de K na fase crescimento e de Mg nas fases crescimento e terminação. As maiores concentrações médias ($P < 0,05$) de nutrientes nos efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dieta à base de sorgo foram de N em todas as fases, Fe e Cu na fase inicial e Na e Mn na terminação.

Em relação às fases, observam-se nos efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos em fase inicial as maiores concentrações médias de Fe e Zn ($P < 0,05$) e menores concentrações médias ($P < 0,05$) de P e Mg nos efluentes obtidos de biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com ambas as dietas. Nos biodigestores abastecidos com fezes de suínos na fase inicial e alimentados com dietas à base de sorgo, foram verificadas as maiores concentrações médias ($P < 0,05$) de Cu e menores concentrações de Ca para animais em terminação. E naqueles abastecidos com fezes de suínos em terminação alimentados com dietas à base milho, foram verificadas as maiores concentrações médias ($P < 0,05$) de Mn e menores ($P < 0,05$) de K e Cu. Na fase crescimento, a concentração de Ca diferiu ($P < 0,05$) das demais nos efluentes oriundos de fezes de animais alimentados com dietas contendo milho.

TABELA 12. Concentrações médias de macronutrientes (porcentagem da matéria seca) e micronutrientes (mg/kg de matéria seca) em efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos nas fases inicial, crescimento e terminação, alimentados com dietas formuladas à base de milho (M) ou sorgo (S).

Nutrientes	Dietas	Fases		
		Inicial	Crescimento	Terminação
Nitrogênio (%)	M	5,35 Ba	5,34 Ba	5,37 Aa
	S	5,68 Aa	5,63 Aa	5,39 Aa
*CV (%) dietas: 7,32 fases: 6,86				
Fósforo (%)	M	2,23 Ab	2,89 Aa	3,10 Aa
	S	1,67 Bb	1,92 Ba	1,01 Bab
CV (%) dietas: 13,02 fases: 12,35				
Potássio (%)	M	7,27 Aab	7,72 Aa	6,78 Ab
	S	7,38 Aa	6,75 Ba	6,65 Aa
CV (%) dietas: 14,17 fases: 12,35				
Cálcio (%)	M	1,18 Ab	1,38 Aa	1,19 Ab
	S	1,08 Ba	1,07 Ba	0,96 Bb
CV (%) dietas: 7,53 fases: 6,36				
Magnésio (%)	M	2,01 Ab	2,45 Aa	2,53 Aa
	S	2,08 Ab	2,26 Ba	2,26 Ba
CV (%) dietas: 8,51 fases: 7,26				
Sódio (%)	M	2,26 Aa	2,03 Aa	2,02 Ba
	S	2,21 Aa	2,15 Aa	2,24 Aa
CV (%) dietas: 15,49 fases: 13,22				
Ferro (mg/kg)	M	1.059 Ba	679 Ab	634 Ab
	S	1.131 Aa	652 Ab	639 Ab
CV (%) dietas: 8,05 fases: 8,81				
Manganês (mg/kg)	M	76 Ab	76 Ab	68 Ba
	S	73 Aa	76 Aa	73 Aa
CV (%) dietas: 6,07 fases: 5,75				
Zinco (mg/kg)	M	630 Aa	499 Ab	299 Ac
	S	543 Ba	404 Bb	224 Bc
CV (%) dietas: 30,32 fases: 13,46				
Cobre (mg/kg)	M	134 Ba	133 Aa	87 Ab
	S	216 Aa	132 Ab	81 Ac
CV (%) dietas: 25,26 fases: 18,23				

Coefficiente de Variação.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si (Tukey, 5%).

As concentrações médias de N, K, Mg e Na obtidas nos efluentes dos biodigestores foram maiores que as obtidas por ORRICO JUNIOR (2008) quando analisou efluente de biodigestores de bancada abastecidos com fezes de suínos e submetidos ao TRH de 29 dias. O referido autor observou concentrações médias (% da matéria seca) de 3,84 (N); 6,61 (K), 1,19 (Mg) e 1,85 (Na). As concentrações médias de P e Ca no efluente foram 4,61 e 1,48%, sendo estas maiores que as concentrações médias verificadas no presente trabalho.

As concentrações médias de N nos afluentes e efluentes dos biodigestores foram maiores ($P < 0,05$) naqueles compostos por fezes de suínos alimentados com dietas à base de sorgo. Tal fato é explicado pela maior concentração deste mineral nas fezes obtidas destes animais, pois segundo MAKKAR (2003), a presença de taninos no sorgo ocasiona partição do N, fazendo com que maiores excreções ocorram via fezes, devido a ligação do N aos taninos presentes nestas e menor proporção seja excretada pela urina.

De forma geral ocorreram aumentos nas concentrações dos nutrientes, com base na matéria seca, quando se compara os valores de afluentes com os dos efluentes. É necessário ressaltar que os aumentos não ocorrem em massa e sim em concentração principalmente devido a perdas de compostos ricos em carbono, como é o caso do CO_2 e CH_4 .

Nas Tabelas 13 e 14 são apresentados os balanços de massa nos biodigestores, ou seja, a quantidade de cada macronutriente, em g, e micronutriente, em mg, nos afluentes e nos efluentes e a porcentagem de redução nos efluentes. Houve redução na quantidade de macronutrientes, com exceções do K e Na nos efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas à base de milho na fase crescimento e de K para suínos em fase terminação alimentados com dietas contendo sorgo.

TABELA 13. Macronutrientes, em g, nos afluentes e efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos nas fases inicial (I), crescimento (C) e terminação (T) alimentados com dietas contendo milho ou sorgo e porcentagens de redução de massa nos efluentes.

	Dietas	Fases	Afluente (g)	Efluente (g)	Redução (%)
N	Milho	I	0,474 Ba	0,241 Ac	49,2
		C	0,493 Ba	0,278 Ab	43,6
		T	0,554 Aa	0,296 Aa	46,7
	Sorgo	I	0,671 Aa	0,250 Ab	62,7
		C	0,583 Aa	0,262 Bb	55,1
		T	0,625 Aa	0,291 Aa	53,5
*CV dietas:			12,95	7,27	
fases:			20,84	7,16	
P	Milho	I	0,207 Ac	0,100 Ac	51,5
		C	0,284 Ab	0,150 Ab	47,0
		T	0,329 Aa	0,171 Aa	48,1
	Sorgo	I	0,139 Ba	0,073 Bc	47,4
		C	0,148 Ba	0,090 Bb	39,0
		T	0,141 Ba	0,103 Ba	26,9
CV dietas:			9,74	13,01	
fases:			11,39	12,44	
K	Milho	I	0,363 Ab	0,327 Ab	9,8
		C	0,385 Ab	0,402 Aa	- 4,4
		T	0,462 Aa	0,373 Aa	19,2
	Sorgo	I	0,374 Aa	0,325 Aa	13,2
		C	0,331 Bb	0,323 Ba	2,2
		T	0,341 Bb	0,359 Aa	- 5,4
CV dietas:			11,31	14,97	
fases:			9,67	12,55	
Ca	Milho	I	0,864 Ab	0,518 Ac	40,0
		C	1,081 Aa	0,717 Aa	33,6
		T	1,187 Aa	0,653 Ab	45,0
	Sorgo	I	0,768 Ba	0,465 Bb	39,4
		C	0,759 Ba	0,501B ab	34,0
		T	0,695 Ba	0,516 Ba	25,8
CV dietas:			13,18	9,20	
fases:			13,94	7,46	
Mg	Milho	I	0,153 Bc	0,091 Ac	40,8
		C	0,219 Bb	0,128 Ab	41,6
		T	0,695 Ba	0,139 Aa	42,3
	Sorgo	I	0,234 Ac	0,091 Ac	60,9
		C	0,283 Aa	0,106 Bb	62,4
		T	0,269 Ab	0,122 Ba	54,7
CV dietas:			7,81	8,15	
fases:			6,32	6,95	
Na	Milho	I	0,138 Aa	0,102 Aa	26,0
		C	0,096 Ab	0,106 Aa	- 9,8
		T	0,140 Aa	0,111 Aa	20,8
	Sorgo	I	0,139 Aa	0,097 Ab	30,0
		C	0,107 Ab	0,101 Ab	5,7
		T	0,125 Ba	0,121 Aa	3,6
CV dietas:			19,45	15,42	
fases:			14,36	13,09	

Coefficiente de Variação.

Nas colunas médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre dietas e minúsculas não diferem entre fases dentro de cada uma das dietas (Tukey, 5%).

TABELA 14. Micronutrientes, em mg, nos afluentes e efluentes de biodigestores abastecidos com fezes de suínos nas fases inicial (I), crescimento (C) e terminação (T) alimentados com dietas contendo milho ou sorgo e porcentagens de redução de massa nos efluentes.

	Dietas	Fases	Afluente (mg)	Efluente (mg)	Redução (%)
Fe	Milho	I	29,03 Bb	4,68 Aa	83,9
		C	30,03 Bb	3,53 Ab	88,2
		T	35,57 Ba	3,49 Ab	90,2
	Sorgo	I	41,86 Aa	4,89 Aa	88,3
		C	40,44 Aa	3,07 Bc	92,4
		T	41,49 Aa	3,46 Ab	91,7
*CV dietas:			7,85	10,23	
fases:			8,12	10,96	
Mn	Milho	I	3,61 Ab	0,34 Ac	90,5
		C	4,68 Aa	0,40 Aa	91,5
		T	4,54 Aa	0,37 Bb	91,8
	Sorgo	I	3,02 Bb	0,32 Bc	89,3
		C	4,04 Ba	0,36 Bb	91,1
		T	3,97 Ba	0,39 Aa	90,1
CV dietas:			11,93	5,89	
fases:			9,42	5,53	
Zn	Milho	I	17,60 Aa	2,79 Aa	84,8
		C	7,80 Ab	2,60 Aa	66,7
		T	7,75 Ab	1,65 Ab	78,8
	Sorgo	I	5,81 Ba	2,37 Ba	59,3
		C	2,91 Bb	1,90 Bb	34,6
		T	2,78 Bb	1,21 Bc	56,5
CV dietas:			45,3	30,21	
fases:			16,48	13,06	
Cu	Milho	I	2,47 Ab	0,60 Ba	76,8
		C	2,78 Aa	0,69 Aa	76,3
		T	2,85 Aa	0,48 Ab	83,1
	Sorgo	I	1,70 Ba	0,95 Aa	44,1
		C	1,97 Ba	0,62 Ab	68,6
		T	1,71 Ba	0,44 Ac	74,3
CV dietas:			15,41	25,28	
fases:			14,72	18,12	

Coeficiente de Variação.

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre dietas e minúsculas não diferem entre fases dentro de cada uma das dietas (Tukey, 5%).

3.5. Conclusões

Os resultados obtidos no ensaio de biodigestão anaeróbia permitem concluir que:

- As maiores produções e potenciais de produção de biogás foram verificados nos biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas formuladas à base de milho na fase inicial. A produção média diária foi de 0,0088 m³ e os potenciais de produção de biogás 0,033; 0,181; 0,685; 0,788 e 1,132 m³ de biogás por kg de afluente, estrume, ST e SV adicionados e SV reduzidos, respectivamente.

- As percentagens de metano no biogás gerado de fezes de suínos alimentados com dietas contendo milho ou sorgo, variaram de 64 a 67%.

- As concentrações de nutrientes nos afluentes e efluentes dos biodigestores variaram de acordo com as dietas e fases dos suínos.

CAPÍTULO 4 - Considerações finais e implicações

O aumento crescente da população de suínos no Brasil, com a perspectiva de crescimento para os próximos anos e com a implantação de novos projetos no setor suinícola, impulsiona a adoção de métodos e técnicas de nutrição, manejo, utilização e disposição dos dejetos com o objetivo da manutenção da qualidade ambiental e maior rentabilidade na produção.

O desenvolvimento da nutrição animal utilizando conceitos modernos na formulação de rações e aplicando conhecimentos relacionados ao metabolismo e avaliação nutricional dos ingredientes, permite o fornecimento de dietas mais adequadas a cada categoria animal, o que melhora a eficiência de utilização dos nutrientes dos alimentos, resultando em melhor desempenho dos animais e menor excreção de nutrientes para o meio.

Aliado aos novos conhecimentos de nutrição busca-se menores custos com alimentação dos animais e, neste sentido, direcionam estudos e pesquisas a fim de utilizar novos processamentos de ingredientes ou a busca por alimentos alternativos. Considerando que a produção de sorgo tem aumentado significativamente nas propriedades agrícolas brasileiras, torna-se viável sua utilização na alimentação animal, uma vez que possui bom valor nutricional e pode ser substituto ao milho para animais monogástricos, tendo em vista o não comprometimento do desempenho de suínos em diferentes fases e valores similares obtidos em avaliações de digestibilidade de nutrientes.

A suinocultura intensiva é caracterizada por elevada produção de dejetos (fezes e urina) em áreas consideravelmente pequenas. A partir desta situação, surgem problemas relacionados ao bem estar dos animais criados nas granjas, das pessoas que trabalham nestes locais e a disposição destes dejetos com menor gasto de tempo, área e recursos financeiros possíveis, sem agredir o meio ambiente.

É interessante que menores quantidades de dejetos sejam geradas, tanto no que se refere a quantidade excretada pelos animais, sem contudo, prejudicar o desempenho

destes, bem como ao consumo de água para limpeza das instalações, o que agravaria o problema, devido a diluição dos dejetos e aumento de volume destes.

Quanto menor for a quantidade de fezes geradas pelos suínos de igual desempenho, menor será o coeficiente de resíduo obtido (Cr). Neste trabalho, os animais alimentados com dietas contendo sorgo geraram maior Cr, o que é um ponto negativo para as dietas formuladas com este ingrediente. Portanto, é interessante optar pelos ingredientes que resultem em menor quantidade de dejetos gerados e atentar para a excreção de nutrientes visto que estes estão estreitamente relacionados com o impacto ambiental, no que diz respeito a poluição e/ou contaminação do ar, água e solo.

Paralelamente ao elevado consumo de alimentos e geração de dejetos na atividade, está o problema relacionado ao alto consumo de energia elétrica nos diversos setores de criação. A atitude ou tecnologia que resolvesse total e concomitantemente estes três problemas seria a ideal.

O uso de biodigestores no meio rural está ligado a estes três pontos, pois a partir dos dejetos gerados, o processo de biodigestão é realizado resultando nos subprodutos biogás e biofertilizante, sendo o primeiro, fonte alternativa de energia renovável e ambientalmente correta e, o segundo, adubo que pode ser utilizado, inclusive na adubação de lavouras que fornecerão os alimentos para os próprios suínos. Neste caso ocorre a reciclagem energética e de nutrientes a partir dos próprios dejetos gerados na propriedade além da redução da carga orgânica poluente destes.

Se nos ensaios de desempenho e digestibilidade dos nutrientes apresentados, pôde-se concluir que o sorgo pode substituir o milho com ingrediente energético em rações de suínos, agora é importante avaliar os resultados da biodigestão anaeróbia. A presença de nutrientes no biofertilizante e teores de metano no biogás são similares, porém a produção e potenciais de produção destacam nos biodigestores abastecidos com fezes de suínos alimentados com dietas contendo milho. Sob o aspecto fornecimento de energia o sorgo teve mais um ponto negativo.

Na suinocultura é mais interessante e vantajosa a menor geração de dejetos e maior obtenção e utilização de biogás e metano, caso esta possua biodigestor

anaeróbio. Tais resultados são obtidos alimentando os animais com dietas formuladas com milho, pois assim haverá menor exaustão ambiental no que se refere à geração de dejetos e disposição incorreta destes e, tendo a opção de utilizar o biodigestor, haverá agregação de valores ao produto rural.

Ressalta-se que o aumento na produção de alimentos na suinocultura e no meio rural como um todo está atrelado ao desenvolvimento de novas variedades, ao melhoramento dos rebanhos, à melhoria e incremento nos manejos relacionados à nutrição vegetal e animal e à minimização dos impactos ambientais, entre outras. A responsabilidade pela implementação de técnicas voltadas à minimização de impactos ambientais e racionalização do uso de energia, utilizando a biomassa gerada na forma de resíduo, não deve ser atribuída exclusivamente ao produtor rural e sim, à ações ligadas a educação, ciência, extensão e créditos voltados à área.

Referências

ADEOLA, O. Digestion and balance techniques in pigs. In: LEWIS, A. J.; SOUTHERN, L. L. **Swine nutrition**. 2nd, ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. p. 903-916.

AGRICULTURAL ENGINEERING YEARBOOK STANDARDS. ASAE. **Manure production and characteristics**. St. Joseph, 1994. p. 552-554. (ASAE D384.1 DEC93).

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington, 1998.

ANDRIGUETTO, J. M. et al. **Nutrição animal**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1983a, v. 1, P. 71-87.

ANDRIGUETTO, J. M. et al. **Nutrição animal**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1983b, v. 2, p. 113-145.

ANUALPEC: anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Agra FNP/Instituto FNP, 2008. p. 271-285.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. ABIPECS. **Carne suína brasileira em 2007**. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/>> Acesso em: 20 ago 2008.

ATKINSON D.; WATSON, C. A. The environmental impact of intensive systems of animal production in the lowlands. **Animal Science**, v. 63, n. 3, p. 353-361, 1996.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. Ed. Ícone, São Paulo, 1993, 106 p.

BARILLI, J. **Atributos de um latossolo vermelho sob aplicação de resíduos de suínos**. 2005. 77 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

BATAGLIA, O. G. et al. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim Técnico).

BEDUSCHI, L. C. et al. **Biodigestores rurais: uma solução prática e inteligente**. Jaboticabal: FCAVJ, 1985. 12 p. Apostila.

BELLAVER, C.; LUDKE, J. V. Considerações sobre os alimentos alternativos para dietas de suínos. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DOS NEGÓCIOS DA PECUÁRIA. ENIPEC. Cuiabá. 2004.

BELLI FILHO, P. **Stockage et odeurs des dejections animals cas du lisier de porc**. 1995. 232 p. Thèse Docteur - U.F.R. École Nationale Supérieure de Chimie Rennes, Rennes-France: U.F.R., 1995.

BENINCASA, M.; ORTOLANI, A. F.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores convencionais?** 2. ed. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, 1991. 25 p. (Boletim Técnico, 8).

BORESMA, L et al. Methods for recovery of nutrients and energy from swine manure. 1. Biogas. Journal Agricultural Science. Wageningen, v. 29, p. 3-14, 1981.

BORGES, F. M. O. Utilização do sorgo em alimentos para animais de estimação. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2002, Uberlândia, MG. **Anais...**Uberlândia: CBNA, 2002. p. 39-48.

BURTON, C. H.; TURNER, C. **Manure management: treatment strategies for sustainable agriculture**. 2. ed. Silsoe: Silsoe Research Institute, 2003. 451 p.

BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: CBNA, 2002. p. 157-215.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

CAMARERO, L.; DIAZ, J. M.; ROMERO, F. Final treatments for anaerobically digested piggery slurry effluents. **Biomass and Bioenergy**., Oxford, v. 11, n. 6, p. 483-489, 1996.

CAMPOS, A. T. et al. Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p. 426-438, 2002.

CAMPOS, C. M. M. et al. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 848-856, 2005.

CARVALHO, D. C. O. Valores de energia metabolizável de amostras de milho submetidas a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2003. 1 CD-ROM.

CLANTON, C.J.; NICHOLS, D.A.; MOSER, R.L. Swine manure characterization as affected by environmental temperature, dietary level intake, and dietary fat addition. **Transactions of the ASAE**, v. 34, n. 5, p. 2164-2170, 1991.

COFFEY, M. T. An industry perspective on environmental and waste management issues: Challenge for the feed industry. In: GEORGIA NUTRITION CONFERENCE, 1992, Athens. **Proceedings...**Athens: University of Georgia, 1992. p. 144 - 148.

COLE, D. J. A.; SCHURINK, G.; KONING, W. J. Ammonia on pig buildings in the Netherlands. **Pig News and Information**, v. 17, n. 2, p. 53-56, 1996.

CONTIJO, V. P. M. et al. Substituição do milho pelo sorgo e sua suplementação com lisina e metionina em rações para suínos. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 5, n. 1, p. 83-104, 1976.

COSTA, M. S. S. M. **Caracterização de dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 2005. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

COUSINS, B. W. et al. Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghums varying in tannin concentration. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 53, n. 6, p. 1524-1537, 1981.

CROMWELL, G. L. et al. Reducing the excretion of nitrogen and phosphorus in growing and finishing pigs by dietary manipulation. In: INTERNATIONAL CONGRESS PIG VETERINARY SOCIETY, 14., 1996, Bologna. **Proceedings...**, Bologna: IPVS, 1996. p. 418.

DAGA, J. et al. Análise da adequação ambiental e manejo dos dejetos de instalações para suinocultura em propriedades na região oeste do Paraná. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 587-595, 2007.

DEAN, D. W. et al. Food-grade sorghum in diets for nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, suppl., p. 60, 2000. Abstract, 162.

DOURMAD, J. Y. et al. Nitrogen and phosphorus consumption, utilization and losses in pig production: France. **Livestock Production Science**, v. 58, n. 3, p. 199-211, 1999a.

DOURMAD, J. Y. et al. Nitrogen consumption, utilization and losses in pig production in France, the Netherlands and Denmark. **Livestock Production Science** , v. 58, n. 3, p. 261-264, 1999b.

DUODU, K. G. et al. Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal Cereal Science**, v. 38, p.117-131, 2003.

EDGEELL, K. USEPA Method Study 37 - SW - 846. Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA Contract, n. 68-03-3254, November, 1998. Disponível em: < www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf > Acesso em: nov 2008.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. Aspectos práticos do manejo de dejetos de suínos. Florianópolis: EPAGRI/EMBRAPA - CNPSA, 1995. 106 p.

ENSMINGER M. E.; OLDFIELD, J. E.; HEINEMANN, W. W. **Feeds & nutrition**. 2. ed. Clovis: The Ensminger Publishing Company, 1990. 1544 p.

FANCELLI, L. F.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária. 2000. 357 p.

FAO. Biogás Technology: a training manual for extension. In: **A system approach to biogas technology**, 1996.

FERNANDES, E. A. Utilização de grão de sorgo na nutrição de frangos de corte. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2002, Uberlândia, MG, **Anais...**Uberlândia: CBNA, 2002. p. 59-72.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. Programas e Resumos... São Carlos: UFSCar, 2000. p. 235.

FERREIRA JUNIOR, V. O Brasil como fornecedor de alimentos no mundo globalizado: situação atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2002, Uberlândia, MG, **Anais...Uberlândia**: CBNA, 2002. p. 1-4.

FIALHO, E. T.; BARBOSA, H. P. **Utilização do sorgo em rações para suínos e aves**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1992. 19 p. (Circular Técnica, 16).

FIALHO, E. T.; BARBOSA, H. P. **Alimentos alternativos para suínos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 228 p.

FIALHO, E. T.; SILVA, H. O.; CANTARELLI, V. S. Alimentos alternativos para suínos. In: FERREIRA, A. F.; VELOSO, C. M.; RECH, C. L. S. **Nutrição animal: tópicos avançados**. Itapetinga/BA: UESB, 2003. p. 35-98.

FIALHO, E. T. et al. **Manejo de resíduos da pecuária**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 67 p (Textos Acadêmicos).

FIALHO, E. T. et al. Substituição do milho pelo sorgo sem tanino em rações de leitões: digestibilidade dos nutrientes e desempenho animal. **Revista Brasileira Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 105-111, 2002.

FORESTI, E. et al. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 2, p. 29-52.

FRAGA, A. L. **Restrição alimentar qualitativa para suínos com elevado peso de abate**. 2005. 94 f. Tese (Doutorado em Zootecnia - Área de Concentração em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

GARBA, B. Effect of temperature and retention period on biogas production from lignocellulosic material. **Renewable Energy**, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 938-941, 1996.

GUIMARÃES, O. No caminho do porto. **Revista O Sulco**. p. 6-9, 2008.

HACH COMPANY. DR2010. **Spectrophotometer Handbook**, Loveland, 1991. p. 631-691.

HAMMAD, M.; BADARNEH, D.; TAHBOUB, K. Evaluating variable organic waste to produce methane. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 40, n. 13, p. 1463-1475, 1999.

HANSEN, R. W. Methane Generation from Livestock Waste. **Great Plains Beef Cattle Handbook**, College Station, p.1-4, s/d.

HARDOIM, P. C. **Efeito da temperatura de operação e da agitação mecânica na eficiência da biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos**. 1999. 88 f. Tese (Doutorado em Zootecnia - Área de Concentração em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

HESSAMI, M. A.; CHRISTENSEN, S.; GANI, R. Anaerobic digestion of household organic waste to produce biogas. **Renewable Energy**, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 954-957, 1996.

HILL, D. T.; PRINCE, T. J.; HOLMBERG, R. D. Continuously expanding digester performance using a swine waste substrate. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 28, n. 2, p. 216-221, 1985.

HONEYMAN, M. S. Waste management in pig units: The challenge and the opportunity in the U.S. In: ALTECH'S ANNUAL SYMPOSIUM BIOTECHNOLOGY IN THE FEED INDUSTRY, 11., 1992, Kentucky. **Proceedings...** Kentucky: Alltech Technical, 1992. p. 251-259.

ITODO, I. N.; AWULU, J. O. Effects os total solids concentrations of poultry, cattle and piggery waste slurries on biogas yield. **Transactions of the ASAE**, v. 42, n. 6, p. 1853-1855, 1999.

JANSMAN, A. J. M. Tannins in feedstuffs for simple-stomached animals. **Nutrition Research Reviews**, v. 6, p. 209-236, 1993.

JUNQUEIRA, O. M. O sorgo na alimentação dos suínos. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2002, Uberlândia, MG, **Anais...**Uberlândia: CBNA, 2002. p. 85-90.

KOLB, E. **Fisiologia veterinária**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 1976. v. 1, p. 569.

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

KONZEN, E. A. **Alternativas de manejo, tratamento e utilização de dejetos animal em sistemas integrados de produção**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 32 p. (Documentos, 5).

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. Cultura do milho. Fertilidade de solos. Adubação orgânica. In: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. In: SEMINÁRIO TÉCNICO DA CULTURA DO MILHO, 5., 2007, Videira. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/feroronica.htm>>. Acesso em: out 2008.

KOSARIC, N.; VELIKONJA, J. Liquid and gaseus fuels from biotechnology: challenge and opportunities. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 111-142, 1995.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. Biodigestores: avanços e retrocessos. **Suinocultura Industrial**, v. 26, n. 4, p. 14-16, 2004.

LASTELLA, G. et al. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 43, n. 1, p. 63-75, 2002.

LIMA, F. R. de et al. **Matérias primas para ração animal**. Pirassununga, 1998. 1 CD – ROM, Banco de imagens digitalizadas da USP - Pirassununga.

LIMA, G. J. M. M.; VIOLA, E. S.; NONES, K. Efeito do nível de cobre e zinco, inorgânico e quelatado, sobre a excreção desses minerais nas fezes de suínos em terminação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 9, 1999, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte: ABRAVES, 1999. p. 477- 478.

LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. 397p.

LIU, Y.; BAIDOO, S. K. **Exogenous enzymes for pig diets**: an overview. In: Enzymes in poultry and swine nutrition. 1997. Disponível em: <http://web.idrc.ca/en/ev-30967-201-1-DO_TOPIC.html> Acesso em: nov 2008.

LIU, W. T.; CHAN, O. C.; FANG, H. H. P. Microbial community dynamics during start-up of acidogenic anaerobic reactors. **Water Resource**, New York, v. 36, n. 13, p. 3203-3210, 2002.

LIZARDO, R.; PEINIAU, J.; AUMAITRE, A. Effect of sorghum tannins on growth, digestibility of diet components and activity of pancreatic and intestinal enzymes in piglets. **Journées de la Recherche Porcine en France**, v. 27, p. 209-216, 1995.

LOPES, A. B. R. C. **Silagem de grãos úmidos de sorgo com alto e baixo tanino para suínos em fase inicial**. 2004. 125 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

LOVATTO, P. A. et al. Modelagem da Ingestão, Retenção e Excreção de Nitrogênio e Fósforo pela Suinocultura Brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2348-2354, 2005 (supl.).

LUCAS JUNIOR, J. **Estudo comparativo de biodigestores modelo indiano e chinês**. 1987. 114 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1987.

LUCAS JUNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 137 f. Tese (Livre - Docência Construções Rurais) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores para o meio rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. **Palestra...** UFV: SBEA, 1995.

LUCAS JUNIOR, J.; SILVA, S. M. Aproveitamento de resíduos agrícolas para a geração de energia. In: SIMPÓSIO DE ENERGIA, AUTOMAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Palestra...** Lavras: SBEA, 1998. p. 63-135

LUCAS JUNIOR, J. et al. Produção de biogás a partir de dois tipos de esterco de suínos, fresco e pré-fermentado em esterqueira, com e sem adição de inóculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1992, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 1992. v. 1, p. 279-305.

LUSK, P. **Methane recovery from animal manures the current opportunities casebook**. Washington: Resource Development Associates. 1998, p. 2-11. (Publication: NREL/SR-580-25145).

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás**: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1986. 120 p.

MAGALHÃES , P. C.; RODRIGUES, W. A.; DURÃES, F. O. M. **Tanino no grão de sorgo**: bases fisiológicas e métodos de determinação. Sete Lagoas: EMBRAPA – CNPMS, 2000. 13 p (Circular Técnica, 27).

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

MAKKAR, H. P. S. Effect and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. **Small Ruminant Research**, v. 49, p. 241-256, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 193p.

MARCATO, S. M.; LIMA, G. J. M. M. Efeito da restrição alimentar como redutor do poder poluente dos dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 855-863, 2005.

MARQUES, B. M. F. P. P. et al. Substituição de milho por sorgo baixo tanino em dietas para suínos: digestibilidade e metabolismo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 3, p. 767-772, 2007.

MASCARENHAS, A. G. Fontes e níveis de energia digestível em rações para suínos machos inteiros de 60 a 100 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 1403-1408, 2002. Suplemento.

MATTA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S. LABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid waste. An overview of research achievements and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 3-16, 2000.

MAYNARD, L. A.; LOOSLI, J. K. **Animal nutrition**. Cornell. 1974. 550 p.

- MERKEL, J. A. **Managing livestock wastes**. Connecticut: AVI Publishing, 1981.419 p.
- MIELE, M.; MACHADO, J. S. **Levantamento sistemático da produção ao abate de suínos: 2006 e 2007**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007. 29p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 122).
- MILHO, o gigante da alimentação. **Revista Aveworld.**, Campinas, v. 6, n. 32, p. 24-30, 2008.
- MIRANDA, A. P. **Influência da temperatura e do tempo de retenção hidráulica em biodigestores alimentados com dejetos de bovinos e suínos**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005a.
- MIRANDA, A. P.; LUCAS JUNIOR, J.; AMARAL, L. A. Produção de biogás a partir de dejetos de suínos influenciada por diferentes temperaturas e tempos de retenção hidráulica In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 12., 2005, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza: ABRAVES, 2005b. v. 2, p. 508-509.
- MOREIRA, I. et al. Uso da levedura seca por "Spray-Dry" como fonte de proteína para suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 962-969, 2002. Suplemento.
- NAGAE, R.; DAMASCENO, S.; RICHARD, A. **Caracterização do dejetos de suínos em crescimento e terminação criados no sistema de lâmina d'água submetido a dois manejos de higienização**. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade?. Rio de Janeiro, ABES, 2005. p. 1-6.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. NRC. **Nutrient requirements of poultry**. 9th Rev. Edition Natl. Acad. Press, Washington, DC., 1994. 155 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. NRC. **Nutrient requirements of swine**. 10th Rev. Edition Natl. Acad. Press, Washington, DC., 1998. 189 p.

NOBLET, J.; FORTUNE, H.; DUBOIS, S. et al. **Nouvelles Bases D'Estimations Des Teneurs en Energie Digestible, Metabolisable et Nette Des Aliments Pour Le Porc**. Intitut National de La Recherche Agronomique, Paris, France, 1989.

OLIVEIRA, E.; PARIZOTTO, M. L. V. **Características e uso fertilizante do esterco de suíno**. Londrina: IAPAR, 1994. 24 p. (Circular, 83).

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1993. 188 p. (Documentos, 27).

OLIVEIRA, P. A. V. Impacto ambiental causado pelos dejetos de suínos. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS, 1994. **Anais...**, p. 27-40.

OLIVEIRA, P. A. V. Impacto ambiental causado pela suinocultura. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 5., 2003, Uberaba. **Anais...Uberaba: ABCZ/ABZ/FAZU**, 2003. p. 142-161.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p (Documentos, 115).

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. A. Efeito estufa. **Suinocultura Industrial**, v. 25, n. 7, p. 16-20, 2003.

OLIVEIRA, R. P. et al. Valor nutritivo e desempenho de leitões alimentados com rações contendo silagem de grão úmidos de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 146-156, 2004.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. **Biodigestão anaeróbia e compostagem de dejetos de suínos, com e sem separação de sólidos**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 34 p., (Boletim Técnico).

PAIN, B. F. Odour nuisance from livestock production system. In: DEWI, I. A et al. (Ed.). **Pollution in livestock production systems**. Wallingford, Institute of Grassland and Environmental Research, 1994. p. 241-263.

PAGLIAI, M.; ANTISARI, L. V. Influence of waste organic matter on soil micro and macrostructure. **Bioresource Technology**, v. 43, n. 3, p. 205-213, 1993.

PECHAR, L. Impacts of long-term changes in fishery management on the trophic level water quality in Czech fish ponds. **Fisheries Management & Ecology**. Ceske Budejovice, v. 7, n. 1/2, p. 23-31, 2000.

PEET-SCHWERING, C. Van der; JONGBLOED, A.W.; AARNINK, A. J. Nitrogen and phosphorus consumption, utilization and losses in pig production: The netherlands. **Livestock Production Science**, v. 58, n. 3, p. 213-224, 1999.

PEKAS, J. C. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 27, n. 5, p.1303-1309, 1968.

PENZ JUNIOR, A. M. Enzimas em rações de aves e suínos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...Botucatu: SBZ**, 1998. p. 165-178.

PENZ JÚNIOR, A. M. A influência da nutrição na preservação do meio ambiente. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 5., 2000, São Paulo. **Anais...**Concórdia: Embrapa-Cnpsa, 2000. p. 53-69.

PENZ JUNIOR, A. M.; MEINERZ. C. E. T.; MAGRO. N. Efeito da nutrição na quantidade e na qualidade dos dejetos de suínos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: SBZ, 1999, p. 281-294.

PERDOMO, C. C. Uso racional de dejetos suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 1996, São Paulo. **Anais...**Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1996, p. 53-69.

PERDOMO, C. C. et al. **Dimensionamento de sistemas de tratamento (decantador e lagoas) e utilização de dejetos suínos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1999, 5 p. (Comunicado Técnico, 234)

PRICE, M. L.; BUTLER, L. G. Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Davis, v. 25, p. 1268-1273, 1977.

RANTANEN, M. M. et al. Effects of novel carbohydrate sources on growth performance of nursery pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, suppl., p. 179, 1995.

RISSER, P. **Resíduos agrícolas e florestais: a biomassa como fonte de energia.** Moscou: Ed. Mir, 1985, p. 25-45.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo cert.** 2003. 214 f. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos.** Viçosa: Imprensa Universitária / UFV, 2000. 141 p.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 2. ed. Viçosa: Imprensa Universitária/UFV, 2005. 186 p.

RUIZ, R. L. et al. Microbiologia do rumem e do biodigestor. In: RUIZ, R. L. **Microbiologia zootécnica**. São Paulo: Roca, 1992. p. 124-167.

RUIZ, U. S. **Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental**. 2006. 71 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Área de Concentração em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

SANTOS, T. M. B. **Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte**. 1997. 95 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Área de Concentração em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

SANTOS, T. M. B. **Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SCALBERT, A. Antimicrobial properties of tannins. **Phytochemistry**, Oxford, v. 30, n. 12, p. 3875-3883, 1991.

SCHEUERMANN, N. G. **Utilização do sorgo em rações para frangos de corte**. Concórdia: EMBRAPA-CNPASA, 1998. 3 p. (Comunicado Técnico).

SEDIYAMA, M. A. N. et al. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, 2000.

SEGANFREDO, M. A. **A poluição por dejetos de suínos: o aspecto econômico e o direito público.** 2004. Disponível em: <www.cnpsa.embrapa.br/artigos=artigo115>. Acesso em: nov. 2008.

SHARMA, V. K. et al. Inclined-plug-flow type reactor for anaerobic digestion of semi-solid waste. **Applied Energy**, London, v. 65, n. 2, p. 173-185, 2000.

SILVA, C. A. et al. Farelo de girassol na alimentação de suínos em crescimento e terminação: Digestibilidade, desempenho e efeitos na qualidade da carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, p. 982-990, 2002. Suplemento, 2.

SILVA, D. J.; QUEIRÓZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2002. p. 57-76.

SILVA, F. M. Utilização do biogás como combustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Lavras. **Anais...**Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 96-125.

SILVA, M. S. **Biodigestão anaeróbia no saneamento rural.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 71 p (Textos Acadêmicos).

SILVA, N. A. **Construção e operação de biodigestores: modelo chinês.** EMBRATER. Brasília, 3. ed., 1989. 89 p (Manual Técnico).

SILVEIRA, P. R. S.; TALAMINI, D. J. D. A cadeia produtiva de suínos no Brasil. **Revista CFMV**, Brasília, v. 13, n. 42, p. 11-20, 2007.

SINGH, S.; SINGH, S. K. Effect of cupric nitrate on acceleration of biogas production. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 417-419, 1996.

SOUZA, C. F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. 2001. 140 f. Tese (Doutorado em Zootecnia - Área de Concentração em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SOUZA, C. F.; CAMPOS, J. A. Avaliação do tempo de retenção hidráulica, agitação e temperatura em biodigestores operando com dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 1742-1745, 2007.

SOUZA C. F.; LUCAS JÚNIOR, J.; FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – considerações sobre a partida. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 291, 2005.

SOUZA, C. F. et al. Produção volumétrica de metano - dejetos de suínos. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 219-224, 2008.

STERLING JUNIOR, M. C. et al. Effects of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy cattle manure. **Bioresource Technology**, Essex, v. 77, n. 1, p. 9-18, 2001.

STREHLER, A.; SÜTZLE, W. Biomass residues. In: Hall D. O. (Ed.). **BIOMASS: regenerable energy**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 1987.

SWEETEN, J. M.; FULHAGE, C.; HUMENIK, F. J. **Pork Industry Handbook** : methane gas from swine manure. Cooperative Extension Service, Mississippi State University, 4 p. 1986.

SWEETEN, J. M.; REDDELL, D. L. Biological Conversion and Fuel Utilization: Anaerobic Digestion for Methane Production. **Biomass Energy: A Monograph**. Texas A&M University Press, College Station, p. 76-112, 1985

TAKITANE, I. C. **Produção de dejetos e caracterização de possibilidades de aproveitamento em sistemas de produção de suínos com alta tecnologia no Estado de São Paulo**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

TEIXEIRA, V. H. **Biogás**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 93 p. (Textos Acadêmicos).

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2003. 156 p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. Overview of project activity cycle. Disponível em: <<http://unfccc.int/cdm>> Acesso em: out 2008.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. USDA. **Handbook**: agricultural waste management field handbook. Washington, 1994. 254 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Departamento de Ciências Exatas. **Estação Agroclimatológica: valores médios do período 1971 – 2000**. Disponível em <www.fcav.unesp.br>. Acesso em: ago 2008.

VALADARES FILHO, S. C.; ROCHA JUNIOR, V. R.; CAPPELLE, E. R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. Viçosa: Imprensa Universitária/UFV, 2002. 297p.

VAREL, V. H. Activity of fiber-degrading microorganisms in the pig large intestine. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 65, p. 488-496, 1987.

VAN HANDELL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: manual para regiões de clima quente. Campina Grande: epgraf, 1994, 210 p.

YADVIKA, S. et al. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 95, n. 1, p. 1-10, 2004.

WILLIAMS, P. E. V. Animal production and european pollution problems. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 53, n. 22, p. 135-144, 1995.

ZHANG, R. H.; NORTH, J. R.; DAY, D. L. Operation of a field scale anaerobic digester on a swine farm. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 6, n. 6, p. 771-776, 1990.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, 1999. 663 p.

ANEXO 1

TABELA A. Composição alimentar e nutricional das dietas utilizadas pelos suínos na fase inicial.

Ingredientes (%)	Inicial com Zn		Inicial 1		Inicial 2	
	Milho	Sorgo	Milho	Sorgo	Milho	Sorgo
Milho	48,01	-	48,41	-	64,91	-
Sorgo	-	47,60	-	48,00	-	62,28
Farelo de soja 45%	27,91	28,00	27,91	28,00	31,00	33,00
Nuklospray ⁽¹⁾	20,00	20,00	20,00	20,00	-	-
Fosfato bicálcico	1,33	1,22	1,33	1,22	1,45	1,30
Calcário calcítico	0,84	0,84	0,84	0,84	0,70	0,79
Óleo de soja	-	0,40	-	0,40	0,89	1,60
Sal comum	0,54	0,54	0,54	0,54	0,45	0,45
Suplemento vitamínico e mineral ⁽²⁾	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
L-lisina (%)	0,26	0,28	0,26	0,28	0,10	0,07
DL-metionina	0,20	0,21	0,20	0,21	-	-
BHT	0,01	0,01	0,01	0,01	-	0,01
Óxido de Zinco	0,40	0,40	-	-	-	-
Total	100	100	100	100	100	100
Valores calculados ⁽³⁾						
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3492	3490	3506	3503	3218	3221
Proteína bruta (%)	22,2	22,7	22,2	22,7	19,5	20,8
Cálcio (%)	0,73	0,71	0,73	0,71	0,72	0,72
Fósforo total (%)	0,51	0,50	0,51	0,50	0,59	0,59
Fósforo disponível (%)	0,33	0,32	0,34	0,32	0,38	0,36
Lisina total (%)	1,15	1,15	1,15	1,15	1,11	1,11
Lisina digestível (%)	1,06	1,06	1,06	1,07	1,01	1,01
Metionina total (%)	0,46	0,46	0,46	0,46	0,31	0,30
Metionina digestível (%)	0,43	0,43	0,43	0,44	0,28	0,28
Metionina + Cistina total (%)	0,72	0,72	0,73	0,72	0,63	0,62
Metionina + Cistina digestível (%)	0,66	0,66	0,67	0,66	0,57	0,55
Sódio (%)	0,23	0,23	0,23	0,23	0,20	0,20
Fibra bruta	2,34	2,61	2,35	2,62	2,80	3,22

⁽¹⁾ Níveis de garantia do produto: umidade (máx) 3,5%, proteína bruta (mín) 28,0%, extrato etéreo (mín) 20,0%, lactose (mín) 38,5%, matéria mineral (máx) 5,5%, matéria fibrosa (máx) 0,2%, energia metabolizável 5045 kcal/kg.

⁽²⁾ Níveis de garantia por kg de ração: vit. A 17500 UI, vit. D3 2500 UI, vit. E 25 mg, vit. K3 5 mg, vit. B1 2 mg, vit. B2 8 mg, vit. B6 2,5 mg, vit. B12 55 mcg, pantotenato de cálcio 30 mg, ácido fólico 1,75 mg, Biotina 0,05 mg, niacina 70 mg, ferro 240 mg, cobalto 0,625 mg, cobre 45 mg, manganês 125 mg, zinco 240 mg, iodo 0,625 mg, selênio 75. Suplemento utilizado: POLIMIX[®] (Fatec).

⁽³⁾ Composição calculada segundo ROSTAGNO et al. (2005) e níveis nutricionais indicados pelo *software* do NRC (1998).

ANEXO 2

TABELA B. Composição alimentar e nutricional das dietas utilizadas pelos suínos nas fases crescimento e terminação.

Ingredientes (%)	Crescimento 1		Crescimento 2		Terminação	
	Milho	Sorgo	Milho	Sorgo	Milho	Sorgo
Milho	68,26	-	70,70	-	76,95	-
Sorgo	-	64,88	-	68,48	-	75,25
Farelo de soja 45%	28,5	31,20	26,77	28,30	21,10	22,10
Fosfato bicálcico	1,11	0,93	0,80	0,62	0,61	0,44
Calcário calcítico	0,70	0,80	0,70	0,81	0,67	0,77
Óleo de soja	0,57	1,38	0,22	1,00	-	0,77
Sal comum	0,40	0,40	0,38	0,38	0,36	0,36
Suplemento vitamínico e mineral	0,40 ⁽¹⁾	0,40 ⁽¹⁾	0,40 ⁽¹⁾	0,40 ⁽¹⁾	0,30 ⁽²⁾	0,30 ⁽²⁾
L-lisina	0,06	0,01	0,02	-	-	-
BHT	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Total	100	100	100	100	100	100
Valores calculados ⁽³⁾						
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3228	3230	3225	3227	3236	3235
Proteína bruta (%)	18,6	20,1	18,0	19,1	15,9	17,0
Cálcio (%)	0,63	0,63	0,55	0,55	0,48	0,48
Fósforo total (%)	0,52	0,52	0,46	0,46	0,41	0,41
Fósforo disponível (%)	0,31	0,29	0,25	0,23	0,21	0,19
Lisina total (%)	1,01	1,00	0,93	0,92	0,77	0,76
Lisina digestível (%)	0,90	0,90	0,84	0,83	0,68	0,68
Metionina total (%)	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25
Metionina digestível (%)	0,27	0,27	0,26	0,26	0,24	0,23
Metionina + Cistina total (%)	0,61	0,60	0,59	0,58	0,54	0,52
Metionina + Cistina digestível (%)	0,55	0,54	0,54	0,51	0,49	0,46
Sódio (%)	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16
Fibra bruta	2,72	3,18	2,67	3,11	2,47	2,93

⁽¹⁾ Níveis de garantia por kg de ração: vit. A 14000 UI, vit. D3 2000 UI, vit. E 20 mg, vit. K3 4 mg, vit. B1 1,6 mg, vit. B2 6,4 mg, vit. B6 2,0 mg, vit. B12 44 mcg, pantotenato de cálcio 24 mg, ácido fólico 1,4 mg, biotina 0,04 mg, niacina 56, ferro 192 mg, cobalto 0,5 mg, cobre 36 mg, manganês 100 mg, zinco 192 mg, iodo 0,5 mg, selênio 0,3.

⁽²⁾ Níveis de garantia por kg de ração: vit. A 10500 UI, vit. D3 1500 UI, vit. E 15 mg, vit. K3 3 mg, vit. B1 1,2 mg, vit. B2 4,8 mg, vit. B6 1,5 mg, vit. B12 33 mcg, pantotenato de cálcio 18 mg, ácido fólico 1,05 mg, biotina 0,03 mg, niacina 42, ferro 144 mg, cobalto 0,375 mg, cobre 27 mg, manganês 75 mg, zinco 144 mg, iodo 0,375 mg, selênio 0,225. Suplemento utilizado: POLIMIX® (Fatec).

⁽³⁾ Composição calculada segundo ROSTAGNO et al. (2005) e níveis nutricionais indicados pelo *software* do NRC (1998).