



**FRANCINE APARECIDA SOUSA**

**ANÁLISE DE FATORES AMBIENTAIS NA  
CRIAÇÃO DE SUÍNOS EM CAMAS  
SOBREPOSTAS E PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

**LAVRAS - MG**

**2014**

**FRANCINE APARECIDA SOUSA**

**ANÁLISE DE FATORES AMBIENTAIS NA CRIAÇÃO DE  
SUÍNOS EM CAMAS SOBREPOSTAS E PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutora.

Orientador

Dr. Alessandro Torres Campos

Co-orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

**LAVRAS - MG  
2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Sousa, Francine Aparecida.

Análise de fatores ambientais na criação de suínos em camas  
sobrepostas e produção de biogás / Francine Aparecida Sousa. –  
Lavras : UFLA, 2014.

125 p.: il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Alessandro Torres Campos.

Bibliografia.

1. Biodigestão anaeróbia. 2. Suíno - Instalações. 3. Conforto  
térmico. 4. Gases. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.4

**ANÁLISE DE FATORES AMBIENTAIS NA CRIAÇÃO DE SUÍNOS EM  
CAMAS SOBREPOSTAS E PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 16 de abril de 2014.

Dra. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco	UFV
Dr. Ronaldo Fia	UFLA
Dr. Rony Antônio Ferreira	UFLA
Dr. Tadayuki Yanagi Junior	UFLA

  
Dr. Alessandro Torres Campos  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2013**

*DEDICO*

*A Deus, pelo dom da vida, esperança, bênção e proteção;  
Aos meus pais, Francisco e Neusa, que me ensinaram os primeiros passos com  
sabedoria, me mostraram o caminho da honestidade, do caráter e da  
humildade;  
A minha irmã, e ao João Victor, por estarem presentes em todos os momentos  
alegres e tristes que passamos.*

*Minha mãe - in memoriam*

*Mãe, minha querida: foste exemplo para nós em todos os momentos de  
tua existência! Contigo tive as melhores lições de doação, alegria, respeito,  
compaixão, solidariedade, tolerância, misericórdia, enfim, o que é viver  
dignamente. Contigo aprendi sobretudo o valor do trabalho!*

*Um dia nos encontraremos, seremos felizes de novo! Onde estiver que  
estejas bem! O amor é um sentimento forte...*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade de realização do doutorado;

Ao professor Alessandro Torres Campos, pela orientação, dedicação, incentivo, confiança, amizade e, principalmente, pela compreensão das dificuldades que passei para poder iniciar meu Doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro que possibilitou a execução da pesquisa;

Ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais do *Campus* de Rio Pomba - MG, por ceder as instalações para a pesquisa;

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia da UFLA;

Ao meu amigo e parceiro de experimento, Pedro Ivo Sodré Amaral, pela valiosa colaboração na coleta de campo e análises estatísticas;

Às meninas do laboratório, Maria Alice, Michelle, Ana Flávia, Ana Cláudia, Luíza, Maria Augusta e Rosicler, pela grande ajuda na coleta e preparo das amostras;

À Jacqueline Cardoso Ferreira e Alessandro Vieira Veloso, por montar e auxiliar na condução dos protótipos de biodigestores laboratoriais;

Às amigas, mais que especiais, Jaqueline de Oliveira Castro, Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz, Daiane Cecchin e Regina Vilas Boas, por fazerem com que meu dia se tornasse mais leve, mais descontraído e menos nublado pela ausência da minha família.

Às amigas, Danielle Cristina Fonseca Santos Graziotti e Roseli Aparecida dos Santos, por estarem ao meu lado no momento mais difícil da minha vida.

Ao Celso e Gisele, companheiros de casa, por contribuírem para que esta jornada fosse mais descontraída.

Aos amigos e pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, gostaria de expressar minha profunda gratidão.

“O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim, esquentada e esfria, aperta e depois afrouxa, aquieta e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem. O que Deus quer é ver a gente aprendendo a ser capaz de ficar alegre e amar, no meio da alegria. E ainda mais no meio da tristeza. Todo o caminho da gente é resvaloso, mas cair não prejudica demais, a gente levanta, a gente sobe, a gente volta”.

(João Guimarães Rosa em “Grande Sertão Veredas”, 1956).

## RESUMO

Os objetivos do presente trabalho foram: avaliar a qualidade do ar, por meio das concentrações de gases; o ambiente térmico, acústico e as temperaturas superficiais e no interior de diferentes materiais de cama sobreposta, em instalações para terminação de suínos; avaliar a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia e a produção de biogás proveniente de cama sobreposta de suínos em fase de terminação, em biodigestores de bancada. Compararam-se três tratamentos: cama sobreposta composta por maravalha+bagaço de cana “M+B”, cama sobreposta composta por bagaço de cana “BAG” e cama sobreposta composta por maravalha “MAR”. O conforto térmico foi avaliado por meio do Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), da Carga Térmica de Radiação (CTR) e entalpia (h) do ambiente. Foi calculado também o nível médio de ruídos (em dB). Foram feitas medições das concentrações instantâneas de amônia (NH<sub>3</sub>, ppm), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>, ppm) e monóxido de carbono (CO, ppm) ao nível dos animais. Foram utilizados protótipos de 12 biodigestores laboratoriais de batelada, confeccionados em recipiente plástico e PVC. Para cada tratamento, foi avaliado o potencial poluidor do efluente, por meio de parâmetros físico-químicos (pH, DBOt, DQOt e ST). Foi quantificada a produção de biogás a fim de se verificar o potencial energético da cama sobreposta de suínos. Os maiores valores de ITGU ocorreram para o tratamento

“M+B” na maioria dos horários em relação aos demais tratamentos. Os menores valores de ITGU foram observados ao início da manhã e ao final da tarde. Já os maiores valores ocorreram entre 11 e 15 horas. Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os valores de entalpia. Os maiores valores de ruídos foram observados no tratamento “MAR”, à despeita de que, para todos os tratamentos, seus níveis não ultrapassaram os limites recomendados pela norma (NR-15). Observou-se que a cama “MAR” foi a que apresentou o maior valor médio de concentração de amônia, de 2,88 ppm. A cama “BAG” apresentou os menores valores de amônia em todos os horários avaliados, com o período da manhã apresentando diferença significativa em relação às outras camas. O maior valor de concentração de CO<sub>2</sub> (1530 ppm) ocorreu no tratamento com cama “BAG”, às 11 horas e 30 min. As temperaturas superficiais das camas sobrepostas não apresentaram diferenças significativas entre os pontos de coleta. A temperatura no interior das camas na parte da frontal da baia foi superior no tratamento “M+B”, quando comparada ao tratamento “BAG” e

“MAR”. Observou-se que, o tratamento “MAR” apresentou maiores valores de redução de ST (56,44%). A eficiência de remoção de DQOt para a cama “M+B” foi de 66,04%, já a cama “MAR” apresentou redução de 30,80% de



DQOt. O tratamento que recebeu cama “M+B” apresentou os maiores resultados de produção média de biogás semanal (5,1 dm<sup>3</sup> de biogás), com produção média acumulada de 127 dm<sup>3</sup> de biogás. O tratamento que recebeu cama “MAR” apresentou valores de produção média acumulada de 43,2 dm<sup>3</sup> de biogás. A concentração dos gases CO, CO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> mensurados não atingiram níveis que possam causar danos à saúde dos animais. Com este estudo, foi possível concluir que o uso de biodigestores é interessante para promover o pós-tratamento (tratamento complementar ou finalização do tratamento) do efluente, obtendo-se, ainda, produção de energia na forma de biogás, que pode ser convertida em eletricidade, aumentando a sustentabilidade da granja.

**Palavras-chave:** Ambiência, biodigestão anaeróbia, biodigestores, construções rurais, instalações para suínos, bem estar, conforto térmico, gases.

## ABSTRACT

This article seeks to assess the air quality through gas concentration; thermal and acoustic environment; surface and internal temperatures of the materials used in the swine's beds in lodge for finishing phase of swine. This swine's beds stay over the concrete. The experiment was conducted during June and July months. So, the aim of this work was to evaluate the efficiency of the anaerobic digestion and the biogas production from the swine's beds in the finishing phase using bench biodigesters. Three treatments were compared: swine's beds made of wood shavings + sugarcane bagasse ("M+B"), made of sugarcane bagasse ("BAG") and of wood shavings "MAR". Thermal comfort was evaluated by the Black Globe Temperature and Humidity Index (BGTHI), the Thermal Heat Load (THL) and the environment enthalpy (h). The average noise level (dB) was also calculated. Measurements of instantaneous concentrations of ammonia, ( $\text{NH}_3$ , ppm), carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ , ppm) and carbon monoxide (CO, ppm) were made according at the level of the animals. This study used 12 prototypes of batch laboratory biodigesters, made of plastic and PVC. For each treatment, it was evaluated the pollution potential of effluents through physico-chemical parameters (pH, DBOT, DQOt and ST). Biogas production was quantified in order to determine the energy potential of the bed of swine. The major values of BGTHI occurred in the treatment "M+B" mostly when compared to other treatments. The lowest values of BGTHI were observed in the early morning and late afternoon. The major values occurred between 11:00 am to 3:00 pm. There wasn't significant difference between treatments for the enthalpy values. The highest noise values were observed in the treatment "MAR", however, the level of noise all others treatments not exceeded the recommended limits by the standard (NR-15). It was observed that the "MAR" bed presented 2.88 ppm, the highest average value of ammonia concentration. The "BAG" bed presented the lowest values of ammonia during all the period evaluated. There was a difference in the ammonia concentration between the beds during the morning. The major concentrations of  $\text{CO}_2$  (1530 ppm) were observed in the "BAG" treatment at 11:30 am. The bed surface doesn't presented difference between the collected points. The internal temperature of the beds was highest in the "M+B" bed than in the "BAG" and "MAR" treatments. It was observed that the "MAR" treatment presented the major values of reduction of ST (56.44%). The removal efficiency of DQOt was 66.04% in "M+B" bed and 30.80% in "MAR" bed. The treatment with "M+B" bed showed the highest average weekly production of biogas ( $5.1 \text{ dm}^3$  biogas) with cumulative average production of  $127 \text{ dm}^3$  biogas. The treatment with "MAR" bed presented  $43.2 \text{ dm}^3$  as cumulative average values of biogas. The

concentration of CO, CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> didn't reach levels to cause damage to animal health. With this study, it was concluded that the use of biodigesters is interesting to promote the post-treatment (or complementary treatment or finalization of treatment) of the effluent. Also it is possible to obtain energy in the biogas form, which can be converted into electricity, increasing the sustainability of the farm.

**Keywords:** Ambience, anaerobic digestion, biodigesters, rural buildings, lodge for finishing phase of swine, swine's bed, wellness, thermal comfort, gases.

## LISTA DE FIGURAS

### PARTE 2 - ARTIGOS

#### ARTIGO 1

- Figura 1 Instalações: baias compostas por cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR)..**Erro! Indicador não definido.**63
- Figura 2 Posição dos aparelhos de coleta nas baias compostas por:  
1 - cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B),  
2 - cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e 3 - cama sobreposta de maravalha (MAR) .....64
- Figura 3 Valores de mediana para o nível de ruído encontrado nos diferentes horários (a. 09:00, b.11:30, c. 14:00 e d. 16:30) em baias compostas por três materiais de cama sobreposta distintos. Cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).. ..... 72

#### ARTIGO 2

- Figura 1 Posição dos aparelhos de coleta nas baias compostas por: 1 - cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), 2 - cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e 3 - cama sobreposta de maravalha (MAR)... .....88
- Figura 2 Coleta da temperatura no interior da cama (A) e temperatura superficial (B) das camas sobrepostas de suínos .....90
- Figura 3 Variação da temperatura superficial e de profundidade da cama de acordo com os horários de coleta e o material de origem. <sup>1</sup>Cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).....97

#### ARTIGO 3

- Figura 1 Protótipo de biodigestor modelo batelada utilizado no processo de biodigestão anaeróbia e produção de biogás .....**Erro! Indicador não definido.**9
- Figura 2 Valores de pH das camas sobreposta de suínos, compostas por maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR) antes e após tratamento em biodigestor modelo batelada**Erro! Indicador não definido.**14
- Figura 3 Valores de DBO das camas sobreposta de suínos, compostas por maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR) antes e após tratamento em biodigestor modelo batelada.. ..... 115
- Figura 4 Valores de DQO das camas sobreposta de suínos, compostas por maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR) antes e após tratamento em biodigestor modelo batelada.**Erro! Indicador não definido.**16
- Figura 5 Produção de biogás, por semana, para cada material de cama avaliado em biodigestor modelo batelada. Maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR) .....**Erro! Indicador não definido.**7
- Figura 6 Produção de biogás acumulada, para cada material de cama avaliado em biodigestor modelo batelada. Maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR).....**Erro! Indicador não definido.**8

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

- Tabela 1 Resultados do Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), Entalpia e Carga Térmica Radiante (CTR) em relação ao material de cama das baias e os horários de coleta, em uma unidade de terminação para suínos..... 68
- Tabela 2 Medianas do intervalo de confiança (IC=95%) para os ruídos (dB) em relação ao material de cama das baias e os horários de coleta, em uma unidade de terminação para suínos**Erro! Indicador não definido.**73

### ARTIGO 2

- Tabela 1 Concentrações de Amônia (NH<sub>3</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e monóxido de carbono (CO), em ppm, para cada material de cama e horários de coleta, em uma unidade de terminação para suínos..... 91
- Tabela 2 Temperatura superficial para três materiais de cama em três pontos distintos de coleta, (P1 parte frontal da baia, P2 centro da baia (intermediário) e P3 fundo da baia)..... 95
- Tabela 3 Temperatura no interior da cama para três materiais de cama em três pontos de coleta distintos, (P1 parte de frente da baia, P2 centro da baia (intermediário) e P3 fundo da baia) ..... 96

### ARTIGO 3

- Tabela 1 Eficiência de redução de cada parâmetro físico-químico avaliado em relação à entrada e saída dos biodigestores, em porcentagem (%). .....**Erro! Indicador não definido.**12

## SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO.....	14
2REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1Suinocultura e o ambiente de criação .....	17
2.2 Ambiência térmica, acústica e aérea nas instalações.....	18
2.2.1 Ambiência térmica.....	19
2.2.2 Ambiência acústica (ruídos).....	22
2.2.3 Ambiência aérea (gases).....	24
2.3 Sistema de criação de suínos em cama sobreposta.....	26
2.4 Tratamentos de dejetos de suínos.....	29
2.4.1 Biodigestão anaeróbia.....	33
2.4.2 Biodigestores.....	34
2.4.3 Produção de biogás.....	36
PARTE 2 – ARTIGOS .....	58
ARTIGO 1 Ambiente termoacústico em instalação para suínos com diferentes materiais de cama sobreposta.....	59
ARTIGO 2 Ambiência aérea e temperatura da cama sobreposta em instalação para suínos.....	82
ARTIGO 3 Produção de Biogás Proveniente de Cama Sobrepostas de Suínos.....	104

## PARTE 1

### 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor e exportador de carne suína, estando, desta forma, em uma posição de destaque no cenário mundial. O consumo interno gerou um aumento do consumo per capita de 11,6 em 2005 para 15,2 kg habitante<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em 2012 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA - ABIPECS, 2013).

A suinocultura, nas últimas décadas, apresenta-se extremamente intensiva e desempenha importante papel social e econômico, porém, ainda é classificada como uma atividade com baixa qualidade ambiental, devido ao elevado poder poluente dos dejetos, representando uma fonte poluidora do ar, da água e do solo.

Cada vez mais, reflexos ambientais estão sendo sentidos em função do alto potencial poluidor gerado pelos dejetos, além das condições térmicas que têm constituído um desafio na produção de suínos devido às constantes mudanças climáticas.

A suinocultura brasileira, deste modo, tem entre seus desafios, propiciar aos animais condições de conforto térmico que possibilite a maximização da produtividade. Sob situações ambientais que causam estresse, pode haver uma piora no desempenho dos suínos. Os fatores ambientais, como o ambiente térmico e as instalações onde os animais são alojados, têm atualmente passado por desafios, ao exercerem efeitos diretos e indiretos em todas as fases de produção.

A criação intensiva de suínos na fase de terminação, adotada pela maioria dos produtores, dá-se em edificações com piso de concreto, nas quais o manejo dos dejetos ocorre na forma líquida. Essas águas residuárias são conduzidas para



unidades de tratamento, a exemplo das esterqueiras e, ou, lagoas de estabilização (SANTOS et al., 2007). Entretanto, Palhares et al. (2002) constataram que a eficiência do manejo dos efluentes suinícolas que, em sua maioria, se processa na forma líquida nas instalações, tem sido questionada em relação ao grau de contaminação encontrado em rios e solos em regiões onde se concentram sistemas de produção intensiva.

Nesse contexto, o grande desafio dos suinocultores é a busca pela sustentabilidade, nas regiões de produção intensiva, pois de um lado existe a pressão pela concentração de animais em pequenas áreas de produção e pelo aumento da produtividade e, que esse aumento não afete o meio ambiente (OLIVEIRA, 2001).

Portanto, é necessário desenvolver alternativas que reduzam os problemas e dificuldades relacionadas e, nesse sentido, o sistema de produção de suínos em cama sobreposta, para as fases de crescimento e terminação, se mostra interessante em substituição aos sistemas convencionais de criação.

O sistema de cama sobreposta pode reduzir os impactos ambientais da suinocultura e, ao mesmo tempo, gerar um produto que pode ser utilizado como adubo orgânico (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2004). Com os dejetos na forma sólida, dentro das próprias edificações, os problemas ambientais poderão ser superados e, ao mesmo tempo, o produto final poderá ser utilizado como biofertilizante, promovendo, assim, reciclagem dos nutrientes e maior equilíbrio do sistema (ROSSI, 2003).

De acordo com Konzen (2003), a cama sobreposta de suíno é um resíduo que apresenta composição bastante similar à cama de aviário. Assim, pode-se inferir que a cama de suíno, além de representar uma fonte de nutrientes para o solo e para as culturas, também apresenta potencial de produção de biogás.

Nas condições proporcionadas pela criação em cama sobreposta, os animais dispõem de ambiente enriquecido para atividades tais como fuçar

substrato, deslocar-se e optar por sua preferência de localização na área. Suínos criados em baias providas de cama tendem a ter menor ocorrência de interações agonísticas com companheiros, o que é associado a um bem-estar melhorado, comparados aos animais mantidos em sistemas convencionais sem enriquecimento ambiental. Nesse sistema a exploração dos animais é mais direcionada ao substrato, apresentando variáveis comportamentais associadas com bem-estar positivo.

Dessa forma, sistemas de manejo e tratamento que favoreçam a redução do potencial poluidor dos resíduos e permitam a geração de produtos que podem ser aproveitados como adubo orgânico e energia renovável, podem garantir a sobrevivência, bem como a sustentabilidade energética e ambiental da suinocultura nas zonas intensivas de produção.

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar sistemas de produção de suínos em camas sobrepostas compostas por dois diferentes materiais, bagaço de cana e maravalha, nos aspectos: ambiente aéreo e acústico; da redução do potencial poluidor e da produção de biogás com a cama sobreposta.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Suinocultura e o ambiente de criação**

A suinocultura brasileira tem se mostrado bastante competitiva no comércio mundial. A adaptação do país às novas tendências de mercado garante a sobrevivência deste na era globalizada (MAIA et al., 2013). No Brasil predomina o sistema de confinamento intensivo com o objetivo de otimizar o desempenho econômico e produtivo (BAPTISTA; BERTANI; BARBOSA, 2011). A expansão da produção se deu pela intensificação do processo de criação dos animais (DEMORI et al., 2012).

A criação de suínos no Brasil encontra desafios climáticos que podem interferir na produtividade. As altas temperaturas ambientais, característica do clima tropical, fazem com que o suíno, com seu sistema pouco eficiente de termorregulação, tenha dificuldade em manter sua homeotermia, provocando redução no desempenho produtivo e diminuição da resistência imunológica (SAMPAIO et al., 2007; TINÔCO et al., 2007).

O ambiente inadequado à sobrevivência, principalmente no que se refere às altas temperaturas, é ainda considerado como portador de fatores de risco às doenças respiratórias, que trazem muitos prejuízos à suinocultura brasileira (SARUBBI, 2005). De acordo com Sobestiansky et al. (2001), a rinite e a pneumonia provocadas por condições ambientais adversas causam prejuízos econômicos significativos aos produtores, pois nem sempre são percebidas, devido à cronicidade destas doenças.

O ambiente de criação animal pode ser avaliado sob diferentes enfoques. Um deles se refere à qualidade do ar disponível nas proximidades dos animais e a avaliação dos poluentes presentes que podem ser inalados e eventualmente, causar danos à saúde humana e animal. Em unidades de confinamento de

animais, os riscos de contaminação por agentes físicos, químicos e biológicos estão sempre presentes e causam efeitos negativos sobre os animais e trabalhadores (SAMPAIO; NÄÄS; SALGADO, 2006).

A conscientização sobre aspectos relacionados ao bem-estar animal e à necessidade de redução de geração de resíduos e de minimizar os impactos ambientais, aliada ao interesse em oportunidades de comercialização em nichos de mercado, contribuíram para o interesse em sistemas alternativos de produção (CORDEIRO et al., 2007), dentre eles, se destaca a criação de suínos em cama sobreposta.

## **2.2 Ambiência térmica, acústica e aérea nas instalações**

Variáveis ambientais como temperatura, umidade relativa, ventilação e radiação solar são importantes indicadores da qualidade do ambiente para o animal, por serem agentes estressores e que podem afetar o metabolismo (SILVA et al., 2007).

Embora os fatores ambientais, representados, principalmente, pelos térmicos, tenham sido identificados por afetar diretamente o desempenho dos animais, deve-se dar atenção também à qualidade do ar (ambiência aérea) no interior das instalações (SAMPAIO et al., 2007; VIGODERIS et al., 2010) e à ambiência acústica (SAMPAIO et al., 2007; SAMPAIO; NÄÄS; NADER, 2005).

A qualidade do ar em ambientes de produção animal vem sendo referenciada como ponto de interesse em estudos de sistema de controle ambiental, focando tanto a saúde dos animais que vivem em total confinamento, quanto à dos trabalhadores que permanecem de quatro a oito horas por dia nesse ambiente de trabalho (NÄÄS et al., 2007).

Os animais em regime de confinamento liberam diretamente para o ar: calor, umidade, dióxido de carbono proveniente do consumo de oxigênio, gases da digestão e poeira. Indiretamente, outros produtos provenientes dos excrementos são liberados para o ar, tais como: calor, umidade, gases da digestão aeróbia e anaeróbia de dejetos (dióxido de carbono, amônia e sulfeto de hidrogênio) (SILVEIRA et al., 2009).

Outro parâmetro importante no que se refere ao ambiente de criação animal é o nível de ruídos. É importante destacar que os animais vocalizam em várias situações e sua expressão vocal é citada como padrão de reconhecimento de estado de bem-estar, frustração ou sofrimento. A vocalização mostra potencial de ser utilizada para aferir as condições em que o animal está exposto (TOLON et al., 2010). Destaca-se ainda que a exposição aos ruídos em instalações de animais pode causar perda auditiva nos trabalhadores expostos a este tipo de agente (SAMPAIO; NÄÄS; NADER, 2005).

É fato que o setor de produção animal tem alcançado grande desenvolvimento nos últimos anos, inovações nas áreas da genética, nutrição e sanidade estão sendo introduzidas (TINÔCO et al., 2007). Portanto, no âmbito da produção animal, é importante considerar a interação destes fatores ao ambiente de produção.

### **2.2.1 Ambiência térmica**

A suinocultura brasileira busca proporcionar aos animais bem-estar e conforto térmico, juntamente com a preservação ambiental (TINÔCO et al., 2007). Em condições tropicais, o desconforto térmico é frequente, constituindo-se ainda em um dos principais problemas da moderna suinocultura, sobretudo nas demandas para exportação (SILVA et al., 2007).

A identificação das variáveis climáticas que influenciam diretamente no desempenho do animal na forma de estresse térmico, é preponderante para o desenvolvimento e execução de medidas atenuantes de tais limitantes à produção e, conseqüentemente, ao sucesso econômico (BARNETT et al., 2001; BLOEMHOF et al., 2008; NAZARENO et al., 2012; VERÍSSIMO et al., 2009). Tem-se verificado que, em situações de altas temperaturas ambientais, o desempenho de suínos tem sido afetado consideravelmente (KIEFER et al., 2009; ROCHA et al., 2012).

Com a utilização do sistema de criação confinada, a perda energética dos animais é menor, no entanto, as condições de conforto e bem-estar podem ser prejudicadas, já que a condição imposta restringe muitas vezes o comportamento natural dos animais afetando, ainda, o desempenho produtivo e reprodutivo (NAZARENO et al., 2009; PANDORFI et al., 2007; PANDORFI; SILVA; PIEDADE, 2008).

Os suínos se desenvolvem melhor quando submetidos a temperaturas termoneutras, de acordo com a categoria animal. Apesar de vários estudos terem sido realizados acerca da avaliação das condições do ambiente térmico sobre o conforto e bem-estar dos animais, a literatura apresenta diversos valores de referência diferentes. O manual da genética de suínos (AGROCERES PIC, 2008), por exemplo, apresenta os seguintes valores para suínos na fase de crescimento: 18 °C a 25 °C, temperatura ideal, 15 °C como crítica frio limite e 26 °C como o calor crítico limite. Para Kiefer et al. (2010), a temperatura ideal para suínos em terminação varia de 18 a 23°C. Para suínos em fase de terminação (dos 60 aos 100 kg), Sampaio et al. (2004) limitam a zona de termoneutralidade entre 15 e 21°C. Entretanto, é consenso que suínos em crescimento e terminação são mais sujeitos aos efeitos do estresse térmico, sobretudo em relação às elevadas temperaturas na maioria das regiões brasileiras (FIALHO; OST; OLIVEIRA, 2001).

O ambiente térmico no interior das instalações para suínos tem importância vital para o sucesso da atividade suinícola. Esse ambiente pode ser avaliado pelo Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), que inclui a temperatura (Tar), a umidade relativa (UR) e a velocidade do ar (v) (VIEIRA et al., 2010), sendo a combinação Tar - UR a principal condicionante para o conforto térmico (SOUZA et al., 2010).

Buffington et al. (1981) complementam que o Índice de Temperatura do Globo e Umidade incorpora os efeitos combinados de temperatura, umidade e velocidade do ar e radiação para avaliar o conforto e o desconforto dos animais em determinado ambiente. Esse é considerado por vários autores como o índice que melhor caracteriza o ambiente térmico do animal. Para seu cálculo, é necessário o valor da temperatura de globo negro, obtida por meio de um termômetro situado no centro de uma esfera oca de cobre, com diâmetro de 15 cm e espessura de 0,5 mm, pintada externamente com tinta preta fosca (ABREU, 1998).

Diversos trabalhos têm empregado o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU) para avaliação e classificação do ambiente térmico (ABREU et al., 2007; MENEGALI et al., 2009; NAZARENO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2006).

Para alguns pesquisadores, como Sampaio (2004), o ambiente térmico de uma instalação é melhor avaliado por meio do emprego de índices de conforto térmico. Silva e Sevegnani (2001) expõem que o mais importante nas instalações é diminuir o balanço de energia entre o animal e o meio, até um limite de otimização, sendo a carga térmica radiante (CTR) um dos principais componentes do balanço energético de um animal e, sua avaliação é fundamental no estudo da definição do meio ambiente. A CTR, proposta por Esmay (1969), expressa a radiação total recebida de todos os espaços ou partes da vizinhança.

Na avaliação do conforto térmico, Rossi et al. (2012) consideram a entalpia, energia de ar úmido por unidade de massa de ar seco, como a propriedade mais útil na quantificação de processos psicrométricos que envolvem trocas térmicas.

A entalpia é a variável física que indica a quantidade de energia (expressa em  $\text{kJ kg}^{-1}$  de ar seco), contida em uma mistura de vapor d'água. Portanto, na mudança de temperatura para umidade relativa constante, ou vice-versa, há alteração de energia envolvida no processo, afetando a troca térmica. Um animal criado sob elevados valores de temperatura gasta maior quantidade de energia para ajustar seu metabolismo e temperatura corporal, o que pode levá-lo a uma considerável queda na produção. Corroborando, Albright (1990) considera a entalpia como a melhor forma de se avaliar o nível de conforto térmico, uma vez que essa quantifica a energia do ar, que é a combinação entre as condições de temperatura e umidade relativa.

### **2.2.2 Ambiência acústica (ruídos)**

Informações sobre ruídos e seus efeitos no bem-estar do animal e do trabalhador em sistemas de produção intensiva são escassas e, uma visão do ambiente de trabalho, facilita a compreensão das dificuldades, desconfortos, insatisfações e a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais (SAMPAIO et al., 2007; SAMPAIO; NÄÄS; NADER, 2005).

Outra característica importante na avaliação do ruído ambiente ou da vocalização animal é o fato de que sua alteração ou medida pode representar uma ferramenta significativa para se avaliar as condições de bem-estar animal. A vocalização é a geração ativa de sons com o uso de órgãos específicos que se constitui na expressão de determinado estado do animal que possa ocorrer



espontaneamente ou ser o resultado de um evento externo. Técnicas modernas de análise de ruídos permitem a discriminação, análise e classificação de vocalização ou ruído específico sendo, portanto, um interessante indicativo das condições de bem-estar de alojamento de um grupo ou de um indivíduo, em particular (SILVA et al., 2007).

Os registros e os estudos do nível de ruídos de um grupo de animais vêm ganhando espaço (SILVA-MIRANDA et al., 2012). Destaca-se o nível de ruídos na avaliação do grupo de animais, cujos dados são expressos na escala de decibéis. Porém, trabalhos avaliando os níveis de ruídos emitidos por leitões foram conduzidos em ambiente de produção intensiva, nos quais não conseguiram controlar as condições do ambiente térmico (BORGES et al., 2010; SAMPAIO et al., 2007; SAMPAIO; NÄÄS; NADER, 2005; SILVA et al., 2007).

O ruído pode ser facilmente medido com o auxílio de decibelímetros (BORGES, 2008; TOLON et al., 2010). Esse nível pode variar de acordo com as situações ambientais às quais os animais são submetidos, podendo indicar a qualidade de vida dos mesmos (SAMPALIO et al., 2007; NÄÄS et al., 2008; TOLON et al., 2010).

O potencial de danos à audição devido a um dado ruído depende do seu nível e de sua duração. Os limites de tolerância relacionados aos níveis máximos de pressão sonora permitidos e a duração de tempo para cada nível, segundo Brasil (1978), estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Limites de nível de pressão sonora (NPS).

<b>Nível de pressão sonora dB (A)</b>	<b>Tempo de máxima exposição diária permissível</b>
85	8 horas
90	4 horas
95	2 horas
100	1 hora
105, 110 e 115*	30, 15 e 7 minutos, respectivamente

\* Pela legislação brasileira, não é permitida exposição a níveis de ruído acima de 115 db (A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos.

Fonte: Brasil (1978).

### 2.2.3 Ambiência aérea (gases)

De acordo com Campos et al. (2009), Silveira et al. (2009) e Tolon et al. (2010), os gases mais importantes gerados em confinamento de animais são amônia, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio.

A exposição frequente e acima do tolerável aos referidos gases presentes no ambiente aéreo das edificações suínolas são fatores de risco que favorecem a incidência de enfermidades respiratórias nos trabalhadores e nos próprios animais (MOURA et al., 2010; NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH - NIOSH, 2011).

As principais normas relacionadas à avaliação qualitativa e quantitativa de gás são as NR-17 (atividades insalubres e Operações / Portaria 3.214/1978, CIGR - Commission Internationale du Gene Rural e ACGIH - Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (SAMPAIO; NÄÄS; NADER, 2005).

A NR-15 define o limite de tolerância como sendo a concentração ou intensidade máxima ou mínima relacionada à natureza ou tempo de exposição ao

agente, que não causará danos à saúde do trabalhador durante a sua vida laboral (BRASIL, 1978).

As trocas de ar inadequadas aumentam as concentrações de partículas de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e amônia (NH<sub>3</sub>) no interior das instalações, diminuindo as concentrações de oxigênio (O<sub>2</sub>) favorecendo, assim, a incidência de problemas nos animais (ALENCAR et al., 2004; OWADA et al., 2007). Os poluentes aéreos, quando alteram as características ideais do ar, favorecem o aumento da susceptibilidade a doenças respiratórias e prejuízos no processo produtivo (ALENCAR et al., 2004; NÄÄS et al., 2007).

Em relação à amônia, a Commission Internationale du Génie Rural - CIGR (1994) recomenda a concentração máxima de 20 ppm no nível dos animais. No Brasil, a NR-15 (BRASIL, 1978) regula exposições de trabalhadores a agentes agressivos especificando que a concentração média de amônia durante a jornada de trabalho diária de oito horas deve ser no máximo de 20 ppm, não devendo exceder 30 ppm. Entretanto, exposição à concentração acima de 6 ppm leva à irritação nas mucosas, a 400 ppm leva à irritação nas vias aéreas superiores, podendo ser letal quando atinge 10.000 ppm. Também é um gás associado à redução do apetite, além de causar problemas respiratórios e letalidade aos trabalhadores que atuam na atividade e aos animais (PAULO et al., 2009; SAMPAIO et al., 2007).

Segundo American Conference of Government Industrial Hygienists - ACGIH (2001), o dióxido de carbono tem o limite de exposição ocupacional de 5.000 ppm, enquanto a NR-15 (BRASIL, 1978) define como sendo de 3.900 ppm o limite de tolerância máxima.

A produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por animais está diretamente relacionada à sua produção de calor, sendo essa função do seu peso corporal e do seu ambiente térmico (CAMPOS et al., 2009). Estudos realizados com o

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e monóxido de carbono (CO) evidenciam que, a partir de certos limites de concentração (3.000 ppm de CO<sub>2</sub> e 10 ppm de CO), esses gases afetam a saúde dos suínos (NADER et al., 2002).

As taxas de emissão de gases variam amplamente entre diferentes instalações e dentro da mesma instalação. Zhang (2002) complementou que, independente do sistema adotado, há normalmente a formação de diversos gases no interior das instalações, podendo ser nocivos e até letais, dependendo de suas concentrações.

### **2.3 Sistema de criação de suínos em cama sobreposta**

A criação de suínos em cama sobreposta tem como princípio a substituição do piso convencional (ripado ou lâmina de água) por uma cama de aproximadamente 50 cm de profundidade, constituída por material rico em carbono, tal como a maravalha, casca-de-arroz ou palhadas de resíduos culturais (CORRÊA; PERDOMO; JACONDINO, 2000; GENTRY et al., 2002). Essa cama desempenha a dupla função de piso e digestor dos dejetos, que são retidos, armazenados e estabilizados dentro da própria instalação, manejados em estado sólido e tratados mediante o processo de compostagem, com a presença dos animais (CORRÊA; PERDOMO; JACONDINO, 2000; HENTZ et al., 2008).

O uso de camas sobrepostas sobre o piso como alternativa ao tradicional piso de concreto vem-se tornando mais comum na criação de suínos nas fases de crescimento e terminação, por proporcionar melhor qualidade ambiental para os animais, evitar a utilização de lagoas para tratamento de dejetos, além de buscar minimizar a produção de gases dentro das instalações (PAULO et al., 2009).

As maiores vantagens do sistema são a eliminação das lavagens regulares dos pisos e a conversão do manejo dos dejetos da fase líquida para a sólida, concentrando os nutrientes e reduzindo os riscos de acidentes. Outra vantagem

que pode ser ressaltada é a redução de 30 a 50% nos custos de construção das instalações, devido à eliminação das canaletas, pisos e esterqueiras (HIGARASHI et al., 2008).

A criação de suínos em cama sobreposta proporciona aos animais desempenho satisfatório, garantindo que os mesmos alcancem o peso de abate rapidamente, como no sistema confinado convencional (GUIMARÃES et al., 2011).

De acordo com Oliveira, Daípra e Konzen (2004), este sistema se distingue dos demais por alojar suínos em baias com dimensões maiores do que no sistema confinado industrial, onde os animais permanecem sobre um leito composto por substrato. Devem-se considerar as produções de calor geradas pelo binômio “animal + cama” (CORDEIRO et al., 2007).

Lay Junior, Haussmann e Daniels (2001) observaram que suínos terminados sobre cama apresentaram menos comportamentos anormais, brincam mais, e apresentam menor quantidade de lesões nas pernas que os terminados em sistema de confinamento sobre piso de concreto. Machado Filho et al. (2001) observaram que a presença de palha na baia de suínos de 10 semanas de idade provocou uma redução no comportamento de fuçar e morder os companheiros de baia.

No Brasil, foi demonstrado que medidas rigorosas de controle sanitário sobre os animais alojados em sistemas de cama sobreposta, permitem a obtenção de bons resultados mesmo com a realização da troca anual das camas (OLIVEIRA; NUNES, 2002). No decorrer deste período, são gastos mais 10 a 20% de substrato para se realizar a adição estratégica ou substituição parcial das camas nas áreas de maior saturação.

A adição de cama nova deverá ser realizada retirando-se parte da cama existente já decomposta, com coloração marrom escura ou quando se encontrar saturado pela água (OLIVEIRA; NUNES, 2002). Observa-se que o composto

gerado no sistema de produção em cama sobreposta apresenta uma concentração alta de nutrientes quando comparado ao sistema de piso (OLIVEIRA et al., 2001).

Nesse sistema de produção, os dejetos se acumulam no material utilizado como cama e são expostos à ação de microrganismos, responsáveis por transformações biológicas, físicas e químicas que ali acontecem, o que determina o nível de estabilização do composto (CORRÊA et al., 2008, 2009).

Na medida em que as ações dos microrganismos se intensificam, ocorrem reações exotérmicas em virtude da decomposição da fração leve da matéria orgânica; alguns dias depois, a temperatura aumenta gradativamente podendo atingir valores superiores a 65°C, quando prevalecem microrganismos termófilos (BARTELS, 2001; TANG; KANAMORI; INOUE, 2004).

A absorção dos dejetos pelas camas, aliada ao revolvimento promovido pela movimentação dos próprios animais, desencadeia o processo de fermentação aeróbia, característico da compostagem de resíduos orgânicos (HIGARASHI et al., 2008).

Diversos materiais podem ser utilizados como cama, por exemplo, casca de arroz, maravalha, bagaço de cana, entre outros, e devem ser manejados adequadamente para prevenir a proliferação de insetos e para controlar o nível de umidade e amônia, a produção de poeira e a exposição a agentes transmissores de doenças (HERNANDES; CAZETTA; MORAES, 2002). Segundo Kelleher et al. (2002), a composição da cama, somada aos dejetos, é predominantemente de água e carbono, com menores quantidades de nitrogênio e fósforo e leves traços de cloro, cálcio, magnésio, sódio, manganês, ferro, cobre, zinco e arsênico.

Estudos que venham a qualificar e quantificar o microambiente térmico e de gases gerado sobre as camas feitas a partir de diferentes materiais, onde os animais são criados, são fundamentais para o fornecimento de informações que

subsidiarão técnicos e produtores na escolha dos materiais que proporcionem melhores condições de conforto e de sanidade, tanto para os animais confinados, quanto para os funcionários a granja, que trabalham diariamente nas instalações.

#### **2.4 Tratamentos de dejetos de suínos**

Os dejetos suínos, compostos basicamente pelas fezes e urina do animal, misturados à água de lavagem dos galpões, a água desperdiçada nos bebedouros e restos de ração desperdiçada dos comedouros possuem grande potencial poluidor (SORENSEN; AMATO, 2002). Isso ocorre devido à sua elevada carga orgânica, das altas concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, sódio, presença de sólidos em suspensão e dissolvidos e metais pesados, principalmente cobre e zinco que são importantes componentes do suplemento dietético das rações (FUKUMOTO; HAGA, 2004). Uma variedade de substâncias inorgânicas também está presente na urina e fezes de suínos (HANAJIMA et al., 2007; KUNZ et al., 2009).

As características dos dejetos podem apresentar variações em função da fisiologia do animal e da composição das rações. A quantidade de resíduos produzida depende muito do peso, da idade dos animais, quantidade de animais e, principalmente, da quantidade de água gasta na higienização das baias (LANSING; BOTERO; MARTIN, 2010). Segundo Costa et al. (2000), durante a sua vida, um animal produz em média, cerca de 8,6 litros de esterco líquido por dia. Já para Nogueira e Silva (2006), cada animal produz em média 10 litros de dejetos líquidos por dia.

Os dejetos de suínos podem, quando bem manejados, constituir-se em alternativa econômica, sem comprometimento da qualidade ambiental,

permitindo o aproveitamento integral dos dejetos, dentro das condições estabelecidas em cada propriedade (ANGONESE et al., 2006).

Nas últimas décadas, pesquisas têm sido conduzidas na busca por alternativas para o aproveitamento de dejetos suíno na forma de adubo orgânico e de vermicomposto ou, simplesmente, aplicando-o em solos improdutivos (ZHU et al., 2007).

O aproveitamento destes resíduos na propriedade é um fator de extrema importância, tendo em vista o seu potencial poluente, fertilizante e capacidade de promover melhorias na qualidade do solo (GONZÁLEZ-FERNANDEZ et al., 2008; LORIA et al., 2007). Sendo assim, o tratamento e reaproveitamento dos dejetos suínos devem ser sistematizados de maneira a minimizar a poluição ambiental, e, ainda, agregar valor ao resíduo gerado (GONZÁLEZ-FERNANDEZ et al., 2011).

Neste sentido, o grande desafio é o desenvolvimento de processos que viabilizem sistemas capazes de reduzir ou minimizar o poder poluente da atividade (AXAOPOULOS et al., 2003). Andara et al. (2009) complementam que é necessário adotar métodos e técnicas para manejar, estocar, tratar, utilizar e dispor os resíduos, dentro do sistema de produção, com o objetivo da manutenção da qualidade ambiental, reutilização dos resíduos em outros sistemas agrícolas e maior rentabilidade na produção.

No que se refere ao produtor, esse necessita de sistemas de produção capazes de minimizar os desperdícios de água nos bebedouros e na higienização das baias, de ração nos comedouros, e, além desses fatores, que sejam capazes de estabelecer tratamento, distribuição e utilização dos dejetos suínos (BORTONE, 2009).

As estratégias para o tratamento de resíduos da suinocultura são baseadas em vários tipos de processos físicos, químicos e biológicos que são capazes de



reduzir o potencial poluidor desses resíduos e convertê-los em produtos como o adubo orgânico, o biogás e em créditos de carbono (KUNZ et al., 2009).

Um dos sistemas de tratamento de dejetos líquidos de suínos são as lagoas de estabilização em série (FANGUEIRO et al., 2008), que além de constituir-se na forma mais simples de tratamento de dejetos, também é uma alternativa de baixo custo, fácil implantação e elevada eficiência na redução dos impactos ambientais gerados por dejetos suínos (JASPER; BIAGGIONI; LOPES, 2007). Sistemas de lagoas em série reduzem fortemente a carga orgânica, uma vez que cada lagoa apresenta características e funções distintas (DIAZ et al., 2010). Essa alternativa foi adotada por grande parcela dos produtores desde a intensificação da fiscalização por parte dos órgãos competentes. Entretanto, sistemas de lagoas em série, apesar de permitirem o reaproveitamento do efluente como biofertilizante, demandam grandes extensões de área, constituem-se em sistema aberto para a atmosfera, para onde vão os gases produzidos, e não permite sua recuperação energética.

Outra alternativa que permite o tratamento dos resíduos e, ao mesmo tempo, a geração de energia renovável, é a tecnologia de biodigestão anaeróbia de resíduos oriundos da biomassa, particularmente, pela implantação de biodigestores (ESPERANCINI et al., 2007). Estes dispositivos possibilitam a produção de dois produtos valiosos, ou seja, o biogás e o biofertilizante, que podem ser aproveitados, nas próprias unidades de produção, como fonte de energia e adubo orgânico, respectivamente (HOLM-NIELSEN; AL SEADI; OLESKOWICZ-POPIEL, 2009).

Os sistemas de tratamento biológico, criteriosamente projetados e operados, removem, de maneira satisfatória, constituintes indesejáveis, para lançar na água, tais como, matéria orgânica biodegradável, sólidos em suspensão e organismos patogênicos; além de propiciar a retenção de elementos nutrientes,

o que contribui, favoravelmente, para a aplicação do efluente na fertirrigação (FLESCH et al., 2011).

Vários modelos de biodigestores utilizados para a estabilização de resíduos têm sido desenvolvidos e adaptados, visando aumentar tanto a eficiência dos sistemas, quanto a redução de custos dos equipamentos (KUNZ et al., 2009).

Os biodigestores são estruturas físicas que facilitam a digestão anaeróbia proporcionando um ambiente anaeróbico favorável aos microrganismos responsáveis por esta digestão (LANSING; BOTERO; MARTIN, 2008). Dentro destas estruturas, as bactérias fermentam a matéria orgânica sob condições estritamente anaeróbias, isto é, sem a presença de oxigênio, e produzem o biogás (LANSING; BOTERO; MARTIN, 2010).

Florentino (2003) complementa que os biodigestores são câmaras que realizam a fermentação anaeróbia da matéria orgânica produzindo biogás e biofertilizante. Basicamente, os biodigestores podem ser de fluxo contínuo (modelos indiano, chinês, de fluxo tubular e UASB) e do tipo batelada.

Os biodigestores do tipo batelada são alimentados de uma só vez e são mantidos fechados por um período capaz de a matéria orgânica dos resíduos ser fermentada, para então, serem descarregados. Trata-se de um sistema simples com pequenas necessidades operacionais (FLORENTINO, 2003).

Já os biodigestores de fluxo contínuo (modelos indiano, chinês e canadense) constituem opção interessante para a utilização de diferentes resíduos orgânicos de origem animal e, ou, vegetal, e requerem alimentação contínua, isto é, necessitam de carga diária destes resíduos (FLORENTINO, 2003).

### 2.4.1 Biodigestão anaeróbia

A tecnologia de digestão ou biodigestão anaeróbia é conhecida há séculos em todo o mundo, mas, só recentemente, o estudo e aplicação desta tecnologia para produção de energia renovável têm despertado o interesse de diversos setores da sociedade (WU et al., 2010).

A biodigestão anaeróbia consiste na degradação da matéria orgânica em meio anaeróbio, no qual vários microrganismos interagem, promovendo a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos simples, principalmente nos gases metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (ORRICO JUNIOR, 2007). Permite a redução das demandas química e bioquímica de oxigênio e de sólidos (totais e voláteis), tornando os nutrientes mais disponíveis para as plantas (CÔTE; MASSE; QUESSY, 2006; ORRICO; LUCAS JÚNIOR; ORRICO JÚNIOR, 2007; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS, 2009).

A biodigestão anaeróbia é a fermentação, com ausência de oxigênio, de dejetos animais, plantas e resíduos sólidos (domésticos e urbanos) por meio de bactérias anaeróbias e metanogênicas, que sintetizam a matéria orgânica, transformando-a em metano e dióxido de carbono, principais componentes do biogás (CHEN; CHENG; CREAMERA, 2008; MAHMOOD et al., 2008; MARCOS et al., 2010).

A digestão anaeróbia tem sido usada como alternativa para a remoção de altas concentrações de matéria orgânica presente em muitos tipos de resíduos (NIELSEN; ANGELIDAKI, 2008). É considerada um método eficiente no tratamento dos dejetos, pois estabiliza a matéria orgânica, reduz o número de microrganismos patogênicos, melhora as propriedades fertilizantes dos dejetos além de produzir o biogás, que é uma fonte alternativa de energia (ORRICO JÚNIOR et al., 2012).

Como todo processo biológico, a biodigestão anaeróbia depende de diversos fatores, entre eles podem ser citados a temperatura, o pH, o uso de inóculo, os teores de sólidos totais e a composição do material (ALVAREZ; LIDÉN, 2008; MASSÉ et al., 2008).

O aproveitamento dos dejetos sob a forma de biogás (metano) é apenas uma das vantagens da biodigestão anaeróbia, podendo ser citados a redução de odores, redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a produção de biofertilizante (HOLM-NIELSEN; AL SEADI; OLESKOWICZ-POPIEL, 2009). Os sistemas de biodigestão anaeróbia apresentam custos operacionais e de investimento relativamente baixos e possibilidade de sistemas descentralizados de tratamento de dejetos (OLIVEIRA; DAÍPRA; KONZEN, 2004).

A digestão anaeróbia representa uma alternativa para o tratamento de resíduos, que seriam descartados incorretamente, aumentando a poluição ambiental, contaminação dos solos e das águas subterrâneas e de superfície (AMARAL et al., 2004; NISHIMURA, 2009; PORTES; FLORENTINO, 2005).

#### **2.4.2 Biodigestores**

Os biodigestores são equipamentos utilizados na biodigestão anaeróbia, em que ocorre a reação entre o material orgânico (dejetos bovinos, suínos, aves, entre outros) e microrganismos anaeróbios, ou seja, que vivem na ausência de oxigênio, resultando na produção de biogás e biofertilizantes (DALMAZO; BAZI; OLIVEIRA, 2009; LANSING; BOTERO; MARTIN, 2008; SIMON et al., 2006).

O uso de biodigestores na produção animal é visto como importante ferramenta, pois, além de promover o tratamento dos resíduos, retorna ao sistema produtivo parte da energia que seria perdida, por meio do biogás

(ORRICO; LUCAS JÚNIOR; ORRICO JÚNIOR, 2007; SANTOS; LUCAS JÚNIOR; SILVA, 2007; SILVA; BUZETTI; LAZARINI, 2005).

Dentro do biodigestor anaeróbio, como o próprio nome indica, ocorre a biodigestão anaeróbia, que nada mais é do que um processo de degradação, transformação ou decomposição de matéria orgânica, tendo como produto final o biogás e o biofertilizante (FONSECA et al., 2009; SOUZA; LUCAS JÚNIOR; FERREIRA, 2005).

Como resultado ocorre a liberação de biogás e a produção de biofertilizante. É possível, portanto, definir biodigestor como um equipamento destinado a reservar a biomassa e seu produto: o biogás (BLEY JÚNIOR et al., 2009; DOTTO; WOLFF, 2012; FLORENTINO, 2003).

No sistema de biodigestor batelada, a matéria-prima é colocada no biorreator fechado, para que seja realizada a biodigestão anaeróbica. Os dejetos são colocados de uma só vez e mantidos pelo período de produção do gás. O gás produzido é armazenado no próprio recipiente que serve de digestor ou em um gasômetro acoplado ao mesmo. Terminada a produção de biogás, o digestor é aberto, retirando finalmente seus resíduos. Após a sua limpeza, é colocada nova quantidade de substrato, reiniciando o processo (COMASTRI FILHO, 1981; FLORENTINO, 2003).

Os biodigestores operados em batelada caracterizam-se por serem alimentados de uma só vez e são de construção mais simples em relação aos de fluxo contínuo; podem ser recomendados para resíduos que contenham restos de palhas e areia, e podem ser úteis para a obtenção de parâmetros de dimensionamento (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010). Desta forma, este modelo de biodigestor se adequa ao manejo de resíduo cujo fornecimento não é diário, e sim sazonal, como ocorre com camas de aviários ou de criação de suínos em camas sobrepostas.

Sem deixar de lado a grande contribuição ambiental do tratamento de dejetos, tem-se destacado no processo da biodigestão a produção de um combustível alternativo (biogás), principalmente tendo em conta a crise energética que vem atravessando o Brasil, no qual se busca utilizar toda energia produzida a baixo custo e passível de ser aproveitada para geração de eletricidade (AVELLAR; COELHO; ALVES, 2002).

### **2.4.3 Produção de biogás**

Biogás é o produto oriundo da digestão anaeróbia dos dejetos de suínos em um biodigestor, constituído por uma mistura gasosa combustível, composta principalmente por dois gases, o metano ( $\text{CH}_4$ ), que normalmente representa de 60 a 70% da mistura, e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que representa de 30 a 40% (COLDEBELLA et al., 2008; LANSING; BOTERO; MARTIN, 2008; PERET, 2008; RYCKEBOSH; DROUILAN; VERVAEREN, 2011; STARR et al., 2012). Outros gases também participam da mistura, mas em proporções bem menores, como 3,4% de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), 0,5% de oxigênio ( $\text{O}_2$ ), traços de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e de ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (GALBIATTI et al., 2010; PRADO; CAMPOS, 2008; PRADO; CAMPOS; SILVA, 2010; WEISS et al., 2009).

O metano é um gás altamente combustível e inflamável, produzindo chama azul-clara e queimando com baixo nível de poluição. Ele é um gás incolor, sendo um dos produtos finais da fermentação anaeróbia de dejetos animais e humanos, resíduos vegetais e lixo em geral, em condições adequadas de umidade e anaerobiose. A qualidade do biogás depende da quantidade de metano na mistura, ou seja, quanto maior for a quantidade de metano, melhor

será o biogás em termos energéticos (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008; WEISS et al., 2009).

Em virtude das suas características de fácil obtenção e transporte, o biogás pode ser queimado diretamente em queimadores estacionários, não necessitando de purificação e armazenagem, o que viabiliza sua utilização em equipamentos rurais e urbanos, após simples adaptações (SANTOS, 2001).

O biogás é uma fonte de energia renovável e que pode ser armazenada no meio rural para fins de aplicações de aquecimento de ambiente e cozimento. Relatos do uso de biodigestores para produção de biogás na América Latina (POGGIO et al., 2009) indicam que as aplicações auxiliam na autossustentabilidade energética e econômica (melhor produtividade dos cultivos com adubo orgânico) das comunidade rurais, além dos aspectos agroecológicos e benefícios ambientais e sanitários.

A produção de biogás por meio de biodigestão anaeróbia representa um avanço para equacionar o problema dos dejetos produzidos pelos animais e da indisponibilidade de energia no meio rural (CERVI et al., 2010). Moller, Sommer e Ahring (2003) estudando a produtividade de metano a partir de vários tipos de dejetos, encontraram a produção de 356 L kg<sup>-1</sup> de sólidos voláteis para dejetos de leitões e 275 L kg<sup>-1</sup> de sólidos voláteis para dejetos de porcas.

Gonçalves Júnior et al. (2009) e Holm-Nielsen, Al Seadi e Oleskowicz-Popiel (2009) estimaram que as fontes alternativas de energia provenientes da biomassa devem movimentar expressivos volumes de recursos nas transações agrícolas internacionais.

Devido à grande disponibilidade de efluentes e o caráter renovável dos materiais orgânicos e bactérias necessários para a síntese de biogás, esta é uma fonte de energia potencialmente eficaz e sustentável. Diaz et al. (2011) relatam que os produtores rurais em todo o mundo têm investido em biodigestores para a produção de pequenas quantidades de biogás a partir de resíduos orgânicos

gerados nos processos agroindustriais, principalmente os resíduos provenientes dos animais.

### **3 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Um desafio na suinocultura brasileira é proporcionar aos animais bem-estar e conforto térmico associados à preservação ambiental. O ambiente térmico no interior das instalações para suínos tem importância vital para o sucesso da atividade suinícola.

O uso de camas sobrepostas sobre o piso como alternativa ao tradicional piso de concreto vem se tornando uma prática constante na criação de suínos nas fases de crescimento e terminação, por proporcionar melhor qualidade ambiental para os animais, evitar a utilização de lagoas para tratamento de dejetos, além de buscar minimizar a produção de gases dentro das instalações.

A complementação do tratamento da cama sobreposta de suínos por meio de biodigestores, além de promover o tratamento dos resíduos, retorna ao sistema produtivo parte da energia que seria perdida, por meio do biogás.

Assim, trabalhos que venham a avaliar o conforto térmico proporcionado aos animais com a utilização de diferentes matérias de cama sobreposta de suínos e sua posterior utilização na produção de biogás são muito importantes para a suinocultura moderna.



## REFERÊNCIAS

ABREU, P. G. **Sistemas de aquecimento em piso, com resistência elétrica, para criação de aves**. 1998. 105 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

ABREU, P. G. et al. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p. 1014-1020, ago. 2007.

AGROCERES PIC. **Guia de manejo de fêmeas**. 2. ed. São Paulo, 2008. 31 p. Disponível em: <<http://www.agroceresplic.com.br/servlet/navSrv?cmd=detNot&id=284&idcat=17>>. Acesso em: 10 ago. 2008.

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1990. 453 p.

ALENCAR, M. C. B. et al. Respiratory risks in broiler production workers. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 23-29, 2004.

ALVAREZ, R.; LIDÉN, G. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 726-734, 2008.

AMARAL, C. C. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, nov./dez. 2004.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENT INDUSTRIAL HYGIENISTS. **TLVs and BEIs**: threshold limit values for chemical substances and biological exposure indices. Cincinnati, 2001. 185 p.

ANDARA, A. R. et al. Kinetic study of the anaerobic digestion of the solid fraction of piggery slurries. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 17, n. 5, p. 435-443, Nov. 1999.

ANGONESE, A. R. et al. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **Relatório 2013**. Disponível em: <[http://www.abipecs.com.br/relatorio\\_2012.pdf](http://www.abipecs.com.br/relatorio_2012.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2013.

AVELLAR, L. H. N.; COELHO, S. T.; ALVES, J. W. Geração de eletricidade com biogás de esgoto: uma realidade, geração de eletricidade a partir do biogás produzido no tratamento de esgotos. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, n. 29, p. 120-122, abr. 2002.

AXAOPOULOS, P. et al. Energy and economic analysis of biogas heated livestock buildings. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 24, n. 3, p. 239-248, Mar. 2003.

BAPTISTA, R. I. A. A.; BERTANI, G. R.; BARBOSA, C. N. Indicadores do bem-estar em suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 10, p. 1823-1830, out. 2011.

BARNETT, J. L. et al. A review of the welfare issues for sows and piglets in relation to housing. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 52, n. 1, p. 1-28, Mar. 2001.

BARTELS, H. Criação de suíno sobre cama. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Mossoró, v. 2, n. 2, p. 16-21, 2001.

BLEY JÚNIOR, B. et al. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2. ed. Foz do Iguaçu: FAO, 2009. 125 p.

BLOEMHOF, S. et al. Sow line differences in heat stress tolerance expressed in reproductive performance traits. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, n. 15, p. 3330-3337, Aug. 2008.

BORGES, G. **Utilização da pressão sonora (ruído) como indicativo de bem-estar animal na produção industrial de suínos**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz", Piracicaba, 2008.

BORGES, G. et al. Uso da geoestatística para avaliar a captação automática dos níveis de pressão sonora em instalações de creche para suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 377-385, 2010.

BORTONE, G. Integrated anaerobic/aerobic biological treatment for intensive swine production. **Bioresource Technology**, Essex, v. 110, n. 22, p. 5424-5430, Nov. 2009.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria nº 3.214**, de 8 de junho de 1978. Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho - NR-15: atividades e operações insalubres. Brasília, 1978. Disponível em: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2011.

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 24, p. 711-714, 1981.

CAMPOS, J. A. et al. Qualidade do ar, ambiente térmico e desempenho de suínos criados em creches com dimensões diferentes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 339-347, jul./set. 2009.

CERVI, R. G. et al. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 831-844, 2010.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMERA, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 10, p. 4044-4064, Oct. 2008.

COLDEBELLA, A. et al. Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Informe GEPEC**, Toledo, v. 12, n. 2, p. 44-55, 2008.

COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás: independência energética do pantanal Matogrossense**. Corumbá: EMBRAPA, 1981. 53 p. (Circular Técnica, 9).

COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL. **Aerial environment in animal housing: concentrations in and emissions from farm buildings**. Dublin, 1994. 116 p.

CORDEIRO, M. B. et al. Efeito de sistemas de criação no conforto térmico ambiente e no desempenho produtivo de suínos na primavera. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 5, p. 1597-1602, set./out. 2007.

CORRÊA, E. K. et al. Chemical and microbiological characteristics of rice husk bedding having distinct depths and used for growing-finishing swine. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 21, p. 5318-5322, 2009.

CORRÊA, E. K. et al. Efeito de diferentes profundidades de cama sobre parâmetros ambientais para suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 540-545, set./out. 2008.

CORRÊA, E. K.; PERDOMO, C. C.; JACONDINO, I. F. Condicionamento ambiental e desempenho de suínos em crescimento e terminação criados sobre

piso com leito de cama. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 2072-2079, nov./dez. 2000.

COSTA, F. S. et al. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 2049-2053, 2000.

CÔTE, C.; MASSE, D. I.; QUESSY, S. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. **Bioresource Technology**, Essex, v. 97, n. 4, p. 686-691, Mar. 2006.

DALMAZO, G. S.; BAZI, S. M.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Biodigestores. In: MIRANDA, C. R. de (Org.). **Dia de campo: suinocultura e meio ambiente: termo de ajuste de condutas da suinocultura**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2009. p. 29-33.

DEMORI, A. B. et al. Criação intensiva de suínos em confinamento ou ao ar livre: estudo meta-analítico do desempenho zootécnico nas fases de crescimento e terminação e avaliação de carcaça e carne no *Longissimus dorsi*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1294-1299, jul. 2012.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogás from waste and renewable resources: an introduction**. Weinheim: Verlag GmbH, 2008. 472 p.

DIAZ, I. et al. Effect of oxygen dosing point and mixing on the microaerobic removal of hydrogen sulphide in sludge digesters. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 4, p. 3768-3775, Feb. 2011.

DIAZ, I. et al. Performance evaluation of oxygen, air and nitrate for the microaerobic removal of hydrogen sulphide in biogas from sludge digestion. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 20, p. 7724-7730, Oct. 2010.

DOTTO, R. B.; WOLFF, D. B. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. **Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. 2<sup>nd</sup> ed. Westport: AVI, 1969. 325 p.

ESPERANCINI, M. S. T. et al. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 110-118, 2007.

FANGUEIRO, D. et al. Cattle slurry treatment by screw press separation and chemically enhanced settling: effect on greenhouse gas emissions after land spreading and grass yield. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 15, p. 7132-7142, Oct. 2008.

FIALHO, E. T.; OST, P. R.; OLIVEIRA, V. Interações ambiente e nutrição estratégias nutricionais para ambientes quentes e seus efeitos sobre o desempenho e características de carcaça de suínos. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE SUÍNA, 2., 2001, Concórdia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA, 2001. p. 366-374.

FLESCHE, T. K. et al. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 9, p. 3927-3935, Oct. 2011.

FLORENTINO, H. O. Mathematical tool to size rural digesters. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 185-190, 2003.

FONSECA, F. S. T. et al. Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas, MA: um estudo de caso. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 2009, Porto Alegre. **Anais...** São Luís: UEMA, 2009. p. 1-19.

FUKUMOTO, Y.; HAGA, K. Advanced treatment of swine wastewater by electro dialysis with a tubular ion exchange membrane. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 75, n. 5, p. 479-485, 2004.

GALBIATTI, J. A. et al. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 432-437, 2010.

GENTRY, J. G. et al. Alternative housing systems for pigs: influences on growth, composition, and pork quality. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 3, p. 1781-1790, Mar. 2002.

GONÇALVES JUNIOR, C. A. et al. Um estudo das deliberações da câmara setorial do açúcar e do álcool, usando análise de correspondência. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 47, n. 1, p. 183-210, 2009.

GONZALEZ-FERNANDEZ, C. et al. Different pretreatments for increasing the anaerobic biodegradability in swine manure. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 18, p. 8710-8714, Dec. 2008.

GONZALEZ-FERNANDEZ, C. et al. Nitrogen transformations under different conditions in open ponds by means of microalgae-bacteria consortium treating pig slurry. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 2, p. 960-966, Jan. 2011.

GUIMARÃES, G. G. et al. Desempenho de suínos de dois cruzamentos de linhagens comerciais criados em cama sobreposta. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 60, n. 229, p. 11-18, 2011.

HANAJIMA, D. et al. Effect of aeration in reducing phytotoxicity in anaerobic digestion liquor of swine manure. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 78, n. 4, p. 433-439, 2007.

HENTZ, P. et al. Utilização de cama sobreposta de suínos e sobressemeadura de leguminosas para aumento da produção e qualidade de pastagem natural. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 9, p. 1537-1545, set. 2008.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J. O.; MORAES, V. M. B. de. Frações nitrogenadas, glicídicas e amônia liberada pela cama de frangos de corte em diferentes densidades e tempos de confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 1795-1802, jul./ago. 2002.

HIGARASHI, M. M. et al. Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 311-317, maio/jun. 2008.

HOLM-NIELSEN, J. B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 100, n. 22, p. 5478-5484, 2009.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; LOPES, A. B. C. Análise de custo de dois sistemas naturais de tratamento de água residuária na suinocultura. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 112-124, 2007.

KELLEHER, B. P. et al. Advances in poultry litter disposal technology: a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 83, n. 1, p. 27-36, May 2002.

KIEFER, C. et al. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 58, n. 221, p. 55-64, 2009.

KIEFER, C. et al. Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 11, n. 2, p. 496-504, 2010.

KONZEN, E. A. Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves. In: SEMINÁRIO TÉCNICO DA CULTURA DO MILHO, 5., 2003, Videira. **Anais...** Videira: EMBRAPA, 2003. 1 CD-ROM.

KUNZ, A. et al. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 22, p. 5485-5489, Nov. 2009.



LANSING, S.; BOTERO, R. B.; MARTIN, J. F. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 99, n. 13, p. 5881-5890, 2008.

LANSING, S.; BOTERO, R. B.; MARTIN, J. F. Wastewater transformations and fertilizer value when co-digesting differing ratios of swine manure and used cooking grease in low-cost digesters. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 99, n. 13, p. 5881-5890, 2010.

LAY JUNIOR, D. C.; HAUSSMANN, M. F.; DANIELS, M. J. Sistemas de terminação “deep-bedding”: cama sobreposta. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE SUÍNA, 2., 2001, Concórdia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2001. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/darmialemos1/1-conferencia-qualidcarnesuina>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

LORIA, E. R. et al. Use of anerobically digested swine manure as nitrogen source in corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 4, p. 1119-1129, 2007.

MACHADO FILHO, L. C. P. et al. Produção agroecológica de suínos: uma alternativa sustentável para a pequena propriedade. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE SUÍNA, 2., 2001, Concórdia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2001. Disponível em: <<http://www.freewebs.com/hotzel/Suino%20Organico%202001.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

MAHMOOD, Q. et al. Effect of pH on anoxic sulfide oxidizing reactor performance. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 8, p. 3291-3296, 2008.

MAIA, A. P. de A. et al. Enriquecimento ambiental como medida para o bem-estar positivo de suínos: revisão. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia**, Cascavel, v. 14, n. 14, p. 2862-2877, 2013.

MARCOS, A. et al. Combustible gas production (methane) and biodegradation of solid and liquid mixtures of meat industry wastes. **Applied Energy**, Oxford, v. 87, n. 5, p. 1729-1735, 2010.

MASSÉ, D. I. et al. Psychrophilic anaerobic digestion biotechnology for swine mortality disposal. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 3, p. 7307-7311, 2008.

MENEGALI, I. et al. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 984-990, 2009. Suplemento.

MOLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass Bioenergy**, Oxford, v. 26, n. 3, p. 485-495, 2003.

MOURA, D. J. et al. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, p. 311-316, 2010. Suplemento especial.

NÄÄS, I. A. et al. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 326-334, 2007.

NÄÄS, I. A. et al. Uso das redes neurais artificiais na identificação de vocalização de suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 204-216, abr./jun. 2008.

NADER, A. S. et al. Avaliação da qualidade do ar em creche de suínos. In: SEMINÁRIO POLUENTES AÉREOS E RUÍDOS EM INSTALAÇÕES PARA PRODUÇÃO DE ANIMAIS, 1., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2002. p. 49-56.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Ammonia**. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/pel88/7664-41.html>>. Acesso em: 3 out. 2011.

NAZARENO, A. C. et al. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 802-808, nov./dez. 2009.

NAZARENO, A. C. et al. Caracterização bioclimática de sistemas ao ar livre e confinado para a criação de matrizes suínas gestantes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 314-319, maio/jun. 2012.

NIELSEN, H. B.; ANGELIDAKI, I. Strategies for optimizing recovery of the biogas process following ammonia inhibition. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 99, n. 17, p. 7995-8001, 2008.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos**: implementação de aplicativo computacional. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

NOGUEIRA, C. C. P.; SILVA, I. J. O. Aplicação de águas residuárias de suinocultura na irrigação. **Revista THESIS**, São Paulo, ano 3, n. 6, p. 18-29, 2006.

OLIVEIRA, P. A.; DAÍPRA, M. A.; KONZEN, E. A. **Unidade de transformação dos dejetos líquidos em composto orgânico**: tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas: PNMA II. Concórdia: EMBRAPA CNPSA, 2004. 109 p.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e manejo de dejetos de suínos. In: MATTOS, W. R. S. (Ed.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 164-177.

OLIVEIRA, P. A. V. de et al. Compostagem e utilização de cama na suinocultura. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS E TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE RAÇÕES, 1., 2001, Campinas. **Anais...** Campinas: BNA, 2001. p. 391-406.

OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. Produção de suínos em sistema de cama sobreposta. In: OLIVEIRA, P. A. V. (Org.). **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2004. p. 57-67.

OLIVEIRA, P. A. V. de; NUNES, M. L. A. Suíno em cama sobreposta. **Suinocultura Industrial**, São Paulo, n. 5, p. 10-18, 2005.

OLIVEIRA, R. F. M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 797-803, maio/jun. 2006.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 639-647, 2007.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. **Biodigestão anaeróbia e compostagem de dejetos de suínos, com e sem separação de sólidos**. 2007. 93 p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. et al. Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 6, p. 1533-1538, 2012.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração

sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 474-482, 2009.

OWADA, A. N. et al. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 611-618, 2007.

PALHARES, J. C. P. et al. **Impacto ambiental da concentração de suínos na bacia hidrográfica do rio Fragosos**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2002. 8 p. (Comunicado Técnico, 307).

PANDORFI, H. et al. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 83-92, jan./abr. 2007.

PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestação, alojadas em baias individuais e coletivas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 326-332, maio/jun. 2008.

PAULO, R. et al. Avaliação da amônia emitida de camas sobrepostas e piso concretado utilizados na criação de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 210-213, mar./abr. 2009.

PERET, C. M. Biogás, alternativa real e sustentável para geração de energia elétrica. **Revista Engenharia**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 100-103, maio 2008.

POGGIO, D. et al. Biodigestores de baixo custo para climas andinos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 4508-4511, 2009.

PORTES, Z. A.; FLORENTINO, H. O. Aplicativo computacional para projetos e construções de biodigestores rurais. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 118-138, fev. 2005.

PRADO, M. A. C.; CAMPOS, C. M. M. Produção de biogás no tratamento dos efluentes líquidos do processamento de *Coffea arábica L.* em reator aneróbico UASB para o potencial aproveitamento na secagem do café. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 938-947, maio/jun. 2008.

PRADO, M. A. C.; CAMPOS, C. M. M.; SILVA, J. F. Estudo da variação da concentração de metano no biogás produzido a partir de águas residuárias do café. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 475-484, mar./abr. 2010.

ROCHA, J. da S. et al. Características termorreguladoras de diferentes linhagens de suínos na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 5, p. 140-143, dez. 2012. Edição especial.

ROSSI, C. A. R. Suínos em cama sobreposta e presença de linfadenite tuberculóide. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 10, n. 1, p. 29-41, fev. 2003.

ROSSI, L. A. et al. Análise do desempenho reprodutivo e do uso de energia elétrica em instalações climatizadas de cachaços. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1121-1127, out. 2012.

RYCKEBOSCH, E.; DROUILAN, M.; VERVAEREN, H. Techniques for transformation of biogás to biomethane. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 5, p. 1633-1645, May 2011.

SAMPAIO, C. A. P. **Caracterização dos ambientes térmico, aéreo e acústico em sistemas de produção de suínos nas fases de creche e terminação**. 2004. 130 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SAMPAIO, C. A. P. et al. Avaliação do ambiente térmico em instalações para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 785-790, maio/jun. 2004.

SAMPAIO, C. A. P. et al. Avaliação do nível de ruído em instalações para suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 436-440, 2007.

SAMPAIO, C. A. P.; NÄÄS, I. A.; NADER, A. Gases e ruídos em edificações para suínos: aplicação das normas NR-15 e ACGIR. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 10-18, 2005.

SAMPAIO, C. A. P.; NÄÄS, I. A.; SALGADO, D. D. Perfil térmico e acústico na produção de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 4., 2006, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: USP, 2006. Disponível em:  
<[http://www.sbbiomet.com.br/cbb/2006/Animal/ResumoIVCBB\\_011.pdf](http://www.sbbiomet.com.br/cbb/2006/Animal/ResumoIVCBB_011.pdf)>.  
Acesso em: 30 nov. 2012.

SANTOS, M. A. A. et al. Esterqueiras: avaliação físico-química e microbiológica do dejetos suíno armazenado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 537-543, 2007.

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

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J.; SILVA, F. M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 658-664, 2007.

SARUBBI, J. **Estudo do conforto térmico, desempenho animal e racionalização de energia em uma instalação de suínos na região de Boituva, SP**. 2005. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; LAZARINI, E. Aspectos econômicos da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 286-297, 2005.

SILVA, I. J. O. da; SEVEGNANI, K. B. Ambiência e instalações na avicultura de postura. In: SILVA, I. J. O. da. (Org.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. v. 2, p. 76-149.

SILVA, K. O. et al. Medidas do ambiente acústico em creche de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 339-344, 2007.

SILVA-MIRANDA, K. O. da et al. Efeito das condições ambientais no nível de ruído emitido por leitões. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 435-445, maio/jun. 2012.

SILVEIRA, N. A. et al. Ambiência aérea em maternidade e creche de suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 348-357, jul./set. 2009.

SIMON, E. J. et al. **Boletim técnico sobre biodigestores**. Botucatu: UNESP, 2006. 16 p.

SOBESTIANSKY, J. et al. **Estudos ecopatológicos das doenças respiratórias dos suínos**: prevalência e impacto econômico em sistemas de produção dos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2001. 6 p. (Comunicado Técnico, 287).

SORENSEN, P.; AMATO, M. Remineralisation and residual effects of N after application of slurry to soil. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 81-95, 2002.

SOUZA, A. de et al. Um estudo de conforto e desconforto térmico para o Mato Grosso do Sul. **REA - Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 12, n. 2, p. 15-25, jul./dez. 2010.



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. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 530-539, 2005.

STARR, K. et al. Life cycle assessment of biogás upgrading technologies. **Waste Management**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 991-999, Jan. 2012.

TANG, J. C.; KANAMORI, T.; INOUE, Y. Changes in the microbial community structure during thermophilic composting of manure as detected by quinone profile method. **Process Biochemistry**, London, v. 39, n. 2, p. 1999-2006, 2004.

TINÔCO, I. F. F. et al. Avaliação do índice de temperatura do globo negro e umidade e desempenho de suínos nas fases de crescimento e terminação criados em sistemas em cama sobrepostas em condições de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 5, p. 1624-1629, 2007. Suplemento.

TOLON, Y. B. et al. Ambiência térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2010.

VERÍSSIMO, C. J. et al. Tolerância ao calor em ovelhas Santa Inês de pelagem clara e escura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 159-167, fev. 2009.

VIEIRA, R. de F. N. et al. Índices de conforto na avaliação do bem estar animal de matrizes suínas em diferentes sistemas de criação. **Nucleus Animalium**, Ituverava, v. 2, n. 1, p. 63-70, maio 2010.

VIGODERIS, R. V. et al. Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 6, p. 1381-1386, 2010.

WEISS, A. et al. Investigation of factors influencing biogas production in a large-scale thermophilic municipal biogas plant. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 84, n. 5, p. 987-1001, 2009.

WU, X. et al. Biogas and CH<sub>4</sub> productivity by co-digesting swine manure with three crop residues as an external carbon source. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 101, n. 11, p. 4042-4047, 2010.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inoculo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 212-223, 2010.

ZHANG, Q. **Odour production, evaluation and control**. Manitoba: Livestock Manure Management Initiative, 2002. 105 p.

ZHU, N. et al. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 1, p. 9-13, Jan. 2007.

**PARTE 2 – ARTIGOS**

**ARTIGO 1**

**Ambiente termoacústico em instalação para suínos com diferentes  
materiais de cama sobreposta**

**Artigo redigido conforme norma da Revista Engenharia Agrícola**

### **Ambiente termoacústico em instalação para suínos com diferentes materiais de cama sobreposta**

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi comparar o sistema de criação de suínos em cama sobreposta, a partir de diferentes materiais, por meio de ruídos e índices do ambiente térmico. O experimento foi desenvolvido durante os meses de junho e julho na fase de terminação em instalação para suínos em cama sobreposta. Comparou-se três tratamentos: cama sobreposta composta por maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta composta por bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta composta por maravalha (MAR), todas as baias possuíam piso de concreto sob a cama. O conforto térmico foi avaliado por meio do Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), Carga Térmica de Radiação (CTR) e entalpia (h) do ambiente. Foi calculado também o nível médio de ruído (dB). Observaram-se diferenças significativas entre as médias de ITGU para os tratamentos avaliados. Os maiores valores de ITGU ocorreram para o tratamento (M+B) na maioria dos horários em relação aos demais tratamentos. Os menores valores de ITGU foram observados ao início da manhã e ao final da tarde. Já os maiores valores ocorreram entre 11 e 15 h. Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os valores de entalpia. Os maiores valores de ruído foram observados no tratamento (MAR). No entanto, para todos os tratamentos se mantendo abaixo dos limites recomendados pela norma (NR-15). O sistema de cama sobreposta composta por maravalha foi o que proporcionou as melhores condições de conforto térmico para os animais na fase de terminação.

**Palavras-chave:** Conforto térmico, ruído, instalações para suinocultura, construções rurais, ambiência.

### **Thermo-acoustics environment in installation for swine with different superimposed bed materials**

**ABSTRACT:** The objective of this work was to compare swine production system in superimposed beds, from different materials, by means of noises and thermal environment indexes. The experiment was developed during the months of June and July, in the finishing phase, in installations for swine in superimposed beds. Three treatments were compared: superimposed bed comprised of shavings + sugarcane bagasse (S+B), superimposed bed comprised of sugarcane bagasse (BAG) and superimposed bed comprised of shavings (SHA), with all stalls presenting concrete floor under the bed. The thermal comfort was evaluated by means of the black globe temperature (BGTI) and temperature humidity indexes (THI), Thermal Radiation Charge (TRC) and enthalpy (h) of the environment. The average noise level (dB) was also calculated. Significant differences between the BGTI means were observed for the evaluated treatments. The highest BGTI values occurred for treatment (S+B) in most time periods in relation to the other treatments. The lowest BGTI values were observed at the beginning of the morning and at the end of the day, while the highest values occurred between 11 and 15 h. There was no significant difference between the treatments for the enthalpy values. The highest noise values were observed in treatment (SHA). However, in all treatments, it remained below the levels recommended by the norm (NR-15). The system with superimposed beds comprised by shavings provided the best thermal comfort conditions for the animals in the finishing phase.

**Keywords:** Thermal comfort, noise, installations for swine production, rural constructions, ambience.

## INTRODUÇÃO

A suinocultura brasileira busca proporcionar aos animais bem-estar e conforto térmico, juntamente com a preservação ambiental (TINÔCO et al., 2007). Em condições tropicais, o desconforto térmico é frequente, constituindo-se, ainda, em um dos principais problemas da moderna suinocultura, sobretudo nas demandas para exportação (SILVA et al., 2007).

Durante muitos anos a busca da máxima eficiência na produção animal esteve voltada para o atendimento das necessidades de manejo, sanidade, genética e nutrição (ROCHA et al., 2012). Mas, atualmente, os avanços nessas áreas têm sido limitados pelos fatores ambientais, principalmente pelo ambiente térmico no qual os animais são submetidos (ALVARENGA et al., 2011).

A identificação dos fatores climáticos que influenciam diretamente no desempenho do animal na forma de estresse térmico, é preponderante para o desenvolvimento e execução de medidas atenuantes de tais limitantes à produção e conseqüentemente ao sucesso econômico (BARNETT et al., 2001; BLOEMHOF et al., 2008; NAZARENO et al., 2012; VERÍSSIMO et al., 2009). Tem-se verificado que em situações de altas temperaturas ambientais o desempenho de suínos tem sido afetado consideravelmente (KIEFER et al., 2009; ROCHA et al., 2012).

Recentemente, mais atenção tem sido dispensada ao ambiente térmico em que são mantidos os animais, uma vez que esse ambiente influencia diretamente no desempenho da criação LIMA et al. (2011). Com a utilização do sistema de criação confinado, a perda energética dos animais é menor, no entanto as condições de conforto e bem-estar podem ser comprometidas, já que a condição imposta restringe muitas vezes o comportamento natural dos animais, afetando, ainda o desempenho produtivo e reprodutivo (PANDORFI et al., 2007; PANDORFI et al., 2008; NAZARENO et al., 2009).

O uso de camas sobrepostas no piso como alternativa ao tradicional piso de concreto tem se mostrado uma opção interessante na criação de suínos nas fases de crescimento e terminação, por proporcionar melhor qualidade ambiental para os animais (CORRÊA et al., 2000), desempenho satisfatório, garantindo que os mesmos alcancem o peso de abate rapidamente, como no sistema confinado convencional GUIMARÃES et al. (2011). De acordo com OLIVEIRA & HIGARASHI (2004) este sistema se distingue dos demais por alojar suínos em baias com dimensões maiores do que no sistema confinado industrial, onde os animais permanecem sobre um leito composto por substrato. Neste caso, deve-se considerar as produções de calor geradas pelo binômio “animal + cama” (CORDEIRO et al., 2007).

Diversos materiais podem ser empregados como substrato para a formação da cama sobreposta a ser utilizada neste sistema de criação. A escolha do produto deve se balizar em informações acerca das características no que se refere à facilidade de obtenção, manejo e reutilização da cama quando retirada das instalações, e, principalmente ao conforto ambiental apresentado aos animais.

O ambiente térmico no interior das instalações para suínos apresenta importância vital para o sucesso da atividade suinícola. O conforto ou desconforto apresentado por este ambiente pode ser avaliado pelo Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), que inclui a temperatura (Tar), a umidade relativa (UR), a radiação térmica e a velocidade do ar (v) (VIEIRA et al., 2010), sendo a combinação Tar - UR a principal condicionante para conforto térmico (SOUZA et al., 2010). De acordo com ROSSI et al. (2012), na avaliação do conforto térmico, a entalpia, energia de ar úmido por unidade de massa de ar seco, é a propriedade mais útil na quantificação de processos psicrométricos que envolvem trocas térmicas.

Desta forma, a quantificação do desconforto ambiental e do bem-estar do animal em ambiente de produção intensiva vem destacando-se como tema importante entre os pesquisadores da área (NÄÄS et al., 2008; KIEFER et al., 2010). Dentre os diferentes mecanismos de avaliação, os registros e os estudos do nível de ruídos de um grupo de animais vêm ganhando espaço (SILVA-MIRANDA et al., 2012).

O ruído pode ser facilmente medido com o auxílio de decibelímetros (BORGES, 2008; TOLON et al., 2010). Esse nível pode variar de acordo com as situações ambientais às quais os animais são submetidos, podendo indicar a qualidade de vida dos mesmos (SAMPAIO et al., 2007; NÄÄS et al. 2008; TOLON et al., 2010). Técnicas modernas de análise de ruídos permitem a discriminação, análise e classificação de ruídos específicos sendo, portanto, um interessante indicativo das condições de bem-estar de alojamento de um grupo ou de um indivíduo, em particular (SILVA et al., 2007).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi comparar o sistema de criação em cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana, cama de bagaço de cana e cama composta de maravalha, quanto ao ambiente térmico na fase de terminação de suínos em função da temperatura do ar, da umidade do ar, do índice de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR) e entalpia além de avaliar os níveis de ruídos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi desenvolvido nos meses de junho e julho do ano de 2013, na fase de terminação das instalações para suinocultura do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais do *Campus* de Rio Pomba – MG. O local situa-se à altitude média de 434 m, com coordenadas geográficas 21° 16' 45" de latitude sul e 43° 10' 30" de longitude oeste. O clima da região, de acordo com a



classificação de Köeppen, é Cwa (quente, temperado, chuvoso, com estação seca no inverno e verão quente).

No experimento compararam-se três tratamentos, o constituído de cama sobreposta composta por maravalha+bagaço de cana (M+B), na proporção de 1:1, cama sobreposta composta por bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta composta por maravalha (MAR). As baias possuíam piso de concreto sob a cama, sendo todas equipadas com um comedouro de alvenaria e dois bebedouros (Figura 1).



FIGURA 1. Baias compostas por cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).

A instalação é orientada na direção leste-oeste, possui pé-direito de 3,30 m, telhado de duas águas coberto com telhas de cimento-amianto, paredes de

alvenaria, divisórias internas e externas de alvenaria de 1 m de altura, piso concretado, recoberto com cama sobreposta. Foram empregadas três baias, com área média de 30 m<sup>2</sup>, dispostas lado a lado, sendo o piso da primeira recoberto por cama de bagaço de cana+maravalha, o da segunda com bagaço de cana, e, o da terceira, com maravalha (Figura 2). A densidade foi de 1,70 m<sup>2</sup> por suíno (incluindo a plataforma elevada onde ficam os bebedouros e comedouros), com 17 animais por baia. Os animais, à época do experimento, apresentavam peso médio de 70 kg. As camas foram disponibilizadas na profundidade de 0,50 m em todos os tratamentos. A alimentação era realizada manualmente, três vezes ao dia.

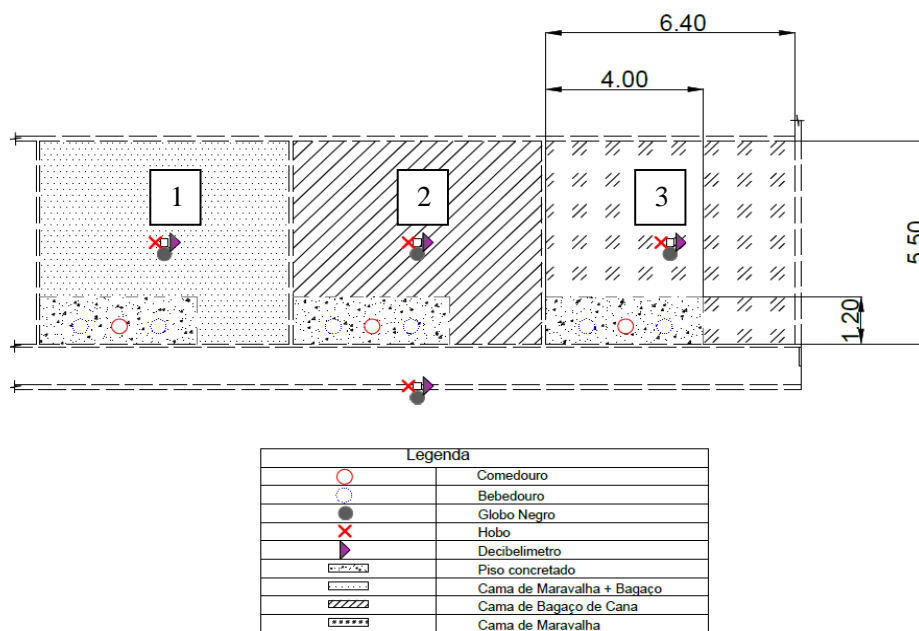


FIGURA 2. Posição dos aparelhos de coleta nas baias compostas por: 1 - cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), 2 - cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e 3 - cama sobreposta de maravalha (MAR).

Dados relativos ao conforto térmico ambiente nas baias e na parte externa foram coletados automaticamente, com o uso de *dataloggers* da marca Hobo, modelo U12-013, com acurácia de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Esses equipamentos registraram a temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro, em intervalos de cinco minutos. Para a obtenção das temperaturas de globo negro também foram empregados os *dataloggers*, com seus sensores inseridos em globos negros. A velocidade do ar foi registrada com auxílio de um anemômetro digital de hélices, da marca thermo anemometer® com precisão de  $\pm 3,0\%$  da leitura. Os instrumentos de avaliação de conforto térmico ambiente foram posicionados dentro das instalações a 1,20 m da altura do piso (SAMPAIO et al., 2004).

Para a caracterização do ambiente, no interior e exterior das instalações, foram determinados: a temperatura de bulbo seco (Tbs), a umidade relativa do ar (UR), temperatura de globo negro (Tg, °C) e Entalpia. O ITGU foi utilizado para avaliação do ambiente térmico por ser o índice de utilização mais difundido no Brasil, além de quantificar, indiretamente, os efeitos da velocidade do ar e da radiação.

O índice ITGU foi calculado por meio da equação 1:

$$\text{ITGU} = T_{gn} + 0,36T_{po} - 330,08 \quad (1)$$

em que:

Tgn: temperatura de globo negro (K);

e Tpo: temperatura do ponto de orvalho (K).

A carga térmica de radiação (CTR) foi calculada conforme expressão proposta por ESMAY (1974).

$$CTR = \sigma (TRM)^4 \quad (2)$$

em que:

CTR: Carga térmica de radiação ( $W m^{-2}$ );

$\sigma$ : constante de Stefan-Boltzman ( $5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ );

TRM: temperatura radiante média (K).

A TRM é a temperatura de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra, para eliminar o efeito da reflexão (BOND et al., 1961). A TRM foi obtida por meio da equação 3.

$$TRM = 100 \times [2,51 \times v^{1/2} (Tgn - Ta) + (Tgn / 1000)^4]^{1/4} \quad (3)$$

em que:

TRM: Temperatura radiante média (K);

v: velocidade do vento ( $m s^{-1}$ );

Ta: temperatura ambiente (K).

A entalpia (h) do ambiente foi calculada de acordo com a equação 4, proposta por ALBRIGHT (1990).

$$h = 1,006 \times Tbs + W(2501 + 1,805 \times Tbs) \quad (4)$$

em que:

h: entalpia ( $kJ kg de ar seco^{-1}$ );

Tbs: temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}C$ );

W: razão de mistura ( $kg vapor d'água kg ar seco^{-1}$ );

$$W = (0,622ea)/(Patm - ea);$$

em que:

ea: pressão atual de vapor d'água (kPa);

Patm: pressão atmosférica (kPa).

Para a análise estatística, foi adotado esquema de parcelas subdivididas para os dados relativos ao ambiente térmico (ITGU, CTR e Entalpia), no qual as parcelas foram compostas pelos sistemas de criação (cama de maravalha+bagaço de cana, cama de bagaço de cana e cama de maravalha) e as subparcelas dos horários (1 a 24 horas), em delineamento de blocos casualizados (dias experimentais), no qual as repetições foram os dias de coleta, 15 dias. Os dados foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste “F” e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância, utilizando-se o programa Sisvar para as análises estatísticas (FERREIRA, 2008).

Para medida do nível médio de ruído (dB) utilizou-se um decibelímetro da marca SL-130 (Sound Level Meter), precisão de  $\pm 1,5$  dB. As coletas do nível de ruídos em cada baía foram realizadas nos seguintes horários: 9 h; 11 h 30 min; 14 h e 16 h 30 min, durante um período de 15 dias, conforme recomendações de SAMPAIO et al. (2005). Com os resultados obtidos dos ruídos, foram compostos gráficos *boxplot* considerando os valores observados à altura dos animais. Para tal, utilizou-se o pacote estatístico Minitab® 16.1.0.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Considerando os horários em que foram realizadas as mensurações do ambiente, o material utilizado como cama influenciou apenas a CTR no horário de 16:30h, onde a cama M+B apresentou maior CTR ( $P>0,05$ ) (Tabela 1). Ao se analisar os valores médios, observa-se que comportamento semelhante ocorreu

com o mesmo tratamento, tanto para CTR quanto para ITGU. Os valores mais elevados de CTR e ITGU podem ter ocorrido devido ao fato da mistura dos materiais propiciar maior fermentação e menor evaporação da água coloidal contida no material, elevando, desse modo, a temperatura no ambiente.

TABELA 1. Resultados do Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), Entalpia e Carga Térmica Radiante (CTR) em relação ao material de cama das baias e os horários de coleta, em uma unidade de terminação para suínos

Índice	Cama <sup>1</sup>	Horário				Média
		09:00	11:30	14:00	16:30	
ITGU	M+B	67,6a	72,8a	74,4a	71,8a	71,7a
	BAG	67,2a	72,8a	74,4a	71,1a	71,4 b
	MAR	67,1a	72,9a	74,4a	71,1a	71,3 b
Entalpia	M+B	50,7a	58,4a	59,2a	59,1a	56,9a
	BAG	51,4a	58,4a	59,4a	59,0a	57,0a
	MAR	51,1a	58,4a	59,2a	58,7a	56,8a
CTR	M+B	425,1a	450,9a	460,9a	441,1a	444,5a
	BAG	420,8a	453,1a	460,9a	435,6 b	442,6 b
	MAR	421,3a	453,2a	460,7a	435,4 b	442,7 b

\*Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. <sup>1</sup> Cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).

SAMPAIO et al. (2004), avaliando instalação na fase de terminação, observaram que os valores de CTR variaram em maior intensidade entre 14 e 18 hs. Já no presente estudo, as médias horárias encontradas para a CTR seguiram o mesmo padrão encontrado por CAMERINI et al. (2009), que observaram aumento nos valores da CTR ao longo da manhã, com declínio após às 14 h. Quando as médias foram comparadas aos valores de conforto, de 450 W m<sup>-2</sup>, conforme descrevem BAÊTA & SOUZA (2010), os horários de 11 h 30 min e 14 h apresentaram-se fora do ideal, sendo que, neste período, os suínos podem sofrer maior desconforto ambiental.

Ao mesmo tempo, evidenciam-se, desta forma, condições climáticas mais críticas no ambiente com este material de cama, uma vez que o ITGU sofre o efeito da temperatura de globo.

Observa-se que os valores de ITGU obtidos no presente trabalho estão, no horário das 14 h, em todos os tratamentos, acima da amplitude de conforto térmico para suínos que é até 72 SAMPAIO et al. (2004).

Analisando os valores de ITGU em todos os tratamentos, observa-se que os animais estão em ambiente com temperaturas acima da zona de conforto. Entretanto, esta situação não chega a caracterizar-se como estresse, pois o valor médio obtido para este índice foi 71,66. De acordo com KIEFER et al. (2009), valores de ITGU próximos a 81,10 caracterizam alto estresse por calor para suínos em fase de terminação.

Em trabalho realizado por CORDEIRO et al. (2007), os valores de ITGU diferiram entre os sistemas de criação (cama de maravalha, cama de casca de arroz e piso de concreto) e entre as horas de observação. Verificou-se também aumento gradual nos valores de ITGU no decorrer das fases de crescimento, o que está relacionado à elevação natural da temperatura ambiente local e à maior produção e ao desprendimento de calor pelos animais conforme cresceram. E os valores de ITGU foram similares na maioria dos horários.

Em pesquisa realizada por TURCO et al. (1998) e CAMPOS et al. (2008), averiguou-se que o limite superior de conforto térmico para suínos em terminação, com base no ITGU, é de 72. Nos sistemas de criação avaliados, no horário mais quente (14 h) os animais estavam em desconforto térmico. Esse comportamento foi observado com frequência nos sistemas de criação em camas sobrepostas (TINÔCO et al., 2007). SAMPAIO et al. (2004) encontraram, em seu estudo com suínos em terminação, valores de ITGUs de 72,5, no interior da instalação, às 12 h e de 74,8 às 16 h, valores estes superiores aos observados no presente estudo.

No presente trabalho, os menores valores de ITGU foram observados ao início da manhã e ao final da tarde. Já os maiores valores ocorreram entre 11 e 15 h, concordando com os resultados de TOLON & NÄÄS (2005). O último menciona que as temperaturas mais elevadas ocorreram entre 11 às 15 h. AMANCIO et al. (2013), também observaram ITGU elevado ao longo do dia, atingindo valores máximos nos horários das 15 h (81,12), quando voltou a decrescer. A temperatura e o tipo de cama utilizada poderão influenciar a troca de calor animal-ambiente, modificando conseqüentemente, as temperaturas críticas dos animais.

FURTADO et al. (2012), avaliando instalações de creche e terminação em sistema convencional, obtiveram valores de ITGU acima do recomendado, tanto na estação chuvosa como na seca. Segundo os autores, os animais, nos momentos mais quentes do dia, apresentaram-se ofegantes, mostrando o desconforto térmico e destacando a necessidade de melhorar as condições bioclimáticas de comodidades.

Ao avaliar os efeitos da temperatura do ar sobre o comportamento, respostas fisiológicas e desempenho de suínos na fase de crescimento, KIEFER et al. (2009) observaram que o estresse por calor provoca distúrbios de comportamento, assim como afeta negativamente o desempenho (consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar) e altera a fisiologia dos suínos.

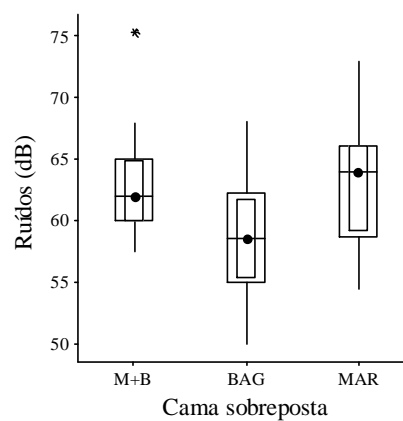
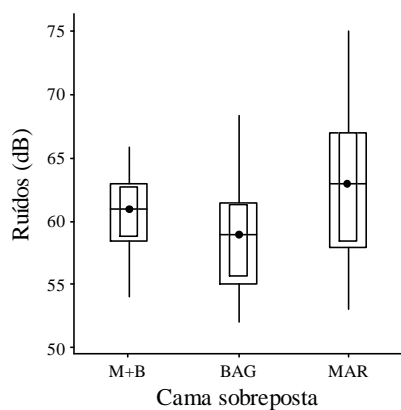
Os valores de entalpia entre os sistemas avaliados foi muito similar, não havendo diferença significativa entre os tratamentos, estando um pouco abaixo da faixa estabelecida para o índice (Tabela 1). De acordo com MOURA (1999), o valor de entalpia desejado para a fase de crescimento, é de 60,44 a 68,62 kJ kg de ar seco<sup>-1</sup>. Desta forma todos os tratamentos, em todos os horários avaliados, apresentaram entalpia abaixo do limite recomendado. SARUBBI et al. (2012) encontraram na instalação com telhado de telhas de barro (69,24 kJ kg de ar seco<sup>-1</sup>) e na com telhado de telhas de cimento amianto (73,45 kJ kg de ar seco<sup>-1</sup>),



apresentando valores superiores ao intervalo desejado. Já no presente trabalho, obtiveram-se valores inversos, no caso valores menores que o tolerado.

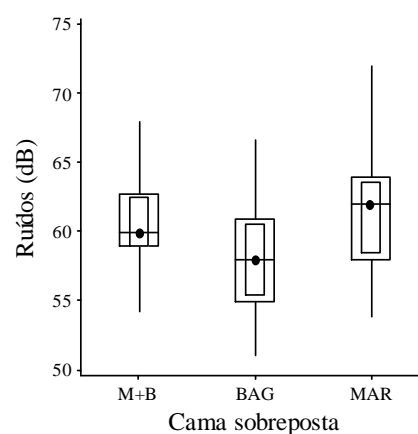
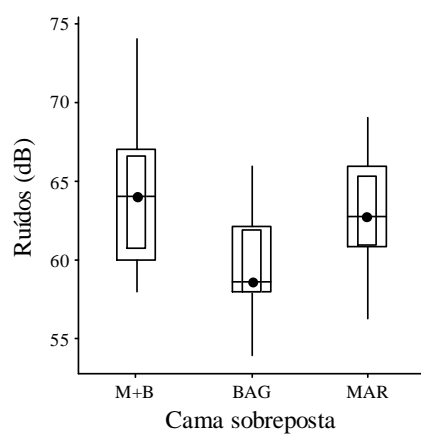
As aproximações dos valores de entalpia recomendada foram calculadas com base nas condições de conforto dos animais. Os valores de entalpia encontrados expressam a quantidade de energia contida em uma mistura de ar seco e vapor d'água influenciando, desta forma, as trocas térmicas entre o animal e o meio.

São ilustrados os valores referentes ao nível de ruídos encontrado nos três tratamentos avaliados, (M+B) cama composta de maravalha+bagaço de cana, (BAG) cama composta de bagaço de cana e (MAR) cama composta de maravalha (Figura 3).



a.

b.



c.

d.

FIGURA 3. Valores de mediana para o nível de ruído encontrado nos diferentes horários (a. 9 h, b. 11 h 30min, c. 14 h e d. 16 h 30min) em baias compostas por três materiais de cama sobreposta distintos, quais sejam: cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).

TABELA 2. Medianas do intervalo de confiança (IC=95%) para os ruídos (dB) em relação ao material de cama das baias e os horários de coleta, em uma unidade de terminação para suínos

Cama	Ruídos (dB)				Média
	Horário				
	09:00	11:30	14:00	16:30	
<b>M+B</b>	61 (58,8-62,7)	62 (60-64,9)	64 (60,7-66,6)	60 (59-62,5)	62 (60-62,5)
<b>BAG</b>	59 (55,7-61,4)	59 (55,4-61,8)	59 (58-61,9)	58 (55,4-60,6)	59 (58-60,1)
<b>MAR</b>	63 (58,4-67)	64 (59,2-66,1)	63 (60,9-65,3)	62 (58,5-63,6)	63 (61-64)

Cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).

Os resultados indicam não haver diferença significativa nos ruídos para cada horário. Todavia, observa-se diferença entre os tratamentos no período total estudado. O ruído no tratamento MAR foi superior ( $P<0,05$ ) ao observado no tratamento BAG, não diferindo do M+B.

Apesar destas diferenças observadas, todos os tratamentos estão dentro da faixa de tolerância de emissão de ruídos preconizada pela norma NR-15, de 85dB. Em trabalho realizado por SAMPAIO et al. (2005), verificou-se que o ruído gerado pelos animais na terminação foi, em média, de 73 dB, e está dentro dos limites de tolerância estabelecido pela referida norma.

Os resultados apresentados corroboram com aqueles obtidos por SAMPAIO et al. (2007) que, em estudo em ambiente de produção intensiva de suínos, constataram uma intensidade de 65dB, em instalações de creche. Estudando animais na fase de maternidade CASTRO et al. (2013), também obtiveram valores médios de ruídos inferiores ao valor máximo recomendado

para a suinocultura, que é de até 85 dB (MOURA & SARUBBI, 2009). Todavia, em nenhum dos estudos anteriores, foi utilizada cama sobreposta. SILVA-MIRANDA et al. (2012) ressaltam que as maiores intensidades sonoras são encontradas em condições de desconforto térmico para os animais. Entretanto, estes autores relataram níveis de ruído mais elevados que os observados em nosso estudo.

Resultados encontrados por SILVA et al. (2007) em estudos sobre ruído emitido por suínos, não encontraram correlação entre as variáveis ambientais e os níveis de ruído emitidos pelos animais, sendo ambos os trabalhos executados em ambiente de produção intensiva.

O Departamento do Meio ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais (DEFRA) do Reino Unido criou o “Código de Recomendação para o Bem-estar na Criação de Suínos”, segundo o qual, devem ser evitados valores de pressão sonora acima de 85 dB, assim como a exposição dos animais aos ruídos constantes (DEFRA, 2003). De acordo com TOLON et al. (2010), na presença desse nível de pressão sonora (85dB), o animal pode ficar impossibilitado de desenvolver seu comportamento natural.

Ao avaliar a sazonalidade da ambiência acústica em creche de suínos, BARACHO et al. (2008) observaram que os níveis de ruídos na instalação não foram influenciados pela estação do ano, porém podem sofrer oscilações desses níveis durante o decorrer do dia por diversos fatores, dentre eles o período mais quente e o horário de alimentação.

## CONCLUSÕES

Os maiores valores de ITUG foram observados no tratamento: cama sobreposta de maravalha+bagaço. A entalpia avaliada não diferiu significativamente em nenhum tratamento.

A carga térmica de radiação, no horário de 16 h 30min, na baia composta por maravalha+bagaço, apresentou valores elevados em relação aos demais tratamentos. Pelos dados do ambiente térmico estudados, verificou-se que todos os tratamentos apresentam conforto para os suínos na fase de terminação.

O nível de ruídos em todos os tratamentos avaliados manteve-se dentro dos limites recomendados pela norma (NR-15), podendo considerar o ambiente aceitável para a criação dos suínos.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ e à FAPEMIG, pelo financiamento da pesquisa; à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais do *Campus* de Rio Pomba - MG, por ceder as instalações para a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ALBRIGHT L.D. *Environment control for animals and plants*. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1990. 453p. (ASAE, 4).

ALVARENGA, A. L. N.; ZANGERONIMO, M. G.; OBERLENDER, G.; MURGAS, L. D. S. *Aspectos reprodutivos e estresse na espécie suína*. (Boletim Técnico) nº 86, p.1- 40. Lavras: UFLA, 2011.

AMANCIO, D.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO J. W. B. DO & L SANTOS, DE F. D. DOS. Avaliação da qualidade do ar e ambiente térmico em maternidade suinícola no semiárido paraibano. *Revista Educação Agrícola Superior* - v.28, n.1, p.10-14, 2013.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. *Ambiência em edificações rurais: Conforto animal*. 2ª ed. Viçosa: UFV. 2010. 246p.

BARNETT, J. L.; HEMSWORTH, P. H.; CRONIN, G. M.; JONGMAN, E. C.; HUTSON, G. D. A review of the welfare issues for sows and piglets in relation to housing. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.52, p.1-28, 2001.

BARRACHO, M. S.; TOLON, Y. B.; NÄÄS, I. A.; ROJAS, M. Sazonalidade da ambiência térmica, aérea e acústica em creche e terminação de suínos. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, Campinas, v.2, n.3, p.201-212, set./dez. 2008.

BLOEMHOF, S.; WAAIJ, E. H. VAN DER; MERKS, J. W. M.; KNOL, E. F. Sow line differences in heat stress tolerance expressed in reproductive performance traits. *Journal of Animal Science*, v.86, p.3330-3337, 2008.

BOND, T. E.; KELLY, C. F.; GARRET, W. N.; HAHN, L. Evaluation of materials for livestock shades. *Califórnia Agriculture*, v.15, n.1, p.7-8, 1961.

BORGES, G. *Utilização da pressão sonora (ruído) como indicativo de bem-estar animal na produção industrial de suínos*. 2008. 137f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, SP.

BRASIL - NR-15. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria 3.214 de julho 1978. *Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho - NR-15: atividades e operações insalubres*. Brasília, 1978.

CAMERINI, N. L.; NASCIMENTO, J. W. B.; FOOK, M. V. L.; SOARES, E. A.; SILVA, F. A. S. Análise de variáveis ambientais em modelos reduzidos de instalações agropecuárias com forro de resíduo de EVA. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, Campina grande, v.4, n.2, p.40-47, 2009.

CAMPOS, J.A.; TINÔCO, I.F.F.; BAÊTA, F.C. et al. Ambiente térmico e desempenho de suínos em dois modelos de maternidade e creche. *Revista Ceres*, v.55, p.187-193, 2008.

CASTRO, J. O. ; CAMPOS, A.T.; CAMPOS, A.T.; FERREIRA, R.A.; YANAGI JUNIOR, T.; TADEU, H.C. Uso de ardósia na construção de celas de maternidade para suínos: II - ambiente térmico e avaliação dos ruídos. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.33, n.1, p.37-45, jan./fev. 2013.

CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I.F.F.; OLIVEIRA, P.A.V. de; GUIMARÃES, M.C.C.; BAÊTA, F.C.; SILVA, J.N. Efeito de sistemas de criação no conforto térmico ambiente e no desempenho produtivo de suínos na primavera. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa-MG, v.35, n.5, p.1597-1602, 2007.

CORRÊA, E.K.; PERDOMO, C.C.; JACONDINO, I.F. Condicionamento ambiental e desempenho de suínos em crescimento e terminação criados sobre piso com leito de cama. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.6, p.2072-2079, 2000.

DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs). Code of Recommendations for the Welfare of Livestock: Pigs. United Kingdom, 2003. Disponível em: <[http:// tinyurl.com/4cwcw45](http://tinyurl.com/4cwcw45)>. Online. Acesso em: 21 dez. 2013.

ESMAY, M.L. *Principles of animal environment*. 2.ed. Westport: AVI Publishing Company, 1974. 325p.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v.6, p.36-41, 2008.

FURTADO, D. A.; AMANCIO, D.; DO NASCIMENTO, J. W. B.; GOMES, J. P.; SILVA, R. C.. Thermal performance and concentration of gases in facilities for pigs in Semiarid Region from State of Paraíba-Brazil. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.1, p.30-37, jan./fev. 2012.

GUIMARÃES, G.G.1, MURATA, L.S. MCMANUS, A., C., SANTANA, A.P., RECKZIEGEL, G.C. B, AMÂNCIO, A.S., FILHO, R.M.J., E SOBRINHO, A.J.F. Desempenho de suínos de dois cruzamentos de linhagens comerciais criados em cama sobreposta. *Archivos de zootecnia*, v.60, n.229, p.11-18, 2011.

KIEFER, C.; MEIGNEN, B.C.G.; SANCHES, J.F.; CARRIJO, A.S. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. *Archivos de Zootecnia*, v.58, n.221, p.55-64, 2009.

KIEFER, C.; MOURA, M.S.; SILVA, E.A.; SANTOS, A.P.; SILVA, C.M.; LUZ, M.F.; NANTES, C.L. Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal*. v.11, n.2, p.496-504. 2010.

LIMA, A.L. et al. Resfriamento do piso da maternidade para porcas em lactação no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.40, n.4, p.804-811, Abr., 2011.

MINITAB. *A beginner's guide to MINITAB statistics software*. Pennsylvania: State College, 1995. 562 p.

MOURA, D. J.; SARUBI, J. Interação entre ambiência e produtividade na suinocultura industrial: realidade brasileira e as exigências internacionais. *Suinocultura Industrial*, Campinas, p.28-33, jul. 2009.

MOURA, D.J. Ventilação na suinocultura. In: SILVA I.J.O. *Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos*. Piracicaba: FEALQ, 1999. p.149-179.

NÄÄS, I.A.; CAMPOS, L.S.L.; BARACHO, M.S.; TOLON, Y.B. Uso das redes neurais artificiais na identificação de vocalização de suínos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 204-216, abr./jun. 2008.

NAZARENO, A. C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GIONGO, P. R.; PEDROSA, E. M. R.; GUISELINI, C. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.802-808, 2009.

NAZARENO, A. C.; SILVA, I. J. O. DA; NUNES, M. L. A.; CASTRO, A. C. DE; MIRANDA, K. O. S.; TRABACHINI, A.. Caracterização bioclimática de sistemas ao ar livre e confinado para a criação de matrizes suínas gestantes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.16 n.3, Campina Grande, 2012.

OLIVEIRA, P.A.V. E HIGARASHI, M.M. *Produção de suínos em sistema de cama sobreposta*. Em: P.A.V. Oliveira (Ed.) *Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos*. Manual de Boas Práticas. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia. p.57-67, 2004.

PANDORFI H, SILVA IJO, GUISELINI C & PIEDADE S.M.S. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.83-92, 2007.



PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestação, alojadas em baias individuais e coletivas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.326-332, 2008.

ROCHA, J. DA S.; SILVA, A. DE S.; BRITO, M. A.; SILVA, T. P. D. E.; PEREIRA, A. M.. Características termorreguladoras de diferentes linhagens de suínos na microrregião do Alto Médio Gurguéia. *Revista Verde (Mossoró – RN)*, v.7, n.5, p.140–143, dezembro de 2012 (Edição Especial).

ROSSI, L. A.; VELLOSO, N. M.; DE LIMA, M. T.; SARUBBI, J.; VIEIRA, L. H. S.. Análise do desempenho reprodutivo e do uso de energia elétrica em instalações climatizadas de cachaços. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.16 n.10 Campina Grande Oct. 2012.

SAMPAIO, C.A.P.; CRISTANI, J.; DUBIELA, J.A.; BOFF, C.E.; OLIVEIRA, A.O. Avaliação do ambiente térmico em instalações para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. *Ciência Rural*, v.34, n.3, p.785-790, 2004.

SAMPAIO, C.A.P.; NÄÄS, I.A.; NADER, A. Gases e ruídos em edificações para suínos: Aplicação das normas NR-15 e ACGIR. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.10-18, 2005.

SAMPAIO, C.A.P.; NÄÄS, I.A.; SALGADO, D.D.; QUEIRÓS, M.P.G. Avaliação do nível de ruído em instalações para suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.4, p.436–440, 2007.

SARUBBI, J.; ROSSI, L. A.; MOURA, D. J. DE; OLIVEIRA, R. A. DE; MAIA, A. P. DE A.. Nocturnal thermal comfort in facilities for growing swines. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1034-1040, nov./dez. 2012.

SILVA, K.O.; NÄÄS, I.A.; TOLON, Y.B.; CAMPOS, L.S.L.; SALGADO, D.D. Medidas do ambiente acústico em creche de suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.3, p.339-344, 2007.

SILVA-MIRANDA, K. O. DA; BORGES, G.; MENEGALE, V. L. DE C.; SILVA, I. J. O. da. Efeito das condições ambientais no nível de ruído emitido por leitões. *Engenharia Agrícola*, v.32 n. 3 Jaboticabal May/June 2012

SOUZA, A. DE; PAVÃO, H. G.; LASTORIA, G.; GABAS, S.G.; CAVAZZANA, G. H.; PARANHOS FILHO, A. C.. Um estudo de conforto e

desconforto térmico para o mato grosso do sul. *REA – Revista de estudos ambientais* (Online) v.12, n. 2, p. 15-25, jul./dez. 2010.

TINÔCO, I.F.F.; SOUZA, C.M.; OLIVEIRA, P.A.V. de.; PAULO, R.M.; CAMPOS, J.A.; CARVALHO, C da C.S.; CORDEIRO, M.B. Avaliação do índice de temperatura do globo negro e umidade e desempenho de suínos nas fases de crescimento e terminação criados em sistemas em cama sobrepostas em condições de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.38, n.5, p.1624-1629, 2007 (supl.).

TOLON, Y. B.; NÄÄS, I. A. Avaliação de tipos de ventilação em maternidade de suínos. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.565-574, 2005.

TOLON, Y.B.; BARACHO, M.S.; NÄÄS, I.A.; ROJAS, M.; MOURA, D.J. Ambiência térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.1, p.1-13, 2010.

TURCO, S. H. N.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, R. F. M.; AGUIAR, M. A.; CECON, P. R.; ARAÚJO, G. G. L. Desempenho de porcas e leitões em maternidade com diferentes sistemas de acondicionamento térmico no inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.27, n.5, p.988-993, set./out. 1998.

VERÍSSIMO, C.J.; TITTO, CG.; KATIKI, LM.; BUENO, M.S.; CUNHA, EA.; MOURÃO, G.B.; OTSUK, I.P.; PEREIRA, A.M.F.; NOGUEIRA, FILHO J.C.M.; TITTO E.A.L. Tolerância ao calor em ovelhas Santa Inês de pelagem clara e escura. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.10, p.159-167, 2009.

VIEIRA, R. de F. N.; SILVA, K. O.; MELLO, S. de P.; MARTINS, J. R.. Índices de conforto na avaliação do bem estar animal de matrizes suínas em diferentes sistemas de criação. *Nucleus Animalium*, v.2, n.1, maio 2010.

ARTIGO 2

**Ambiência Aérea e Temperatura da Cama Sobreposta em instalação  
para Suínos**

**Artigo redigido conforme norma da Revista**

**Journal of Animal Behavior and Biometeorology - JABB**

### **Ambiência aérea e temperatura da cama sobreposta em instalação para suínos**

**Resumo** Os objetivos do presente trabalho foram avaliar a qualidade do ar, por meio das concentrações de gases, e as temperaturas superficiais e no interior de diferentes materiais de cama sobreposta, em instalações para terminação de suínos. O experimento foi desenvolvido durante os meses de junho e julho. Compararam-se três tratamentos: cama sobreposta composta por maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta composta por bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta composta por maravalha (MAR). As baias da instalação possuíam piso de concreto sob a cama. Foram feitas medições das concentrações instantâneas de amônia ( $\text{NH}_3$ , ppm), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , ppm) e monóxido de carbono (CO, ppm) ao nível dos animais. Dados relativos à temperatura superficial e no interior da cama sobreposta de suínos foram coletados em três pontos distintos dentro das baias (no centro, na região frontal e no fundo das baias). Observou-se que a cama “MAR” foi a que apresentou o maior valor médio de concentração de  $\text{NH}_3$  de 2,88 ppm. A cama “BAG” apresentou os menores valores de  $\text{NH}_3$  em todos os horários avaliados, com o período da manhã apresentando diferença significativa em relação às outras camas. O maior valor de concentração de  $\text{CO}_2$  (1530 ppm) ocorreu no tratamento com cama “BAG”, às 11 h 30 min. As temperaturas superficiais das camas sobrepostas não apresentaram diferenças significativas entre os pontos de coleta. A temperatura no interior das camas na parte da frente da baia foi superior no tratamento (M+B), quando comparada ao tratamento (BAG) e (MAR). A concentração dos gases CO,  $\text{CO}_2$  e  $\text{NH}_3$ , mensurados, não atingiram níveis que possam causar danos à saúde dos animais.

**Palavras chave** instalações para suínos, construções rurais, ambiência, gases.

### **Aerial ambience and temperature of the superimposed bed in installation for swine**

**Abstract** The objectives of this work were to evaluate the quality of the air, by means of gas concentrations, and the surface and interior temperatures of different superimposed bed materials, in installations for finishing swine. The experiment was developed during the months of June and July. Three treatments were compared: superimposed bed comprised of shavings + sugarcane bagasse (S+B), superimposed bed comprised of sugarcane bagasse (BAG) and superimposed bed comprised of shavings (SHA). The stalls of the installation presented concrete floor under the beds. Measurements of the instant ammonium concentrations ( $\text{NH}_3$ , ppm), carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ , ppm) and carbon monoxide (CO, ppm) were performed at the level the animals remain. Data regarding the surface and interior temperatures of the swine superimposed beds were collected in three distinct points inside the stalls (in the center, in the frontal region and in the back). The “SHA” bed presented the highest average value for  $\text{NH}_3$  concentration at 2.88 ppm. The “BAG” bed presented the lowest  $\text{NH}_3$  values in all evaluated time periods, with the morning period presenting a significant difference in relation to the other beds. The highest  $\text{CO}_2$  concentration value (1530 ppm) occurred in the treatment with the “BAG” bed, at 11 h 30 min. The surface temperatures of the superimposing beds did not present significant differences between the sampling points. The interior temperature of the beds in the frontal region of the stall was superior in treatment (S+B), when compared to the (BAG) and (SHA) treatments. The concentrations of the CO,  $\text{CO}_2$  and  $\text{NH}_3$  gasses did not reach levels which may cause damage to the health of the animals.

**Keywords** Installations for swine, rural constructions, ambience, gasses.

## Introdução

Diversos fatores podem afetar o desempenho animal, dentre eles, as instalações, o manejo e o ambiente (Barbosa Filho et al 2009 e Menegali et al 2010). Dentre os impactos ambientais causados pelo aumento da intensificação e especialização dos produtores, se destacam a poluição do ar pela emissão de gases: amônia -  $\text{NH}_3$ , dióxido de hidrogênio -  $\text{CO}_2$ , metano -  $\text{CH}_4$ , óxido nitroso -  $\text{N}_2\text{O}$  e sulfeto de hidrogênio -  $\text{H}_2\text{S}$ , além da presença de insetos, ocasionando maior desconforto ambiental às populações (Kunz et al 2007; Dinuccio et al 2008 e Sardá et al 2010).

Durante a produção de suínos, uma grande quantidade de produtos é gerada e pode ser prejudicial ao meio ambiente, aos animais e ao homem. Liberando energia, dióxido de carbono, e gases da cama, alimentos, máquinas e implementos utilizados na ração (Sampaio et al 2005; Paulo et al 2009; Silveira et al 2009).

Segundo Schmidt et al (2002), os gases mais presentes nas instalações para suínos são:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CO}_2$ . No inverno, quando a ventilação é reduzida para manter o calor, a concentração desses gases aumenta dentro das instalações.

As principais normas relacionadas com a avaliação qualitativa e quantitativa de gás são a NR-17 (atividades insalubres e Operações/ Portaria 3.214/1978 brasileiro MET), a CIGR (Commission Internationale du Gene Rural) e ACGIH (Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais) (Sampaio et al 2005).

O Niosh (2005) (National Institute for Occupational Safety and Health) alerta que a presença destes gases constitui fator de risco que favorece a incidência de enfermidades respiratórias. Por exemplo, a  $\text{NH}_3$ , no teor acima de 10 ppm, alta concentração de poeira, ventilação inadequada e volume de ar

inferior a 3,0 m<sup>3</sup> por animal, promovem depreciação da qualidade do ar e afetam a saúde e o bem-estar dos animais e dos tratadores, constituindo um risco para a qualidade ambiental (Nääs et al 2007).

As trocas de ar inadequadas aumentam as concentrações de partículas de CO, CO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> no interior das instalações, diminuindo as concentrações de oxigênio (O<sub>2</sub>) favorecendo, assim, a incidência de doenças (Alencar et al 2004; Owada et al 2007). Os poluentes aéreos, quando alteram as características ideais do ar, favorecem o aumento da susceptibilidade a doenças respiratórias e prejuízos no processo produtivo (Nääs et al 2007).

Na Europa, 80% da produção de NH<sub>3</sub> origina-se das instalações de atividades pecuárias (Reidy et al 2009). Além disso, a NH<sub>3</sub> é o mais importante gás tóxico encontrado nas instalações de suínos, sendo irritante para o sistema respiratório em concentrações superiores a 15 ppm (Banhazi et al 2008). Provoca a redução do apetite e a irritação nas mucosas dos suínos, além de causar problemas respiratórios e letalidade aos trabalhadores que atuam na atividade e aos animais (Sampaio et al 2007; Paulo et al 2009).

As emissões de CO<sub>2</sub> podem diferir de uma fase de criação para outra como a creche e a terminação de suínos (Philippe et al 2007; Cabaraux et al 2009). A produção de CO<sub>2</sub> por animais está diretamente relacionada com sua produção de calor, sendo essa função do seu peso corporal e do seu ambiente térmico (Campos et al 2009). Estudos realizados com o CO<sub>2</sub> e CO evidenciam que, a partir de certos limites de concentração (3.000 ppm de CO<sub>2</sub> e 10 ppm de CO), esses gases afetam a saúde dos suínos (Nader et al 2002).

Nas últimas décadas, a criação de suínos em instalações com camas sobrepostas, em substituição àquelas com o piso em concreto, tem recebido a atenção de pesquisadores e produtores, uma vez que esta modalidade produz aos suínos melhores condições de bem estar, promovendo um ambiente com características semelhantes ao que o animal encontra na natureza, possibilitando-

o expressar alguns comportamentos naturais da espécie, como, por exemplo, fuçar. A criação de suínos em cama sobreposta proporciona aos animais desempenho satisfatório, garantindo que os mesmos alcancem o peso de abate rapidamente, como no sistema confinado convencional (Guimarães et al 2011). Entretanto, estudos necessitam ser desenvolvidos para este sistema de criação, com a finalidade de qualificar e quantificar aspectos relacionados ao ambiente térmico e de gases que é desenvolvido no interior das instalações, a partir dos diferentes materiais de cama que podem ser empregados.

A qualidade do ar e a temperatura interna dos galpões podem ser afetadas pela cama, pois a emissão de  $\text{NH}_3$  é muito influenciada pela temperatura, pH da cama e velocidade do ar (Furtado et al 2010). O uso de camas sobrepostas sobre o piso como alternativa ao tradicional de piso de concreto vem-se popularizando na criação de suínos na fase de terminação, pois busca minimizar a produção de gases dentro das instalações (Paulo et al 2009).

O conhecimento das condições de qualidade do ar, bem como o desenvolvimento de tecnologias para que se possa reduzir a emissão dos gases presente nas instalações para a produção animal é necessidade da atualidade (Inoue et al 2012).

Durante os processos em que ocorrem a compostagem *in situ* dos dejetos da criação de suínos em sistema de cama sobreposta, em épocas ou locais de clima quente os limites de temperaturas recomendadas para os animais na fase de terminação podem ser alterados de forma significativa (Corrêa et al 2000).

O processo de compostagem se inicia à temperatura ambiente. À medida que as ações dos microrganismos se intensificam, ocorrem reações exotérmicas em virtude da decomposição da fração leve da matéria orgânica; alguns dias depois, a temperatura aumenta gradativamente podendo atingir valores superiores a  $65^\circ\text{C}$ , quando prevalecem microrganismos termófilos (Tang et al



2004); desta forma, diferentes locais nas camas podem diferir em temperatura, propiciando diferentes condições ambientais no interior da edificação.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade do ar (concentrações de NH<sub>3</sub>, CO e CO<sub>2</sub>) e a temperatura da cama sobreposta feita com diferentes substratos, em instalação para suínos.

### **Material e Métodos**

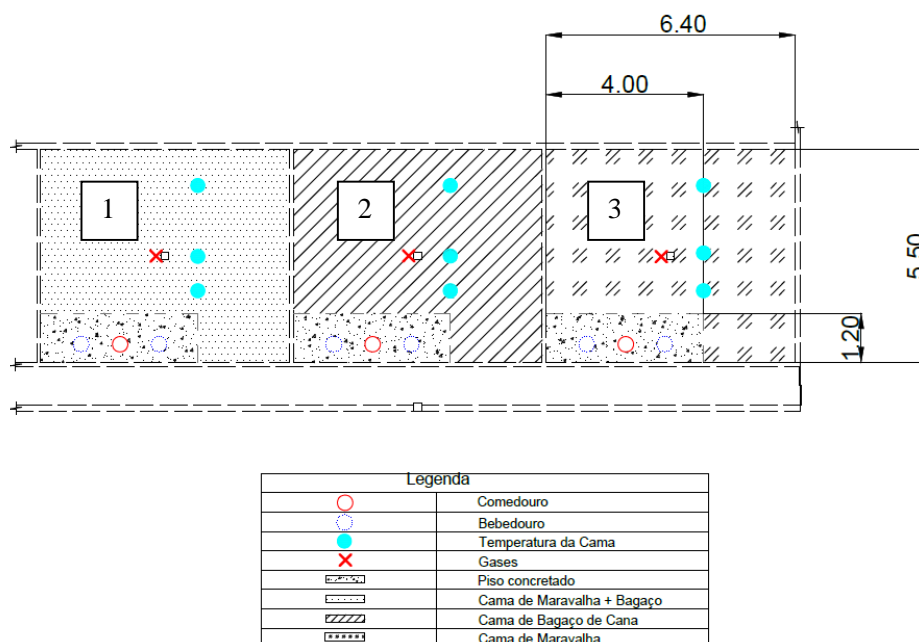
O experimento foi desenvolvido nos meses de junho e julho do ano de 2013, na fase de terminação das instalações para suinocultura do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, *Campus* de Rio Pomba - MG, com altitude média de 434m, definido pelas coordenadas geográficas 21° 16' 45" de latitude sul e 43° 10' 30" de longitude oeste.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köeppen, é Cwa (quente, temperado, chuvoso, com estação seca no inverno e verão quente). O experimento foi conduzido no período no qual normalmente se tem maior concentração de gases dentro das instalações.

No experimento compararam-se três tratamentos, o constituído de cama sobreposta composta por maravalha+bagaço de cana (M+B) 1:1, cama sobreposta composta por bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta composta por maravalha (MAR), todas as baias possuíam piso de concreto sob a cama. Cada baía era equipada com um comedouro de alvenaria e dois bebedouros (Figura 1).

A instalação é orientada na direção leste-oeste, possui pé-direito de 3,30 m, telhado de duas águas coberto com telhas de cimento-amianto, paredes de alvenaria, divisórias internas e externas de alvenaria de 1 m de altura, piso concretado, recoberto com cama sobreposta. Foram empregadas três baias, com

área média de 30 m<sup>2</sup>, dispostas lado a lado, sendo o piso da primeira recoberto por cama de bagaço de cana+maravalha, o da segunda com bagaço de cana, e, o da terceira, com maravalha (Figura 1). A densidade foi de 1,70 m<sup>2</sup> por suíno (incluindo a plataforma elevada onde ficam os bebedouros e comedouros), com 17 animais por baia. Os animais, à época do experimento, apresentavam peso médio de 70 kg. As camas foram disponibilizadas na profundidade de 0,50 m em todos os tratamentos. A alimentação era realizada manualmente, três vezes ao dia.



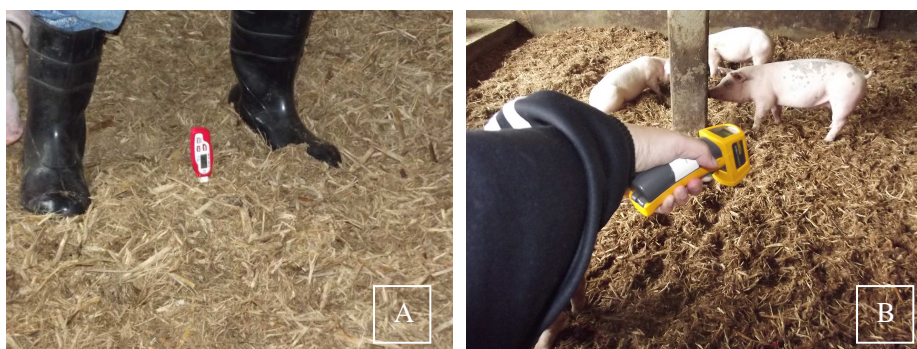
**Figura 1** Posição dos aparelhos de coleta nas baias compostas por: 1 - cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), 2 - cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e 3 - cama sobreposta de maravalha (MAR).

Foram feitas medições de concentrações instantâneas de NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> e CO no centro de cada baia com cama sobreposta de suínos. Para a coleta de dados de

CO<sub>2</sub>, foi utilizado o sensor da marca Testo®, modelo 535, de “princípio infravermelho”, com resolução de 1ppm e acurácia de  $\pm 50$  ppm, que detecta a concentração instantânea numa faixa de medição de 0 a 10.000 ppm. Para as concentrações de NH<sub>3</sub>, foi utilizado sensor da marca Testo®, de “princípio eletroquímico”, com resolução de 1 ppm e acurácia de  $\pm 1$  ppm, que detecta a concentração instantânea numa faixa de medição de 0 a 100 ppm, cuja célula foi calibrada em empresa cadastrada pelo Inmetro. Para a medida dos dados de CO, foi utilizado sensor da marca Testo®, modelo 315-2, de “princípio eletroquímico”, com resolução de 1 ppm e acurácia de  $\pm 1$  ppm, que detecta a concentração instantânea numa faixa de medição de 0 a 100 ppm.

Os gases e a temperatura superficial e no interior das camas sobrepostas avaliadas foram coletados em quatro horários diferentes (9 h; 11 h 30min; 14 h e 16 h 30min), no período da manhã e da tarde, dentro de cada baia de avaliação, durante 15 dias de avaliação.

Dados relativos à temperatura superficial da cama sobreposta de suínos foram coletados através do termômetro infravermelho da marca Fluke, com precisão de  $\pm 1,5\%$  da leitura, em três pontos distintos dentro das baias, (parte frontal, intermediária e parte suja das baias). Foi coletada temperatura a 15 cm de profundidade, por meio de termômetros tipo espeto da marca incotherm, nos mesmos locais de coleta da temperatura superficial em cada baia avaliada (Figura 2).



**Figura 2** Coleta da temperatura no interior da cama (A) e temperatura superficial (B) das camas sobrepostas de suínos.

Adotou-se um esquema de parcelas subdivididas, no qual as parcelas foram compostas dos materiais (cama de maravalha+bagaço, cama de bagaço de cana e cama de maravalha) e as subparcelas dos horários (9 h; 11 h 30min; 14 h e 16 h 30 min), em delineamento de blocos casualizados, no qual as repetições corresponderam aos dias de coleta, 15 dias. Os dados foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste “F” e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Foi utilizado o programa Sisvar para as análises estatísticas (Ferreira 2008).

Com esses resultados procedeu-se à análise estatística, utilizando-se o programa computacional Minitab® 16.1.0, composto de gráficos *boxplot*, por se tratar de dados não paramétricos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de todos os gases ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{CO}$ ) em função dos horários de observações para cada sistema de cama sobreposta de suínos

estudados, estão dentro dos limites recomendados pela NR-15 (1978), para os três materiais de cama sobreposta avaliada (Tabela 1).

**Tabela 1** Concentrações de Amônia (NH<sub>3</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e monóxido de carbono (CO), em ppm, para cada material de cama e horários de coleta, em uma unidade de terminação para suínos

Gás	Cama	Horário				Média
		09:00	11:30	14:00	16:30	
NH <sub>3</sub>	M+B	3,01a	2,87a	2,33a	2,27a	2,63a
	BAG	1,20 b	1,47 b	1,67a	1,73a	1,52 b
	MAR	2,60a	3,27a	3,07a	2,60a	2,88a
CO <sub>2</sub>	M+B	1330a	1330a	1070a	1070a	1200a
	BAG	1070a	1530a	1200a	1000a	1200a
	MAR	1470a	1070a	1200a	1400a	1280a
CO	M+B	1,27a	0,93a	1,00a	0,53a	0,93 b
	BAG	1,07a	0,87a	0,80a	0,60a	0,83 b
	MAR	1,27a	1,13a	1,07a	0,87a	1,08a

\*Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. <sup>1</sup> Cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).

Observa-se que para o nível de significância de  $P < 0,05$ , as concentrações médias de NH<sub>3</sub> no ar ambiente próximo à cama foram diferentes entre os materiais avaliados. A cama composta de maravalha (MAR) e (M+B) foram as que apresentaram as maiores médias, de 2,88 ppm e 2,63 ppm, respectivamente, sendo estatisticamente iguais ( $p > 0,05$ , teste de Scott-Knott) A cama sobreposta composta de bagaço de cana (BAG) apresentou os menores valores de amônia em todos os horários avaliados, com o período da manhã apresentando diferença significativa em relação às outras camas.

Apesar de em alguns horários apresentar diferença significativa na concentração de NH<sub>3</sub> entre os tratamentos, verificou-se que os maiores valores encontrados para todos os tratamentos não ultrapassaram 4 ppm, valores esses inferiores àqueles que possam afetar a saúde do animal, conforme citado por

NIOSH (2005), indicando boas condições de ventilação e renovação do ar ambiente. Tolon et al (2010), avaliando a concentração de  $\text{NH}_3$  em instalações de reprodutores, obtiveram valor médio de 2 ppm. Paulo et al (2009), avaliando cama de maravalha e casca de arroz, encontraram valores da concentração de  $\text{NH}_3$  abaixo dos recomendados pelos órgãos de fiscalização, que é da ordem de 10 ppm, assim como no presente trabalho.

O maior nível de concentração de  $\text{NH}_3$  3,27 ppm, foi observado às 11 h 30 min, na cama sobreposta de maravalha (MAR), diferindo da cama sobreposta de bagaço de cana (BAG). Pode-se verificar que os valores mais elevados de  $\text{NH}_3$  ocorreram nos horários mais quentes (11 h 30 min e 14 h). Resultados semelhantes foram observados por Schmidt et al (2002) e Chang et al (2001). Barker et al (2002) descrevem que, na exposição entre 6 a 20 ppm de amônia e acima, verifica-se irritação nos olhos e problemas respiratórios. Portanto, os resultados obtidos pelo presente estudo não apontam este tipo de problema para nenhuma das camas avaliadas.

Furtado et al (2010), avaliando a concentração de amônia em dois galpões de criação de aves, obtiveram a concentração média de 4,5 ppm, estando dentro dos limites aceitáveis para instalações avícolas e para os trabalhadores, podendo, segundo a NR 15 (1996) e Owada et al (2007), caracterizar o ambiente como muito bom. Estes valores estão de acordo com os encontrados por Nããs et al (2007) e Vitorasso & Pereira (2009), que, em trabalhos em diferentes galpões, relatam valores de  $\text{NH}_3$  abaixo de 20 ppm. Avaliando a concentração de  $\text{NH}_3$  em galpões avícolas, Santos et al (2009) observaram valores abaixo do limite. O maior valor médio de concentração de  $\text{NH}_3$  encontrado foi de 10,2 ppm, superior ao do presente trabalho, em que se obteve média de 2,88 ppm.

Sampaio et al (2006) observaram as maiores concentrações de  $\text{NH}_3$  na época do inverno e, mais especificamente, nos horários da tarde. Paulo et al (2009), ao avaliar os valores de concentração de  $\text{NH}_3$  em três tratamentos

distintos, observaram, no tratamento piso de concreto, concentrações 37% maiores quando comparados com o tratamento cama de maravalha e 44% quando a comparação se refere ao tratamento cama de casca de arroz.

Observa-se que as concentrações médias de CO<sub>2</sub> não diferiram entre si nas camas estudadas. Os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> obtidos em todos os horários avaliados não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ , teste F). Os valores de CO<sub>2</sub> encontrados nos três tratamentos com camas sobrepostas, em todos os horários de observação, estiveram abaixo do nível de concentração que possa causar danos à saúde do animal (3.000 ppm), valores citados por Nader et al (2002). Isso indica que houve renovação de ar satisfatória do ponto de vista do gás CO<sub>2</sub>.

Os resultados de concentração do gás CO<sub>2</sub> encontram-se dentro dos limites recomendados pela NR-15 (1978). O maior valor foi observado no tratamento com cama sobreposta de bagaço de cana (BAG), às 11 h 30 min, onde atingiu 1530 ppm. O período da manhã foi o que apresentou os maiores valores para todos os materiais de cama avaliados. Segundo ACGIH (2001), o CO<sub>2</sub> tem o limite de exposição ocupacional de 5000 ppm e a NR-15 (1978) apregoa como sendo de 3.900 ppm o limite máximo.

Silveira et al (2009) não encontraram diferença significativa entre as médias, ao avaliar a concentração de CO<sub>2</sub>, em diferentes salas de creche e de maternidade. Em uma das salas de creche, os valores de CO<sub>2</sub> alcançaram 1.500 ppm, no período da tarde. Campos et al (2009), avaliando dois modelos diferentes de creche, também não observaram diferença significativa para a concentração de CO<sub>2</sub> entre elas em nenhum dos horários avaliados.

Para a concentração do CO não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ , teste F) em nenhum dos horários avaliados. Porém, entre as médias, ocorreu diferença significativa, com maior valor para a cama sobreposta de maravalha (MAR) de 1,08 ppm. Os valores de CO mantiveram-se, nos diferentes horários

de avaliação e nas diferentes camas sobrepostas, sempre inferiores a 2 ppm, estando em conformidade com estudos anteriores (Silveira et al 2009; Sampaio 2004; Ni et al 2002; Gustafsson 1997).

Observa-se, que as médias de concentração de CO encontradas entre as diferentes camas sobrepostas foram inferiores às recomendadas pela NR (1990) e HFA (2006), não excedendo os 50 ppm. Os valores do presente estudo foram inferiores aos encontrados por Menegali et al (2009), que em trabalhos com frangos de corte, em condições de inverno, na região Sul do Brasil, encontraram valores de CO variando de 2,65 a 8,79 ppm. Nääs et al (2007) observaram, em pesquisas com frangos de corte em períodos frios, valores de 30 ppm (em sistema de ventilação tipo túnel) e 18 ppm (com ventilação convencional) na fase de aquecimento, valores acima dos obtidos no presente trabalho com suínos em fase de terminação no sistema de cama sobreposta. O gás CO não foi percebido pelo equipamento de medição em nenhuma das creches pesquisadas por Campos et al (2009). Os resultados de concentração do gás CO encontra-se dentro do limite recomendado pela NR-15 (1978) no interior das instalações de terminação de suínos.

As temperaturas superficiais das camas sobrepostas não apresentaram diferença significativa entre os pontos de coleta. O ponto P3 (sujo nas baias) nesse caso onde se concentra a maior parte das dejeções, no tratamento BAG, foi observado a maior temperatura durante o período de avaliação (Tabela 2).



**Tabela 2** Temperatura superficial para três materiais de cama em três pontos distintos de coleta, (P1 parte frontal da baia, P2 centro da baia (intermediário) e P3 fundo da baia)

<b>Cama</b>	<b>Ponto de coleta</b>			<b>Média</b>
	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	
<b>M+B</b>	25,8	24,9	24,6	25,1
<b>BAG</b>	25,1	25,0	27,2	25,7
<b>MAR</b>	25,3	24,2	23,7	24,4
<b>Média</b>	25,4	24,7	25,1	

Não houve diferença entre as médias pelo teste Scott-Knott .<sup>1</sup> Cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).

A temperatura no interior das camas no P1 foi superior no tratamento composto por cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), quando comparada ao tratamento bagaço de cana (BAG) e a maravalha (MAR). Isso pode indicar maior atividade microbiana, já que a temperatura da cama possui correlação positiva com a mesma (Tang et al 2004) (Tabela 3).

Nos diferentes pontos coletados, observa-se que houve diferença significativa entre as temperaturas no interior da cama sobreposta de suínos. No ponto P3 (local de concentração das dejeções) pode-se observar as menores temperaturas para todos os tratamentos avaliados (Tabela 3). Provavelmente estes valores surgiram em decorrência de anaerobiose por provável compactação da cama sobreposta.

Os pontos mais úmidos precisam ser revolvidos para evitar o surgimento do lodo, que é prejudicial ao sistema, visto que essas áreas são focos de emissão de odores e proliferação de moscas, além de aumentarem significativamente os riscos sanitários.

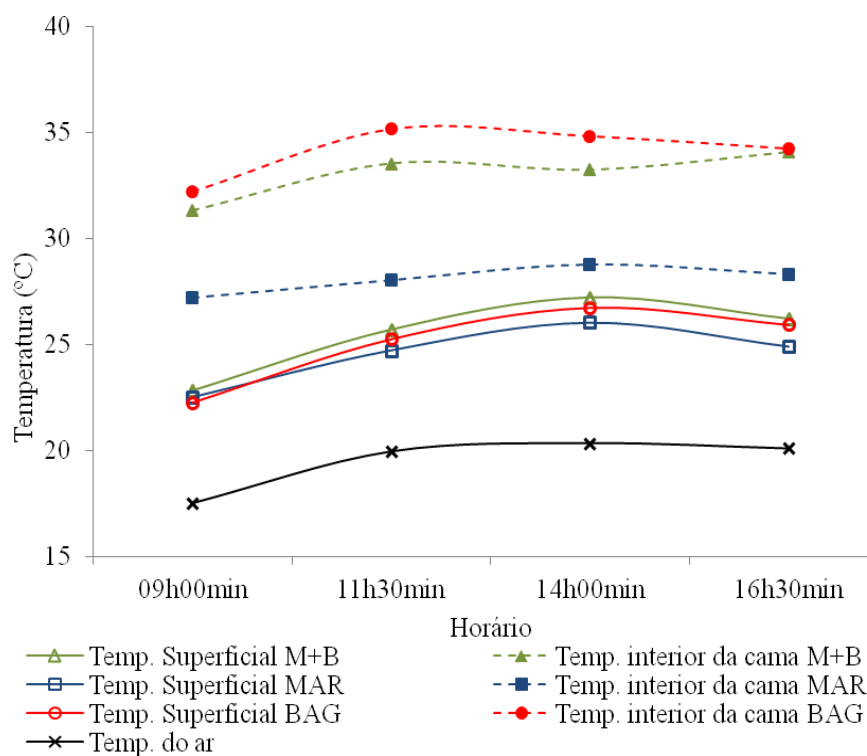
**Tabela 3** Temperatura no interior da cama para três materiais de cama em três pontos de coleta distintos, (P1 parte de frente da baia, P2 centro da baia (intermediário) e P3 fundo da baia)

<b>Cama</b>	<b>Ponto de coleta</b>			<b>Média</b>
	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	
<b>M+B</b>	39,2a	33,6 b	30,1 b	34,3A
<b>BAG</b>	33,6 b	36,9a	31,3 b	33,9A
<b>MAR</b>	30,5	27,8	25,4	27,9 B
<b>Média</b>	34,4a	32,8a	28,9 b	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, pelo teste Scott-Knott. <sup>1</sup>Cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).

Em relação aos horários de coleta, foram observados os maiores valores de temperatura superficial da cama, mensurados no interior das baias, às 14 h (Figura 3). Esse resultado pode ser explicado pelo fato de ser o horário que a radiação global é máxima, elevando a temperatura do ar. A temperatura da cama em todos os tratamentos avaliados apresentou às 9 h, sua menor temperatura de avaliação.

A temperatura no interior da cama em relação aos horários de coleta em todos os tratamentos avaliados apresentou maiores valores no intervalo de 11 h 30 min às 14 h. Na cama de bagaço (BAG), foram observadas as maiores temperaturas em todos os horários durante o período de avaliação, o que indica maior aquecimento do material utilizado (Figura 3).



**Figura 3** Variação da temperatura superficial e de profundidade da cama de acordo com os horários de coleta e o material de origem. <sup>1</sup>Cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B), cama sobreposta de bagaço de cana (BAG) e cama sobreposta de maravalha (MAR).

### Conclusões

A concentração dos gases CO, CO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> avaliados nas camas sobrepostas de suínos, não superaram os limites aceitáveis, de forma a poder causar danos à saúde dos animais.

As temperaturas superficiais das camas sobrepostas analisadas não apresentaram diferença significativa entre os materiais avaliados.

Com relação à temperatura no interior das camas sobrepostas de suínos, os tratamentos: maravalha+bagaço (M+B) e bagaço (BAG) apresentaram as maiores temperaturas nos pontos (P1 frontal e P2 intermediário) e em todos os horários de avaliação.

### **Agradecimentos**

À FAPEMIG e ao CNPQ, pelo financiamento da pesquisa; à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais do *Campus* de Rio Pomba - MG, por ceder as instalações para a pesquisa.

### **Referências**

ACGIH- American Conference of Government Industrial Hygienists - Cincinnati. TLVs and BEIs - Threshold Limit Values for Chemical Substances and Biological Exposure Indices. Cincinnati, 2001. 185 p.

Alencar, M. C. B.; Nääs, I. de A.; Gontijo, L. A. (2004) Respiratory risks in broiler production workers. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 6:23-29.

Banhazi, T. M.; Seedorf, J.; Laffrique, M.; Rutley, D. L. (2008) Identification of the risk factors for high airborne particle concentrations in broiler buildings using statistical modeling. *Biosystems Engineering*, 101:100-110.

Barbosa Filho, J.A.D.; Vieira, F.M.C.; Silva, I.J.O.; Garcia, D.B.; Silva, M.A.N.; Fonseca, B.H.F. (2009) Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38: 2442-2446.

Barker, J.; Curtis, S.; Hogsett, O.; Humenik, F. (2002) Safety in swine production systems. North Carolina: Waste Quality & Waste Management, North Carolina Cooperative Extension Service, p. 12.

Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria 3.214 de 08 de junho de 1978. Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho – NR-15: Atividades e Operações Insalubres. Brasília, 1978. Disponível em: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2011, 13:00:00.

Cabaraux, J. F., Philippe, F. X., Laitat, M., Canart, B., Vandenneede, M., & Nicks, B. (2009) Gaseous emissions from weaned pigs raised on different floor systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 130:86-92.

Campos, J. A.; Tinôco, I. de F. F.; Baêta, F. da C.; Cecon, P. R.; Mauri A. L. (2009) Qualidade do ar, ambiente térmico e desempenho de suínos criados em creches com dimensões diferentes. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 29:339-347.

Chang, C.W.; Chunh, H.; Huang, C.F.; Su, H.J.J. (2001) Exposure assessment to airborne endotoxin, dust, ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide in open style swine houses. *Annals of Occupational Hygiene*, New York, 45:457-465.

CIGR-Commission Internationale du Génie Rural. Aerial environment in animal housing: concentrations in and emissions from farm buildings. Dublin, 1994. 116p.

Corrêa, E.K.; Perdomo, C.C.; Jacondino, I.F. (2000) Condicionamento ambiental e desempenho de suínos em crescimento e terminação criados sobre piso com leito de cama. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29:2072-2079.

Dinuccio, E.; Berg, W.; Balsari, P. (2008) Gaseous emissions from storage of untreated slurries and the fractions obtained after mechanical separation. *Atmospheric Environment*, 42:2448-2459.

Ferreira, D. F. (2008) SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, Lavras, 6: 36-41.

Furtado, D.A.; Rocha, H.P.; Nascimento, J.W.B.; Silva, J.H.V. (2010) Índices de conforto térmico e concentração de gases em galpões avícolas no semiárido paraibano. *Engenharia Agrícola*, 30:993-1002.

Guimarães, G.G; Murata, L.S.; A, Mcmanus, C.; Santana, A.P.; Reckziegel, G.C.; Amâncio, A.S.; Filho, R.M.J. e Sobrinho, A.J.F. (2011) Desempenho de

suínos de dois cruzamentos de linhagens comerciais criados em cama sobreposta. *Archivos de zootecnia*, 60:229- 12.

Gustafsson, B. (1997) The health and safety of workers in a confined animal system. *Livestock Production Science*, Amsterdam, 49:123-136.

Inoue, K. R. A.; Tinôco, I. F. F.; Cassuce, D. C.; Graña, A.L.; Bueno, M. M.; Tinôco, B. F. (2012) Análise da concentração de amônia em galpões de frangos de corte submetidos a diferentes dietas. *Engenharia na Agricultura*, 20:19-24.

Kunz, A; Higarashi, M. M.; Oliveira, P. A. Redução da carga de poluente a questão dos nutrientes. In: Seganfredo, A. M. *Gestão ambiental na suinocultura*. Brasília: EMBRAPA, 2007. 302p.

Menegali, I.; Baêta, F.C.; Tinôco, I.F.F.; Cordeiro, M.B.; Guimarães, M.C.C. (2010) Desempenho produtivo de frangos de corte em diferentes sistemas de instalações semiclimatizadas no sul do Brasil. *Engenharia da Agricultura*, 18: 461-471.

Menegali, I.; Tinôco, I.F.F.; Baêta, F.C.; Cecon, P.C.; Guimarães, M.C.C.; Cordeiro, M.B. (2009) Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 13: 984-990, Suplemento.

Nääs, I.A.; Miragliotta, M.Y.; Baracho, M.S. et al. (2007) Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. *Engenharia Agrícola*, 27: 326-335.

Nader, A.; Baracho, M.S.; Nääs, I.A.; Sampaio, C.A.P. Avaliação dos níveis de ruídos e da qualidade do ar (com relação à presença de gases e fungos) em creche de suínos. In seminário poluentes aérios e ruídos em instalações para produção de animais, 1., 2002, campinas. *Anais...* Campinas: feagri/uniccamp, 49-56.

Ni, J-Q.; Heber, A.J.; Diehl, C.A.; Lim, T.T.; Duggirala, R.K.; Haymore, B.L. (2002) Hydrogen sulphide emission from two large pig-finishing buildings with long-term high-frequency measurements. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 138: 227-236.

NIOSH. National institute for occupational safety and health. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/pel88/7664-41.html>>. Acesso em: 2 abril 2005.

Normas Regulamentadora - NR17 (1990) Anexo nº 11, agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho (115.015-4 / I4).

Owada, A. N.; Nääs, I. DE A.; Moura, D. J. DE; Baracho, M. dos S. (2007) Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. *Engenharia Agrícola*, 27: 611-618.

Paulo, R. M. de; Tinôco, I. F. F.; Oliveira, P. A. V.; Souza, C. F.; Baêta, F. C.; Cecon, P. R. (2009) Avaliação da amônia emitida de camas sobrepostas e piso concretado utilizados na criação de suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:210-213.

Philippe, F. X., Laitat, M., Canart, B., Vandenneede, M., & Nicks, B. (2007) Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livestock Science*, 111:144-152.

Reidy, B., Webb, J., Misselbrook, T.H., Menzi, H., Luesink, H.H., Hutchings, N.J., Eurich-Menden, B., Doher, H., Dammgen, U. (2009) Comparison of models used for national agricultural ammonia emission inventories in Europe: litter-based manure systems. *Atmospheric Environment* 43:1632–1640.

Sampaio, C. A. P.; Nääs, I. A.; Salgado, D. D. (2006) Amônia, gás sulfídrico, metano e monóxido de carbono na produção de suínos. *Ciências Agroveterinárias*, 5:156 -164.

Sampaio, C.A.P.; Nääs, I.A.; Nader, A. (2005) Gases e ruídos em edificações para suínos - aplicação das normas NR 15, CIGR e ACGIH. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 25: 10-18.

Sampaio, C.A.P; Nääs, I.A.; Salgado, D.D.; Queirós, M.P.G. (2007) Avaliação do nível de ruído em instalações para suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 11: 436–440.

Sampaio, C.S. Caracterização dos ambientes térmico, aéreo e acústico em sistemas de produção de suínos, nas fases de creche e terminação. 2004. 130 f.

Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) - Departamento de Construções Rurais e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Santos, P. A. D.; Baeta, F. DA C.; Tinôco, I. DE F. F.; Albino, L. F. T.; Cecon, P. R. (2009) Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. *Revista Ceres*. 56(2): 172-180.

Sardá, L. G.; Higarashi, M. M.; Muller, S.; Oliveir, P. A. & Comin, J. J. (2010) Redução da emissão de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>S através da compostagem de dejetos suínos. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 14:1008–1013.

Schmidt, D.R.; Jacobson, L.D.; Janni, K.A. Continuous monitoring of ammonia, hydrogen sulfide and dust emissions from swine, dairy and poultry barns. *St. Joseph: ASAE*, 2002. 14 p.

Silveira, N. A.; Nääs, I. DE A.; Moura, D. J. DE; e Salgado, D. D (2009) Ambiente aérea em maternidade e creche de suínos. *Engenharia. Agrícola*, 29: 348-357.

Tang, J. C.; Kanamori, T.; Inoue, Y. (2004) Changes in the microbial community structure during thermophilic composting of manure as detected by quinone profile method. *Process Biochemistry*, 39:1999-2006.

Tolon, Y.B.; Baracho, M.S.; Nääs, I.A.; Rojas, M.; Moura, D.J. (2010) Ambiente térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 30:1-13,

Vitorasso, G.; Pereira, D.F. (2009) Análise comparativa do ambiente de aviários de postura com diferentes sistemas de acondicionamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, 13:788-794.



ARTIGO 3

**Produção de Biogás Proveniente de Cama Sobrepostas de Suínos**

**Artigo redigido conforme norma da Revista  
Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB**

### **Produção de biogás proveniente de cama sobrepostas de suínos**

**Resumo** - O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia e a produção de biogás proveniente de cama sobreposta de suínos em fase de terminação, em biodigestores de bancada. Foram utilizados 12 protótipos de biodigestores laboratoriais de batelada, confeccionados em recipiente plástico e PVC. Os tratamentos constituíram-se de dois materiais de cama sobreposta de suínos como substrato, diluídas em água: Tratamento (M+B) - cama de maravalha+bagaço de cana e tratamento (MAR) - cama de maravalha. Para cada tratamento, foi avaliado o potencial poluidor do efluente, por meio de parâmetros físico-químicos (pH, DBO<sub>t</sub>, DQO<sub>t</sub> e ST). Foi quantificada a produção de biogás a fim de verificar o potencial energético da cama sobreposta de suínos. Observou-se que, o tratamento (MAR) apresentou maiores valores de redução de ST (56,44%). A eficiência de remoção de DQO<sub>t</sub> para a cama (M+B) foi de 66,04%, já para a cama (MAR) obteve-se redução de 30,80%. O tratamento que recebeu cama (M+B) apresentou os maiores resultados de produção média de biogás semanal (25,3 dm<sup>3</sup> de biogás) com produção média acumulada de 127 dm<sup>3</sup> de biogás. A produção do biogás proveniente da cama sobreposta composta por bagaço de cana+maravalha foi significativamente superior à cama sobreposta composta por maravalha. Com este estudo, foi possível concluir que o uso de biodigestores é interessante para promover o pós-tratamento (ou tratamento complementar ou finalização do tratamento) do efluente, obtendo-se, ainda, produção de energia na forma de biogás, que pode ser convertida em eletricidade, aumentando a sustentabilidade da granja.

**Termos para indexação:** biodigestores, biodigestão anaeróbia, carga orgânica, construções rurais, instalações para suínos

### **Production of Biogas Originated from Swine Superimposed Beds**

**Abstract:** The objective of this work was to evaluate the efficiency of the anaerobic bio-digestion process and the production of biogas derived from superimposed beds of finishing swine, in tabletop biodigestors. Twelve continuous laboratory bio-digester prototypes, assembled in plastic and PVC recipients. The treatments constituted of two superimposed bed materials as substrate, diluted in water: Treatment (S+B) – shavings + sugarcane bagasse bed; and treatment (SHA) – shavings bed. For each treatment, the pollutant potential of the effluent was evaluated, by means of physical-chemical parameters (pH, DBO<sub>t</sub>, DQO<sub>t</sub> and ST). The production of biogas was quantified in order to verify the energetic potential of the beds. The (SHA) treatment presented higher ST reduction values (56.44%). The efficiency of DQO<sub>t</sub> removal for the (S+B) bed was of 66.04%, while the (SHA) bed obtained the reduction of 30.80%. The treatment which received the (S+B) bed presented the highest results for average weekly biogas production (25.3 dm<sup>3</sup> of biogas) with an accumulated average production of 127 dm<sup>3</sup> of biogas. The production of biogas originated from the superimposed bed constituted of sugarcane bagasse + shavings was significantly superior to the superimposed bed constituted of shavings. With this study, it was possible to conclude that the use of bio-digestors is interesting to promote the post-treatment (or complementary treatment or finalizing treatment) of the effluent, obtaining the production of energy in the form of biogas, which may be converted in electricity, increasing sustainability in the farm.

**Index terms:** bio-digestors, anaerobic bio-digestion, organic charge, rural constructions, installation for swine.

## Introdução

A demanda global de energia cresce rapidamente com o crescimento populacional, somado ao desenvolvimento e à modernização das atividades agrícolas e industriais. Com o aumento dos valores pagos pelas fontes convencionais de energia juntamente com a crescente preocupação do futuro da oferta de energia, a segurança energética ganhou posição significativa nos meios políticos, ao redor do mundo, incluindo o Brasil (Avaci et al., 2013).

Neste sentido, o desenvolvimento e a implementação de alternativas tecnológicas com vistas à geração de energia a custos reduzidos, podem levar a impactos socioeconômicos positivos. Uma das alternativas tecnológicas mais promissoras diz respeito ao aproveitamento da biomassa para geração de energia (Galbiatti et al., 2010).

Diferentes tipos de resíduos podem ser utilizados, tais como: dejetos de bovinos, de suínos, lodo de esgoto, resíduos de frutas e vegetais, entre outros (Quiao et al., 2011). Conforme a característica dos dejetos torna-se imprescindível o tratamento prévio dos resíduos suínos para posteriormente aproveitá-los como fertilizante no solo (Alvarez & Gunnar, 2008).

Atualmente, o sistema de produção de suínos em camas sobrepostas tem se mostrado interessante, devido ao seu relativo baixo custo e por propiciar melhores condições de bem estar ao animal. Neste sistema, os dejetos se acumulam no material utilizado como cama e são expostos à ação de microrganismos, responsáveis por transformações biológicas, físicas e químicas que ali acontecem, o que determina o nível de estabilização do composto (Corrêa et al., 2009).

Entretanto, a cama que sai das instalações, após passar por três lotes de animais, em média, não se encontra totalmente estabilizada para uso como composto, conforme constatado por Campos et al. (2012) e Campos et al.

(2013). Uma forma de se complementar a estabilização do material, pode ser o uso de biodigestores, onde se agrega, ainda, a possibilidade de geração de energia, na forma de biogás, que pode ser empregada na suinocultura, tanto para a geração de calor, quanto para a conversão em energia elétrica, por meio de conjuntos moto-geradores (Souza et al. 2010).

Como alternativa, o uso de biodigestores na suinocultura tem sido considerado como solução eficiente do ponto de vista econômico, social e ambiental (Esperancini et al., 2007). Os biodigestores anaeróbios para a remoção de material orgânico de dejetos é uma alternativa interessante que propicia benefícios como saneamento no meio rural, atendimento da demanda energética por meio da utilização do biogás e a utilização do material biodegradado como fertilizante do solo (Lianhua et al., 2010).

A utilização de biodigestores contribui para integração e sustentabilidade das atividades agropecuárias aproveitando o dejetos ao qual, normalmente, é dado pouco ou mesmo nenhum valor comercial, convertendo-o em duas grandes fontes de desenvolvimento: em energia e adubo (Quadros et al., 2010).

A tecnologia de biodigestão anaeróbia de dejetos animais, principalmente de suínos, apresenta diversas vantagens, dentre as quais cita-se a produção de biogás e biofertilizantes, produtos de elevado valor agregado, redução da poluição dos recursos hídricos, facilidade de implantação e operação (Silva & Campos, 2008). O biofertilizante tem sido usado na agricultura em substituição aos fertilizantes minerais (Luna et al., 2009), como forma de manter o equilíbrio nutricional de plantas e torná-las menos suscetíveis ao ataque de pragas e de patógenos.

Os biodigestores operados em batelada caracterizam-se por serem alimentados de uma só vez e são de construção mais simples em relação aos de fluxo contínuo, podem ser recomendados para resíduos que contenham restos de

palhas e areia, no caso para confinamento de bovinos e podem ser úteis para a obtenção de parâmetros de dimensionamento (Xavier & Lucas Júnior, 2010).

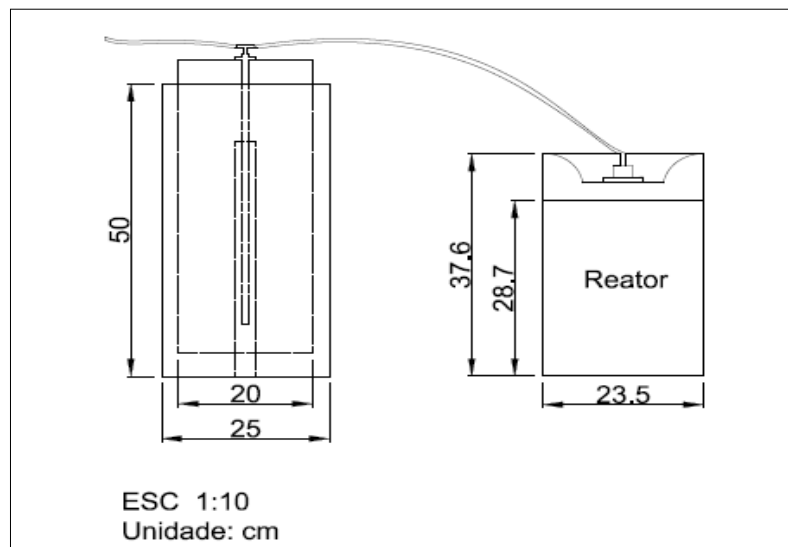
A produção de biogás por meio de biodigestão anaeróbia representa um avanço para equacionar o problema dos dejetos produzidos e da indisponibilidade de energia no meio rural (Cervi et al., 2010). O biogás proveniente da suinocultura vem se tornando fonte de energia renovável. Além da produção de energia elétrica para suprir as necessidades dos produtores, contribui para a diminuição de danos ambientais (Avaci et al., 2013).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia e a produção de biogás proveniente de cama sobreposta de suínos em fase de terminação, em biodigestores de bancada, operados no sistema batelada.

### **Material e Métodos**

O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Construções Rurais, Ambiência e Tratamento de Resíduos, do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG/UFLA), no município de Lavras/MG.

Foram utilizados doze protótipos de biodigestores laboratoriais, confeccionados em recipientes plásticos retangulares, de base (23,5 x 33,0) cm e altura de 37,6 cm, perfazendo um volume total de 22,3 litros, de acordo com a fabricante Emplas, sendo o volume utilizado de 20 litros. Estes biodigestores são conectados por um tubo de plástico cristal a gasômetros independentes confeccionados em PVC de 25 cm de diâmetro, encaixados a tubos de PVC de 20 cm de diâmetro, com capacidade útil de armazenamento de 15 litros cada com finalidade de armazenar e mensurar o biogás produzido conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1** – Protótipo de biodigestor modelo batelada utilizado no processo de biodigestão anaeróbia e produção de biogás.

Nesses biodigestores, foram conduzidos ensaios de batelada com um único abastecimento por período e coleta diária de gás. Os tratamentos foram realizados com diferentes materiais de cama sobreposta de suínos, diluídas em água. Tratamento (M+B) cama de maravalha+bagaço de cana e tratamento (MAR) cama de maravalha, ambas provenientes de instalação em fase de terminação. O tempo de retenção hidráulica foi de 60 dias.

Para cada sistema (cama de maravalha+bagaço de cana e cama de maravalha), foi avaliado o potencial poluidor do efluente, por meio de seus parâmetros físico-químicos: pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis Totais (SVT) seguindo metodologia descritas por Apha et al. (2005).

Material de cama sobreposta, antes de passar pelo processo de biodigestão anaeróbia (afluente) também foi avaliado quanto aos parâmetros físico-químicos, seguindo Apha et al. (2005). As amostras foram analisadas no

Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (LAADEG/UFLA).

A cama (afluente) foi diluída até apresentar um teor de sólidos totais de 6%, segundo procedimento descrito por Lucas Jr. (1994). Cada biodigestor recebeu 4 kg de dejetos, 2 kg de inóculo de dejetos de suíno e 14 kg de água. Com 10 dias verificou-se a queima do biogás em todos os biodigestores, indicando a estabilidade do sistema.

Visando verificar se existe diferença significativa para cada variável avaliada em ambos os tratamentos (cama usada de maravalha+bagaço de cana e cama de maravalha), foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com 6 repetições, sendo cada parcela composta por um biodigestor.

Foi quantificada a produção de biogás a fim de se verificar o potencial energético da cama sobreposta de suínos. Tal quantificação foi feita através da medição do deslocamento vertical do gasômetro.

O volume do biogás foi determinado pela multiplicação da altura de deslocamento do gasômetro pela área de sua seção transversal interna. Após cada leitura, os gasômetros foram esvaziados até atingirem o zero da escala. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20°C, foi efetuada com base no trabalho de Caetano (1985), com base na equação 1:

$$(V_o \times P_o)/T_o = (V_1 \times P_1)/T_1 \quad (1)$$

$V_o$ : volume de biogás corrigido ( $m^3$ );

$P_o$ : pressão corrigida do biogás (10360,31 mm de  $H_2O$ );

$T_o$ : temperatura corrigida do biogás (293,15 K);

$V_1$ : volume do gás no gasômetro ( $m^3$ );

$P_1$ : pressão do biogás no instante da leitura (9303,89 mm de  $H_2O$ );

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



O potencial de produção de biogás foi calculado utilizando-se os dados de produção diária e as quantidades de cama sobreposta de suíno “in natura”, de substrato, de sólidos totais e de sólidos voláteis adicionados no biodigestor, além das quantidades de sólidos voláteis reduzidos durante o processo de biodigestão anaeróbia. Os valores estão expressos em m<sup>3</sup> de biogás por kg de substrato, de estrume ou de sólidos totais e voláteis.

Os resultados das análises físico-químicas dos tratamentos foram analisados através do pacote estatístico Minitab® 16.1.0. Foram compostos gráficos *boxplot*, apresentando medianas e quartis das concentrações e das eficiências de remoção de cada um dos parâmetros analisados.

### **Resultados e discussão**

Os teores de sólidos totais (ST) do tratamento composto por cama sobreposta de suínos de maravalha (MAR) foi o que apresentou maiores percentuais de redução, a cama de maravalha + bagaço de cana (M+B) obteve redução de 28,39% de sólidos totais (Tabela 1).

Reduções na ordem de 64,72% de ST e 68,89% de SVT foram observadas por Miranda et al. (2012) avaliando o processo de biodigestão anaeróbia em biodigestores contínuos com cargas diárias com dejetos de suínos em terminação alimentados com dietas à base de milho, valores estes superiores aos encontrados no presente trabalho.

Orrico Júnior et al., (2009) detectaram reduções de 66,26% de ST e 70,34% de SVT em biodigestores contínuos abastecidos com água residuária de suinocultura sem separação da fração sólida com Tempo de Retenção Hidráulica - TRH de 36 dias, valores estes superiores aos encontrados pelo presente trabalho. Já Orrico Júnior et al. (2010b), trabalhando com biodigestores em

sistema batelada, abastecidos com dejetos de suínos e TRH de 30 dias a redução do SVT foi de 31,26%, redução inferior a obtida neste trabalho para a (MAR).

**Tabela 1.** Eficiência de redução de cada parâmetro físico-químico avaliado em relação à entrada e saída dos biodigestores, em porcentagem (%)

Tratamento Cama sobreposta	Parâmetros (mg L <sup>-1</sup> )	Afluente	Efluente	Eficiência de abatimento Total (%)
M+B	DQO <sub>t</sub>	23084	7837	66,0
MAR	DQO <sub>t</sub>	13178	9119	30,8
M+B	ST	90,07	64,50	28,3
MAR	ST	78,96	43,56	56,4
M+B	SFT	56,26	33,06	41,2
MAR	SFT	34,80	29,04	16,5
M+B	SVT	33,81	31,44	7,0
MAR	SVT	44,16	14,52	67,1

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>t</sub>), Demanda Química de Oxigênio (DQO<sub>t</sub>), Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos Totais (SFT), Sólidos Voláteis Totais (SVT). Cama sobreposta de maravalha+bagaço de cana (M+B) e cama sobreposta de maravalha (MAR).

Orrico Júnior et al. (2010a), em trabalho com cama de frango composta por maravalha obteve redução nos teores de SV, em média 44,05%. Os resultados obtidos para a série de sólidos do presente projeto representa a eficiência da biodigestão anaeróbia na degradação de compostos resistentes, como a cama sobreposta.

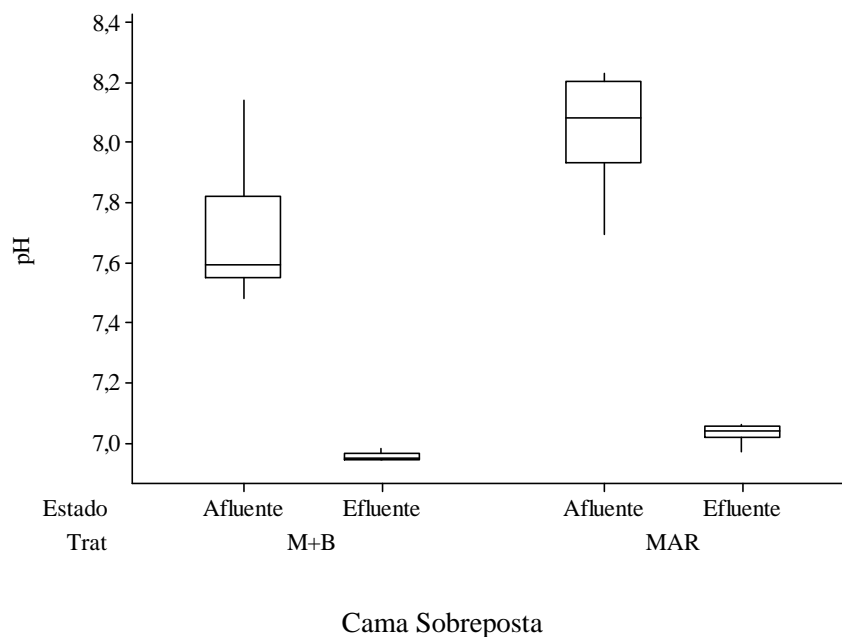
A redução de ST e SVT no tratamento em biodigestores se dá durante o processo de biodigestão anaeróbia devido à conversão da matéria orgânica presente em biogás. Esse processo é de extrema importância para redução da carga poluidora da matéria orgânica, além de produzir o biogás utilizado na produção de energia limpa.

Os tratamentos avaliados neste trabalho interferiram no pH de forma que o afluente (contendo cama sobreposta de suínos diluída em água) apresentou maiores valores de pH, quando comparado com o efluente (Figura 2). Verificou-se, durante o processo de biodigestão, diminuição do pH dos efluentes, que variou de 7,6 a 8,0 nos afluentes a 6,8 e 7,0 nos efluentes líquidos, coletados na saída do biodigestor (Figura 2). Tais valores dos efluentes estão dentro da faixa considerada ideal de pH para a decomposição adequada dos dejetos de animais, especialmente durante a biodigestão anaeróbia, que é de pH, 6,0 a 8,0, tendo como ponto ideal pH 7,0 (Quadros et al., 2010).

Alguns autores (Gannoun et al., 2009; Ogejo & Li, 2010) promovendo o tratamento de efluentes avícolas observaram que, ao realizarem a biodigestão anaeróbia, obtiveram valores médios que oscilaram entre 6,7 a 7,9.

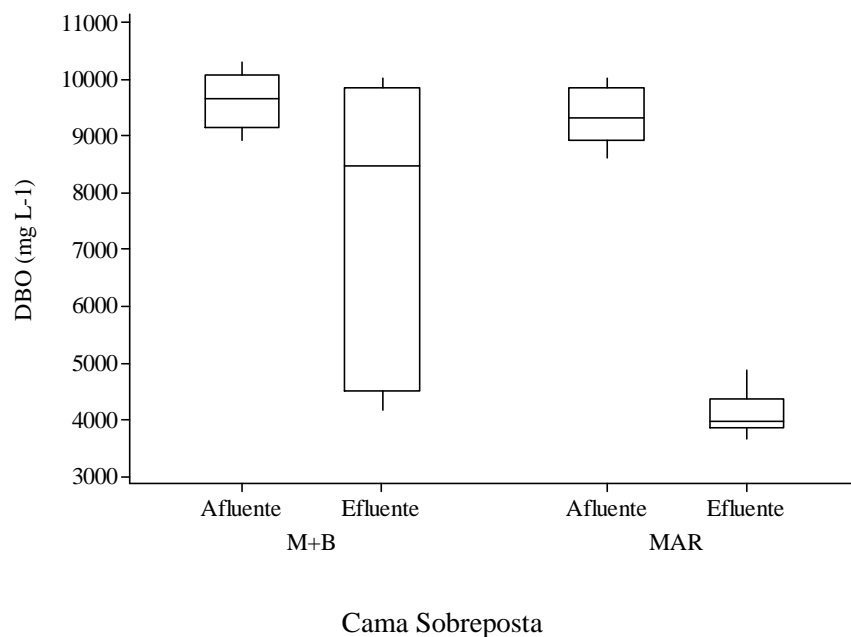
A redução de pH se deve ao processo de decomposição anaeróbia da matéria orgânica, que, devido às reações de hidrólise, levam a uma grande produção de ácidos, o que promove a diminuição do pH. No presente trabalho, os dados de pH como parâmetro indicador do equilíbrio e da estabilidade do processo apresentou-se satisfatório, sem oferecer riscos de falência do processo de biodigestão anaeróbia.

O processo de biodigestão transforma todas as características dos afluentes que recebe, para que este possa liberar efluente com redução do potencial poluidor, da carga orgânica – isso pode ser observado por meio dos valores de DBO, ou DQO.



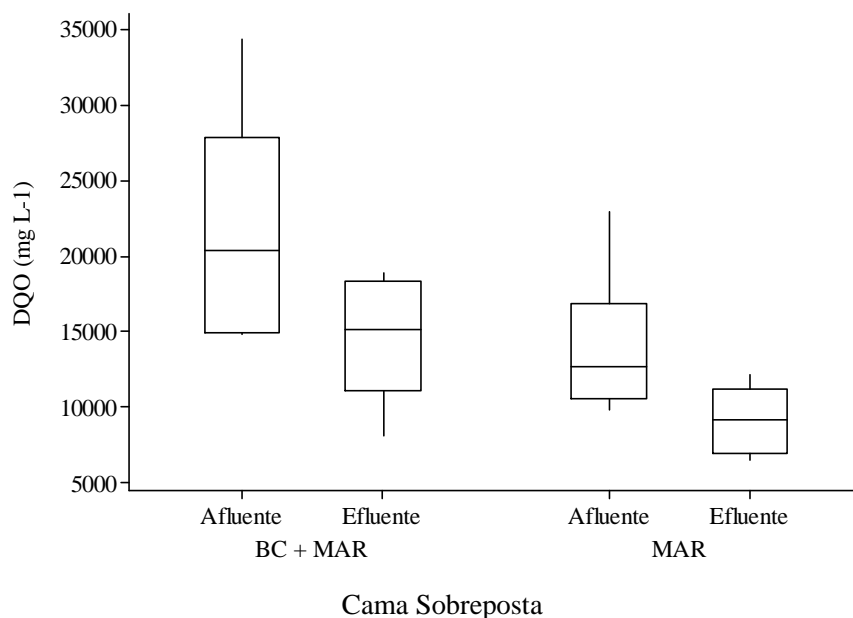
**Figura 2.** Valores de pH das camas sobreposta de suínos, compostas por maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR) antes e após tratamento em biodigestor modelo batelada.

A concentração da DBO apresentou diminuição após o processo de biodigestão anaeróbia da cama sobreposta de suíno dentro do biodigestor (Tabela 1), eficiência de redução inferior a 70% observada por Campos et al. (2005), tratando laboratorialmente dejetos da suinocultura em reator de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB); entretanto, quando comparada com a magnitude da remoção da DBO, o valor obtido neste trabalho ( $575 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi maior em relação ao da encontrada por esses autores.



**Figura 3.** Valores de DBO das camas sobreposta de suínos, compostas por maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR) antes e após tratamento em biodigestor modelo batelada.

Para os valores de redução de DQO, os resultados foram significativos para os dois tratamentos analisados (Figura 4). Para fins de comparação, considerando a média dos tratamentos, Orrico Junior et al. (2010) em ensaio de biodigestão utilizando águas residuárias de suínos em reatores de bancada operando em sistema batelada, obteve redução em torno de 60%, valor equivalente ao encontrado no trabalho.

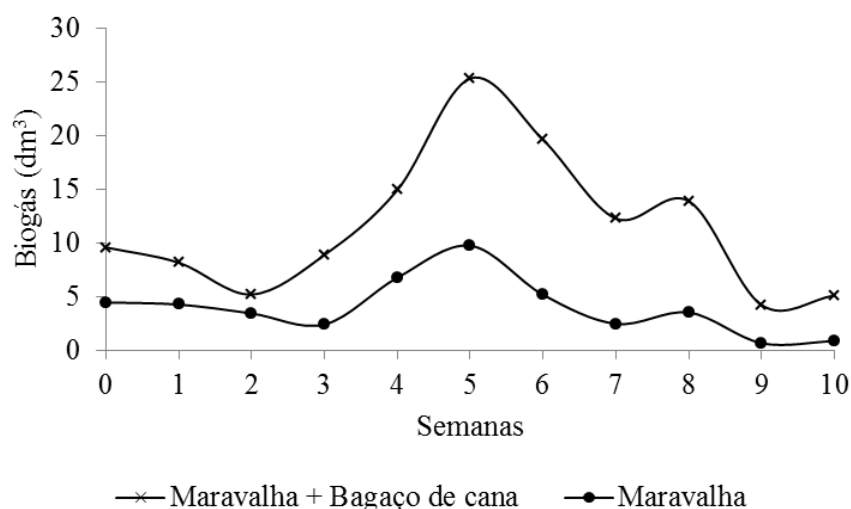


**Figura 4.** Valores de DQO das camas sobreposta de suínos, compostas por maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR) antes e após tratamento em biodigestor modelo batelada.

Os resultados da produção de biogás nos diferentes tratamentos são apresentados na forma de média semanal e acúmulo semanal, como se observa nas Figuras 5 e 6. Houve maior produção de biogás no tratamento composto por cama sobreposta de suínos de maravalha+ bagaço de cana (M+B) (Figura 5). Em ambos os tratamentos observou-se o mesmo padrão de produção de biogás, porém a produtividade foi muito superior no tratamento de cama sobreposta (M+B). Existe similaridade de produção entre os mesmos no decorrer das semanas avaliadas. Ou seja, a curva de produção de biogás proveniente dos diferentes materiais de cama sobreposta de suínos segue o mesmo padrão.

De maneira geral, o período de produção se iniciou após 10 dias do material ter sido inserido nos biodigestores. O pico de produção ocorreu na

quinta semana, independente do material de cama utilizado e começou a decair a partir da oitava semana de produção em ambos os tratamentos avaliados (Figura 5).

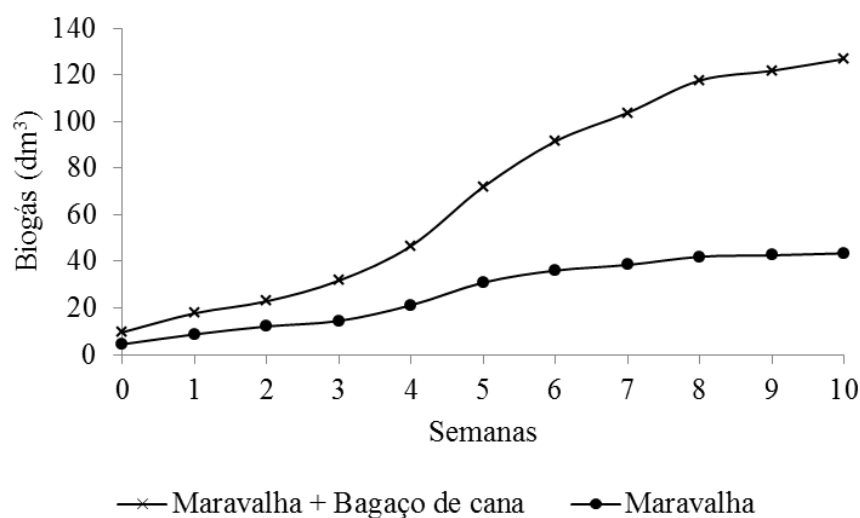


**Figura 5.** Produção de biogás, por semana, para cada material de cama avaliado em biodigestor modelo batelada. Maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR).

O tratamento que recebeu cama sobreposta de suínos de maravalha+bagaço de cana (M+B) apresentou os maiores resultados de produção média de biogás semanal, com 25,3 dm<sup>3</sup> de biogás e produção média acumulada com 127 dm<sup>3</sup> de biogás, valores próximos ao encontrado por Fukayama (2008), onde a autora encontrou valor de 0,0986 m<sup>3</sup> de biogás para tratamentos que receberam cama de frango. O tratamento que recebeu cama sobreposta de suínos composta por maravalha (MAR) apresentou valores de produção média acumulada de biogás de 43,2 dm<sup>3</sup> de biogás.

O fato de apresentar uma composição química essencialmente orgânica faz do bagaço de cana uma fonte potencial de geração de energia renovável.

Neste contexto, uma possível alternativa para a otimização do aproveitamento energético do bagaço constitui-se na geração de biogás através do processo de biodigestão anaeróbia.



**Figura 6.** Produção de biogás acumulada, para cada material de cama avaliado em biodigestor modelo batelada. Maravalha+bagaço de cana (M+B) e maravalha (MAR).

Costa (2009) encontrou valores de  $0,165 \text{ m}^3$  de biogás por kg de cama, ao utilizar cama de frango com serra de *pinus* com 4% de diluição e tempo de retenção de 150 dias, associada ao biofertilizante de dejetos de suíno. Já Tessaro (2011), trabalhando em biodigestores batelada, com cama de frango, composta por serra de *pinus*, encontrou valores de  $0,410 \text{ m}^3$  de biogás por  $\text{kg}^{-1}$  de dejetos com tempo de retenção de (60 dias). Estes valores diferem dos encontrados nesse trabalho, provavelmente devido aos teores de sólidos e o tempo de retenção, que foram diferentes, obtendo valores mais expressivos de produção de biogás para os dois materiais de cama sobrepostos de suínos avaliados.



Miranda et al. (2012) obteve produção de biogás de 0,685, 0,788 e 1,132 m<sup>3</sup> de biogás por kg de afluente de dejetos de suíno tratados em biodigestores batelada. No mesmo contexto, Orrico Junior et al. (2009), utilizando biodigestores de bancada operados com TRH de 29 dias observou potenciais médios de produção de biogás de 0,814 e 0,757 m<sup>3</sup> por kg de TS adicionado. Aires et al. (2009) encontrou valores de 0,212 m<sup>3</sup> de biogás kg<sup>-1</sup> de cama, para cama não peneirada diluída em água, e 0,204 m<sup>3</sup> de biogás kg<sup>-1</sup> de cama com água para cama de frango de terceiro lote para tratamento que recebeu cama de frango associado à água sem a separação de sólidos com 6% de diluição.

Galbiatti et al. (2010) trabalhando com biodigestores batelada abastecidos com esterco de bovinos, obtiveram produções acumuladas de 900,4 m<sup>3</sup> de biogás quando sem bagaço de cana e de 679,2 m<sup>3</sup> com 50% de bagaço seco de cana-de-açúcar, mostrando menor produção de biogás para essa mistura.

A cama sobreposta de suíno com adição de bagaço de cana de açúcar é heterogênea e tem seus componentes agrupados em substâncias de rápida degradação, como por exemplo, amido e carboidratos, que são responsáveis pela rápida liberação de gás carbônico. Desta forma, as concentrações remanescentes de açúcar e outras substâncias orgânicas solúveis, ainda presentes no bagaço (os quais possuem elevado potencial de biodigestão), podem ser processadas por esta tecnologia.

Segundo Orrico et al. (2007), o melhor parâmetro para refletir o potencial de determinada biomassa e, portanto, mais indicado para se utilizar em projetos de biodigestores, é aquele que expressa a produção de biogás por kg de ST adicionados nos biodigestores, pois elimina a interferência do teor de água presente na biomassa.

Considerando os resultados encontrados, pode-se notar a diferença na capacidade de cada resíduo, pois as características de cada material dependem de muitas variáveis, durante o processo de biodigestão.

### Conclusões

1. As camas sobrepostas de suínos, submetidas à biodigestão anaeróbia, tiveram reduções significativas dos conteúdos dos ST, SVT e DQO.
2. A produção do biogás proveniente da cama sobreposta composta por maravalha+bagaço de cana foi significativamente superior à cama sobreposta composta por maravalha.

### Agradecimentos

À FAPEMIG e ao CNPQ, pelo financiamento da pesquisa; a CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais do *Campus* de Rio Pomba - MG, por ceder as instalações para a pesquisa.

### Referências

AIRES, A. M.; LUCAS JUNIOR, J. DE; FUKAYAMA, E. H.; MACHADO, C. R.; GUIDOLIN, D. G. F. **Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida sobre a produção de biogás e a qualidade do biofertilizante.** [www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-120.pdf](http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-120.pdf).

ALVAREZ, R.; GUNNAR, L. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**, v.33, p.726-734, 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater.** 21.ed. Washington: American Water Works Association, 2005. 1368p.

AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M. DE; CHAVES, L. I.; NOGUEIRA, C. E. C.; NIEDZIALKOSKI, R. K. & SECCO, D. Avaliação econômico-financeira da

microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.456–462, 2013.

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

CAMPOS, A.T. ; VELOSO, A.V. ; SILVA, E.B. ; YANAGI JUNIOR, T. ; KLOSOWSKI, E.S. . Nitrogen fertilization by deep-bedding swine production and its effects on the properties of a Quartzarenic Neosol. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 756-764, 2012).

CAMPOS, A.T. ; VELOSO, A.V. ; SILVA, E.B. ; YANAGI JUNIOR, T. ; MATTIOLI, M.C. Nitrogen fertilization by deep bedding swine production and its effects on dry matter production and accumulation of nutrients by maize. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 1257-1267, 2013.

CAMPOS, C. M. M.; MOCHIZUKI, E. T.; DAMASCENO, L. H. S.; BOTELHO, C. G. 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 Agrotécnica**, v.29, n.4, p.848-856, 2005.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.5, p.831-844, 2010.

CORRÊA, E. K.; BIANCHI, I.; PERONDI, A. et al. Chemical and microbiological characteristics of rice husk bedding having distinct depths and used for growing-finishing swine. **Bioresource Technology**, Essex, v.100, n.21, p.5318-5322, nov. 2009.

COSTA, L. V. C. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do biofertilizante**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

ESPERANCINI, M. S. T. et al. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.110-118, 2007.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**. 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

GALBIATTI, J. A.; CAMELO, A.D.; SILVA, F. G.; GERARDI, E. A. B.; CHICONATO, D. A. Estudo quali-quantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.432-37, 2010.

GANNOUN, H.; BOUALLAGUI, H.; OKBI, A.; SAYADI, S.; HAMDI, M. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of biologically pretreated abattoir wastewaters in an upflow anaerobic filter. **Jornal of Hazardous Materials**, v. 170, p. 263-271, 2009.

LIANHUA, L.; DONG, L.; YONGMING, S. et al. Effect of temperature and solid concentration on anaerobic digestion of rice straw in South China. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.35, p.7261-7266, 2010.

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)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

LUNA, M. L. D.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; SILVA, S. A. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p.113-121, 2009.

MINITAB. **A beginner's guide to MINITAB statistics software**. Pennsylvania: State College, 1995. 562 p.

MIRANDA, A. P.; LUCAS JÚNIOR, J. DE; THOMAZ, M. C.; PEREIRA, G. T.; FUKAYAMA, E. H. Anaerobic biodigestion of pigs feces in the initial, growing and finishing stages fed with diets formulated with corn or sorghum. **Engenharia Agrícola**, v.32 n.1, Jan./Feb. 2012.

OGEJO, J, A & LI, L. Enhancing biomethane production from flush dairy manure with turkey processing wastewater 2010. **Applied Energy**, 87:3171-3177.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. et al. Influência da relação volumoso: concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.3, p.386-394, 2010a.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO A. C. A. LUCAS JÚNIOR, J. DE. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica. **Engenharia Agrícola**, v.29, p.474-482. 2009.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; AMORIM, A. C.; LUCAS JUNIOR, J. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Engenharia Agrícola**, v.30, p. 600-607, 2010b.

QUADROS, D. G.; OLIVER, A. P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P. H. F; FERREIRA, E. J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.326-332, 2010.

QUIAO, W.; YAN, X.; YE, J.; SUN, Y.; WANG, W.; ZHANG, Z. Evolution of biogás production from different biomass wastes with/without hydrothermal pretreatment. **Renewable Energy**, v.36, p.3313-3318, 2011.

SILVA, T. N.; CAMPOS, L. M. S. Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos Bandeirantes – SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n.1, p.88-96, 2008.

SOUZA, R. G.; SILVA, F. M.; BASTOS, A. C. Desempenho de um conjunto motogerador adaptado a biogás. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n.1, p. 190-195, jan./fev., 2010.

TESSARO, A. A. **Potencial energético da cama de aviário produzida na região sudoeste do Paraná utilizada como substrato para a produção de biogás**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia)-Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2011.

XAVIER, C. DE. A. N.; LUCAS JUNIOR, J. DE. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inoculo. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.2, p.212-223, 2010.