



PEDRO IVO SODRÉ AMARAL

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL E DE BEM-ESTAR
DA CRIAÇÃO DE SUÍNOS EM SISTEMAS DE
CAMA SOBREPOSTA E CONVENCIONAL**

LAVRAS - MG

2016

PEDRO IVO SODRÉ AMARAL

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL E DE BEM-ESTAR DA CRIAÇÃO DE
SUÍNOS EM SISTEMAS DE CAMA SOBREPOSTA E CONVENCIONAL**

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

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos

Orientador

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientador

LAVRAS - MG

2016

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Amaral, Pedro Ivo Sodré.

Avaliação ambiental e de bem-estar da criação de suínos em
sistemas de cama sobreposta e convencional / Pedro Ivo Sodré
Amaral. – Lavras : UFLA, 2016.

99 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Alessandro Torres Campos.

Bibliografia.

1. Ambiente. 2. Amônia. 3. Dióxido de carbono. 4.
Comportamento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

PEDRO IVO SODRÉ AMARAL

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL E DE BEM-ESTAR DA CRIAÇÃO DE
SUÍNOS EM SISTEMAS DE CAMA SOBREPOSTA E CONVENCIONAL**

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

APROVADA em 20 de Abril de 2016.

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior	UFLA
Dra. Francine Aparecida de Sousa	
Prof. Dr. Leonardo Schiassi	UFLA
Prof. Dr. Leonardo da Silva Fonseca	UNIFENAS

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos
Orientador

LAVRAS – MG

2016

À minha família, fonte de inspiração e superação, em figura de meus pais,

Sandra e Odon.

Às minhas irmãs, Luciana e Mariana e meu sobrinho Vinícius.

À minha amada Bethânia

A DEUS, caminho e direção em todos os momentos

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a DEUS, fonte eterna de luz e paz, caminho e sabedoria.

A meus pais, Sandra e Odon. Sem dúvida, meu porto seguro, minha inspiração e razão. Agradeço pelos ensinamentos, paciência e conselhos. São parte fundamental em tudo e sempre serão meu maior orgulho.

Às minhas irmãs, pelo carinho e amor incondicional. Pelo apoio emocional e pela confiança, amo vocês.

À minha companheira, Bethânia. Por todo amor, pelo ombro amigo, pelos conselhos e principalmente, pela paciência. Sempre me faz seguir e buscar meus sonhos, me fez e faz melhor. Te amo!

A todos meus entes queridos, tios e tias, primos e primas, pelo aporte familiar, estrutura e base na minha formação. Agradeço a vocês pela convivência, pelo amor e por todo apoio.

Aos meus amigos da cidade de Belo Horizonte. Agradeço por toda ajuda, por acreditarem e pelo incentivo fundamental nessa etapa. Vocês sempre serão meus irmãos por escolha.

Aos amigos da cidade de Lavras, que me receberam, fizeram com que eu me sentisse em casa e tornaram meu caminho mais suave. Minha eterna gratidão!

Aos companheiros de pós-graduação que contribuíram de maneira imensurável na execução desse trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia da UFLA, agradeço à Helem, em nome dos funcionários, por todo o auxílio imprescindível nessa jornada.

Aos professores. Agradeço imensamente os ensinamentos, a possibilidade de crescimento e a dedicação a mim conferida.

Ao meu orientador e acima de tudo, amigo, Prof. Dr. Alessandro Torres Campos. Pela oportunidade, benevolência, incentivo, ensinamentos e motivo de orgulho. Agradeço do fundo da alma tudo que fez por mim, grande mestre.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de realização do curso e pela minha formação humana e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao CNPq e à Fapemig pelo suporte financeiro para realização deste projeto de doutorado.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sudeste de Minas, campus Rio Pomba – MG. Agradeço aos funcionários e professores do departamento de Zootecnia que foram de suma importância para a execução e conclusão desse trabalho.

Enfim, agradeço à vida que tenho, agradeço a DEUS por ter tanto e tanta gente a agradecer. Agradeço pela realização desse sonho.

“O mistério da vida me causa a mais forte emoção. É o sentimento que suscita a beleza e a verdade, cria a arte e a ciência. Se alguém não conhece esta sensação ou não pode mais experimentar espanto ou surpresa, já é um morto-vivo e seus olhos se cegaram.”

Albert Einstein

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os aspectos ambientais e de bem-estar em instalações para suínos. O estudo foi realizado no IFET - Sudeste de Minas Gerais, campus Rio Pomba/MG. Foram utilizadas três baias em uma instalação para criação de suínos em fase de terminação, sendo elas com cama sobreposta de maravalha (MAR), cama sobreposta de casca de arroz (CSA) e sistema convencional com piso de concreto (CON) e lâmina d'água. Foram coletados os dados de temperatura do ar (TBS), umidade relativa do ar (UR), temperatura de globo e, por fim, foi calculado o ITGU (índice de temperatura de globo e umidade). Para o ambiente aéreo, foram medidas as concentrações de NH₃ e CO₂ na massa de ar às 08, 10, 14 e 16 horas. Da mesma forma como foram aferidas as temperaturas de piso, superficial e de profundidade (20cm abaixo da superfície). Os parâmetros fisiológicos observados foram a frequência respiratória (FR), a temperatura de pele (TP) e a temperatura retal (TR) às 08, 10, 14 e 16 horas. O comportamento dos leitões foi observado das 08 às 17h30m, a cada 10 minutos. Foram anotados os comportamentos seguindo um etograma com os padrões previamente definidos, além do índice de atividade (IA%). A cada 30 minutos observou-se a distribuição espacial dos suínos, que permaneciam deitados (IO%). Os dados de concentração de NH₃ e CO₂, temperaturas de superfície e profundidade, além do Índice de ocupação de Baía (IO%) foram coletados em pontos espaçados nas baias, totalizando nove locais. Verificou-se que as médias de ITGU foram menores para os tratamentos em cama. Não houve diferenças para a TBS. Todavia, a média para a UR foi menor para MAR. A concentração de NH₃ mostrou-se superior no sistema CON (4ppm) em relação aos demais (2ppm para CSA e MAR). Para o CO₂, a concentração mais elevada foi na CSA (592ppm). Os dados para as temperaturas superficiais e de profundidade foram maiores para a CSA (P<0,01). Os resultados dos parâmetros fisiológicos mostram que a FR dos animais alojados nos sistemas com cama sobreposta foi superior ao sistema convencional. Não houve diferenças para a TP e nem para a TR. Para o comportamento somente houve diferença para o padrão “bebendo”, superior para MAR e “comendo” superior para CON. Os resultados para o IA% revelam frequências mais altas para a CSA em relação ao CON. Verificou-se maior acúmulo de NH₃ nas áreas de banheiro, em todos os sistemas avaliados. Para o CO₂, observou-se que os pontos de maior acúmulo do gás decorrem da concentração de animais e da menor taxa de renovação do ar. Diante do diagnóstico realizado, pode-se afirmar que o sistema em cama sobreposta oferece condições adequadas aos leitões em terminação e entre os materiais de cama avaliados, destaca-se a CSA.

Palavras-chave: Ambiente. Amônia. Dióxido de carbono. Comportamento.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the environmental and welfare aspects of installations for pigs. The study was conducted at the IFET – Southeastern Minas Gerais, Brazil, Rio Pomba/MG campus. We used three stalls in an installation for producing finishing pigs, consisting of wood shavings bedding (MAR), rice husk bedding (CSA) and conventional system with concrete floors (CON) and water blade. Data of air temperature (TBS), relative air moisture (UR) and globe temperature were collected, and the BGHI (black globe and humidity index) was calculated. For the aerial environment, we measured the concentrations of NH_3 and CO_2 in the air mass at 08, 10, 14 and 16 hours. In the same manner, we measured floor, surface and depth (20 cm below the surface) temperatures. The physiological parameters observed were respiratory frequency (FR), skin temperature (TP) and rectal temperature (TR), at 08, 10, 14 and 16 hours. The behavior of the piglets was observed from 08 to 17h30m, every 10 minutes. The behavior were recorded according to an ethogram with previously defined patterns, in addition to activity index (IA%). Every 30 minutes we verified the spatial distribution of the pigs, which remained lying (IO%). The data for NH_3 and CO_2 concentration, surface and depth temperatures, in addition to Stall Occupation Index (IO%) were collected from points spaced within the stalls, totalizing nine locations. The means for BGHI were lower for treatments in bed. There was no difference for TBS. However, the mean for UR was lower for MAR. The concentration of NH_3 was superior in the CON system (4 ppm) in relation to the other systems (2 ppm for CSA and MAR). The data for surface and depth temperatures were higher for CSA ($P < 0.01$). The results of the physiological parameters showed that the FR of the animals housed in the systems with overlapping beds was superior to the conventional system. There were no differences for TP or TR. Regarding the behavior, there only occurred difference for the “drinking” pattern, superior for MAR, and “eating” superior for CON. The results for IA% revealed higher frequencies for CSA in relation to CON. Higher accumulation of NH_3 was verified in the bathroom areas, in all systems evaluated. For the CO_2 , the point of greater gas accumulation occurred due to the concentration of animals and to the lower air renewal rate. Given this diagnosis, we can infer that the system of overlapping bed offers adequate conditions to the finishing piglet and, among the bedding materials evaluated, the CSA is predominant.

Keywords: Environment. Ammonia. Carbon dioxide. Behavior.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Concentração de NH_3 (ppm) para os sistemas convencional (CON), cama sobreposta em casca de arroz (CSA) e cama de maravalha (MAR) em função dos horários de coleta dos dados, sendo 08hs (a), 10hs (b), 14hs (c) e 16hs (d).49
- Figura 2 - Concentração de CO_2 (ppm) para os sistemas convencional (CON), cama sobreposta em casca de arroz (CSA) e cama de maravalha (MAR) em função dos horários de coleta dos dados, sendo 08hs (a), 10hs (b), 14hs (c) e 16hs (d).52
- Figura 3 - Índice de atividade para suínos alojados em baias com cama sobreposta de casca de arroz (CSA), maravalha (MAR) e piso de concreto (CON), em função do horário de observação.69
- Figura 4 - Variação espacial das concentrações de NH_3 em baias com cama sobreposta de casca de arroz (a), substrato em maravalha (b) e com piso em concreto (c).72
- Figura 5 - Variação espacial das concentrações de CO_2 em baias com cama sobreposta de casca de arroz (a), substrato em maravalha (b) e com piso em concreto (c).76
- Figura 6 - Componentes principais para o índice de ocupação das baias (IO%), temperaturas superficiais e de profundidade (piso), concentração de NH_3 e CO_2 para uma baia de sistema em cama sobreposta com casca de arroz (a), com maravalha (b) e piso em concreto com lâmina d'água(c).....83

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Concentrações de dióxido de carbono e amônia, em ppm, no interior de galpões para a criação de suínos em fase de terminação.27
- Tabela 2 - Etograma aplicado nas observações de leitões em terminação.40
- Tabela 3 - Variáveis ambientais observadas em instalações para leitões em fase de terminação, com piso convencional (concreto) e em sistema de cama sobreposta com leito de maravalha e casca de arroz.45
- Tabela 4 - Mediana (intervalo interquartil) para as concentrações dos gases NH₃ e CO₂ para baias alojando suínos em terminação, nos sistemas de cama sobreposta e convencional.....47
- Tabela 5 - Mediana (intervalo interquartil) para as temperaturas de piso, superficiais e de profundidade, para os sistemas convencional e em cama sobreposta, com maravalha e casca de arroz.54
- Tabela 6 - Variáveis fisiológicas observadas em leitões na fase de terminação, alojados em baias de piso convencional (concreto) e em sistema de cama sobreposta com leito de maravalha e casca de arroz.....57
- Tabela 7 - Frequência dos padrões comportamentais observados em suínos durante a fase de terminação, alojados em baias de piso convencional (concreto) e em sistema de cama sobreposta com leito de maravalha e casca de arroz.62
- Tabela 8 - Análise da correlação de Spearman (p-valor) entre as variáveis de índice de ocupação das baias (IO%), temperatura superficial (TS) e de profundidade (TP) (piso), concentração de NH₃ e CO₂ para suínos alojados em sistema de cama

sobreposta com casca de arroz, maravalha e piso em concreto
com lâmina d'água.82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Mercado da carne suína e os aspectos ambientais	17
2.2	Gases de efeito estufa na produção de suínos	21
2.3	Fatores que influenciam as emissões de GEE na suinocultura	23
2.3.1	Sistemas de criação	24
2.3.2	Variáveis do ambiente térmico	27
2.3.3	Estágio de desenvolvimento	29
2.3.4	Composição nutricional das dietas	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Ambiente térmico	34
3.2	Concentração dos gases	36
3.3	Temperatura de piso	37
3.4	Parâmetros fisiológicos	38
3.5	Comportamento animal	39
3.6	Espacialização dos dados	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Ambiente térmico	45
4.2	Concentração dos gases	47
4.3	Temperatura de piso	53
4.4	Parâmetros fisiológicos	56
4.5	Comportamento animal	59
4.6	Dados espacializados	70
5	CONCLUSÃO	85
	REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

O sistema de criação em cama sobreposta concilia características importantes, tais como a reutilização de subprodutos para a confecção das camas e o enriquecimento ambiental para os suínos.

As camas, pela perspectiva do bem-estar animal, configuram uma fonte de material manipulável no qual os animais são capazes de exercer seus comportamentos naturais, reduzindo os períodos de ócio (RAHMAN et al., 2015). Por outra via, o conceito fundamental da tecnologia de cama na produção de suínos, sob a ótica ambiental, fundamenta-se na capacidade de o material, rico em carbono, absorver os dejetos produzidos pelos animais, convertendo-os em um composto orgânico (COSTA et al., 2008).

De acordo com Brunetto et al. (2012), a aplicação em solo da cama sobreposta de suínos como biofertilizante, durante longos períodos, apresenta benefícios em relação aos dejetos líquidos de suíno, como o incremento do estoque de carbono orgânico, a melhora das trocas catiônicas, redução na saturação por alumínio e aumento na saturação por bases do solo, além de não apresentar efeito sobre acidez, quando o solo já estiver corrigido previamente.

Em sistemas convencionais de criação, com manejo dos dejetos líquidos, são perceptíveis algumas limitações e desvantagens, que vão depender do sistema de tratamento adotado. Mas de forma geral, podem-se listar as principais como: os fortes odores frutos do processo de tratamento, a necessidade de grandes áreas para aplicação do biofertilizante, o grande volume de lodo e a dificuldade de transporte e estoque do biofertilizante em caso de comercialização (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Quanto aos aspectos de bem estar animal, Lay Júnior, Hausmann e Daniels (2000) afirmaram que suínos terminados em sistema de cama sobreposta apresentam menor incidência de comportamentos estereotipados, além de

apresentarem menos lesões nas pernas quando comparados aos terminados em sistema convencional.

A privação de estímulos ambientais (ambiente monótono, falta de substratos, palhas, ramos e terra) leva à frustração que pode se refletir em comportamentos anômalos ou estereótipos. Estima-se que ambientes enriquecidos podem reduzir em até 10 vezes a ocorrência dos vícios comportamentais, como o surgimento de caudofagia (BRAGA; DEL'ARCO; DIAS, 2006).

Por fim, a utilização de cama sobreposta para suínos atende de forma satisfatória as exigências do mercado consumidor, por fornecer ambiente sustentável e permitir o incremento em bem-estar animal nas criações. Contudo, deve-se buscar o melhor entendimento sobre alguns aspectos relacionados à decomposição do material e dos resíduos produzidos pelos animais, além dos possíveis efeitos provocados por diferentes substratos de cama.

Sendo assim, verifica-se a necessidade de novas pesquisas acerca do tema, uma vez que a literatura é escassa de informações comparativas quanto às características do ambiente térmico e aéreo, assim como dos aspectos relacionados ao bem-estar, entre instalações convencionais e em cama sobreposta, principalmente em condições brasileiras de clima e manejo.

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver uma avaliação ambiental e de aspectos do bem-estar em instalações para suinocultura, na fase de terminação, nos modelos de cama sobreposta e convencional com piso de concreto e lâmina d'água, utilizando-se dois substratos distintos de cama: maravalha e casca de arroz. Além disso, objetivou-se estudar a dinâmica das concentrações de CO₂ e NH₃ e verificar possíveis relações com o ambiente térmico e parâmetros comportamentais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mercado da carne suína e os aspectos ambientais

O setor industrial da carne suína ocupa lugar de destaque como um dos grandes responsáveis pela sustentação econômica e social de diversos municípios brasileiros. A atividade tornou-se especialmente importante no decorrer dos anos 2000, com o incremento nas exportações na ordem de 700% entre os anos de 1999 e 2009 de acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2015).

Ressalta-se, ainda, a posição de destaque do Brasil no mercado mundial, sendo o quarto na escala global de produção e exportação de carne suína (ABPA, 2015).

Os dados supracitados revelam o cenário favorável à produção brasileira e ao comércio externo de produtos suínos. Por meio de uma análise criteriosa, pode-se entender que o país reúne condições ideais para o desenvolvimento da atividade; acrescido a isso, salienta-se a contínua desvalorização do real frente ao dólar, experimentada no último ano e que contribui para a competitividade do produto brasileiro no exterior, gerando, por fim, aumento da demanda e dos ganhos associados à exportação.

Em reflexo ao atual momento de recessão econômica do país, o abate de suínos no primeiro trimestre de 2015 registrou incremento de 4,2% em relação ao mesmo período de 2014. Por sua vez, quando se analisa o abate de bovinos, no mesmo período, houve retração de 7,7% em relação ao primeiro trimestre de 2014. Esses dados evidenciam o comportamento do mercado interno, que em substituição da tradicional proteína bovina aumenta a procura pela carne suína, mais acessível em tempos de crise, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015).

Nesse sentido, estima-se que até o ano de 2024 a produção de carne suína no Brasil atinja a marca dos 4,3Mt, principalmente devido a maior aceitação da carne pelos consumidores brasileiros, absorvendo próximo de 3,7Mt. Associado ao crescimento interno prospecta-se que as exportações brasileiras se beneficiarão da demanda internacional mais forte, da atual desvalorização do Real e dos baixos custos reais projetados para a ração (devido a abundantes colheitas de milho e soja) (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, OCDE, 2015).

Por outro lado, o crescimento da atividade observado nos últimos tempos e prospectado pela FAO para o futuro próximo, implica por consequência no crescimento dos rebanhos. E nesse caso, os aspectos ambientais da atividade merecem maior atenção, uma vez que o aumento da concentração de animais deve estar em conformidade com os parâmetros de conservação do uso dos solos e da água, pois caso contrário podem agravar os problemas ambientais, principalmente nas regiões cuja densidade animal já é elevada e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e despejos de resíduos líquidos e sólidos por unidade de área já atingiram níveis críticos (SANTOS; MAYERLE; CAMPOS, 2014; SERPA FILHO et al., 2013).

Pensando nisso, os sistemas de tratamento dos resíduos da atividade devem ser concebidos baseados na capacidade de investimento do produtor em comunhão com a disponibilidade de mão-de-obra para a adequada operação das unidades (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005). De acordo com Santos, Mayerle e Campos (2014), as principais tecnologias atualmente disponíveis para esse fim são as esterqueiras, lagoas de estabilização e filtros orgânicos, com destaque para as tecnologias relacionadas à biodigestão anaeróbia e a compostagem.

A biodigestão anaeróbia tem sido largamente empregada para o tratamento dos resíduos, por oferecer além do tratamento adequado do material a

possibilidade da comercialização dos créditos de carbono. Nesse sentido, Angonese, Campos e Welter (2007) relataram que os principais resultados esperados para o tratamento dos dejetos líquidos de suínos com o uso dos biodigestores são: a redução do potencial poluidor em cerca de 90% e a estabilização da matéria orgânica pela redução da relação C/N. Os autores apontam ainda um potencial de redução de 70% nas emissões dos GEE oriundos dos resíduos.

Contudo, as mitigações nas liberações de GEE não ocorrem somente por meio da tecnologia de biodigestão. O emprego da compostagem no manejo dos dejetos, de maneira correta, respeitando-se a necessidade de aeração bem como a relação dejetos/substrato também pode ser eficiente. Para Sardá et al. (2010), a compostagem de dejetos de suínos é capaz de reduzir em 7 (sete) vezes as emissões de metano em comparação ao armazenamento dos resíduos em esterqueiras.

Ainda assim, mesmo dispondo de amplo leque de tecnologias para o tratamento adequado dos resíduos provenientes da atividade suinícola, grande parte das unidades produtoras de suínos (UPS) trata seus resíduos de maneira ineficiente. Nesse sentido, Carvalho, Sousa e Soto (2015) classificaram 37 UPS de ciclo de produção completo no estado de São Paulo e verificaram que 62% das propriedades avaliadas obtiveram conceito insatisfatório quanto ao sistema de gestão ambiental empregado. Este resultado relaciona-se, principalmente, à inadequação ou inexistência de um plano básico de disposição e destino de efluentes e resíduos sólidos.

Os impactos desse cenário ambiental degradante, somente em termos das emissões de GEE, ou seja, desconsiderando-se a poluição dos solos e da água, podem ser verificados em documento oficial do governo brasileiro (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2014). O relatório aponta crescimento na ordem de 7,4% para as emissões oriundas da

agropecuária entre os anos de 2005 e 2012. Em valores absolutos, no ano de 2012, as emissões atingiram o nível de 446,5 milhões de toneladas de C-CO₂ eq, destacando-se em relação aos demais setores econômicos avaliados pelo relatório. Esse dado pode ainda ser considerado subestimado, uma vez que o levantamento aborda um número limitado de atividades agropecuárias.

Nesse sentido, Orrico Júnior e Orrico (2011) afirmaram que o potencial das emissões de metano para a suinocultura é maior em comparação à avicultura de corte e de postura, não só em valores absolutos como também por quilograma de produto obtido. Por meio de revisão da literatura, Philippe e Nicks (2015) apontaram que a suinocultura é responsável por 13% das emissões de gases de efeito estufa relacionadas às atividades agropecuárias em escala global, confirmando sua superioridade em termos de emissão de C-CO₂ eq. em relação à atividade avícola. Por sua vez, quando se analisa a bovinocultura de corte e de leite, os resultados de ambos os autores evidenciam o maior potencial de emissão para os ruminantes. Essa evidência pode ser explicada pela pior conversão alimentar dos bovinos em relação aos monogástricos, além da atividade fermentativa ruminal e o consequente processo de eructação para expelir o metano acumulado no rúmen (BACCARI JÚNIOR, 2015; CARO et al., 2014).

Por outro lado, as criações de bovinos a pasto, quando o sistema é manejado com rigor técnico, apresentam balanço entre as emissões de C-CO₂ eq. pelos animais e a fixação pelo acelerado crescimento das gramíneas/forageiras próximo à nulidade (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012). De acordo com Machado et al. (2011), as forragens representam a segunda maior fonte potencial global de sequestro de carbono, ficando atrás somente das florestas, com capacidade de retirar da atmosfera 1,7 bilhão de toneladas de C-CO₂ eq. por ano. Dessa forma, a bovinocultura extensiva relacionada a um bom manejo de pastagens pode ser considerada uma prática sustentável sob a ótica do

aquecimento global e capaz de mitigar próximo de 80% das emissões oriundas dos processos fermentativos ruminais.

Sendo assim, partindo-se da premissa que a bovinocultura praticada em território nacional, em sua ampla maioria, ocorre por meio de pastejo extensivo, a atividade suinícola passa a ocupar papel de destaque com relação aos volumes de GEE emitidos no Brasil.

2.2 Gases de efeito estufa na produção de suínos

As principais emissões relativas a gases de efeito estufa em escala global decorrem do metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e dióxido de carbono (CO_2) (LÓPEZ et al., 2013).

Especificamente para a produção de suínos, o CO_2 não constitui grande preocupação quanto ao potencial estufa, uma vez que a atividade agrícola que fomenta a produção da proteína animal também é consumidora desse gás, por meio da fixação do carbono pela fotossíntese das plantas utilizadas como base da nutrição animal (milho, soja, trigo, etc). Diferentemente, o N_2O e o CH_4 apresentam elevado potencial estufa, sendo considerados para efeito de cálculo de equivalência em CO_2 , 310 vezes para o N_2O e 21 vezes para o CH_4 . Além dos gases mencionados, a amônia (NH_3) também tem um papel secundário sobre as emissões, influenciando diretamente a produção de N_2O (CABARAUX et al., 2009).

Como resultado do crescente aumento nas emissões de gases de efeito estufa, o relatório *Climate Change – Synthesis Report* (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC, 2014) conclui que o aquecimento global é inquestionável e que as mudanças climáticas observadas nas últimas décadas (desde 1950) são algo sem precedentes há milênios. Os impactos imediatos e já notados são: o aquecimento da atmosfera e dos oceanos, a redução das geleiras e o aumento no nível dos mares.

De forma mais detalhada, diversos autores (CABARAUX et al., 2009; O'MARA, 2011; PHILIPPE; NICKS, 2015) descreveram a produção dos gases de efeito estufa tanto no interior das unidades de criação quanto durante os processos de manejo dos dejetos. Segundo os autores, a atividade suinícola produz grandes volumes de CO₂, fruto da taxa respiratória dos animais, sendo estimada em 1,55 kg dia⁻¹ para um animal de 70 kg de peso. Em adição, o CO₂ oriundo dos resíduos, apesar de ser negligenciado pelas pesquisas, pode atingir volumes de 4-5% do total observado para a produção derivada da taxa respiratória.

Contudo, dentre todos os gases gerados pela suinocultura e que contribuem para o agravamento do efeito estufa, o metano ocupa lugar de destaque. O CH₄ pode ser produzido pela fermentação entérica nos animais e durante o manejo dos resíduos. Em termos da fisiologia digestiva dos suínos, o volume de metano gerado depende dos níveis de inclusão de fibras dietéticas, e consequentemente da fase de criação, sendo maior para animais adultos. Entretanto, os volumes gerados pelos processos digestórios são superados pelo volume de metano advindo do processo de degradação dos resíduos. Nesse caso, o gás é produzido pelo contato da matéria orgânica dos dejetos com bactérias metanogênicas presentes no ambiente. De acordo com o *Climate Change – Synthesis Report* (IPCC, 2014), a principal fonte de emissão para a atividade suinícola decorre justamente do manejo dos dejetos.

Além do CH₄, outro gás que contribui para o aumento do efeito estufa da atmosfera terrestre e está relacionado também à produção de suínos é o N₂O. Esse gás se origina somente dos dejetos, e sua formação ocorre durante o processo incompleto de nitrificação/desnitrificação dos compostos nitrogenados. O N₂O apresenta tempo de vida superior a 120 anos e seu processo de degradação na estratosfera forma o óxido nítrico (NO), contribuindo para a destruição da camada de ozônio. Os fatores que mais influenciam sobre as

emissões do N₂O são a concentração de O₂ no meio, a relação C/N ou DQO/N e as concentrações de nitrito e amônia (BORTOLI et al., 2012).

De acordo com López et al. (2013), os gases previamente mencionados, CH₄, N₂O e CO₂, respondem por 98% de todo estoque global de GEE e existe grande possibilidade de sua importância aumentar ainda mais no decorrer do século XXI. Esse dado reforça a necessidade da adoção de práticas capazes de mitigar as emissões relacionadas à suinocultura.

2.3 Fatores que influenciam as emissões de GEE na suinocultura

De antemão, torna-se necessário conceituar os termos envolvidos na pesquisa sobre os gases em ambientes de criação. Para a concentração, define-se a quantificação dos gases de interesse em relação à massa total de ar, sendo expressa por uma razão entre quantidades, volumes ou ambos. Já para as emissões, define-se o estudo capaz de avaliar a produção e liberação dos gases (quantificação) por unidade animal ou unidade de área em relação ao tempo.

Quando se analisa as taxas de emissão de GEE (equação (1)), levam-se em consideração as concentrações dos gases de interesse, no ambiente interno e externo às instalações, bem como a taxa de renovação do ar ou taxa de ventilação observada na unidade construtiva e o número de animais alojados, assim como a metodologia descrita por Dong et al. (2007).

$$TE = TV \times ([C_i] - [C_e])/N \quad (1)$$

Sendo:

TE = Taxa de emissão, em mg h⁻¹ suíno⁻¹.

TV = Taxa de ventilação, em m³ h⁻¹.

[C_i] e [C_e] = Concentração dos gases, interno e externo à baia, em mg m⁻³.

N = Número de animais na baia.

Para galpões com tipologia construtiva voltada a regiões com baixas temperaturas médias, ou seja, unidades fechadas e sistema de ventilação artificial e exaustão, a mensuração das taxas de renovação de ar é de fácil aplicação, bastando somente o cálculo do volume de ar dispendido pelas saídas por meio das dimensões das aberturas e da vazão obtida com o uso de sensores. Porém, para galpões abertos, predominantes em regiões tropicais, a mensuração das taxas de ventilação torna-se tecnicamente difícil, devido à baixa precisão e sensibilidade da metodologia convencional para esses casos (NI et al., 2012).

Os estudos relativos às emissões são, de forma geral, divididos quanto ao seu escopo. Eles podem objetivar o bem-estar animal ou de uma forma mais abrangente, os impactos promovidos pelas emissões em relação ao efeito estufa numa escala global. No último caso, as avaliações das emissões devem ser procedidas tanto nos ambientes internos dos galpões quanto nas estruturas de transporte, armazenamento e tratamento dos resíduos (REBOLLEDO; GIL; PALLARÉS, 2013).

As taxas de emissão de GEE observadas na suinocultura dependem de uma série de fatores, como os sistemas de criação adotados (convencional, cama sobreposta, SISCAL, etc.) e manejo dos resíduos, as variáveis do ambiente térmico, estágio de crescimento dos animais, composição dietética das rações, entre outros.

2.3.1 Sistemas de criação

Para Philippe e Nicks (2015), a influência de fatores como o uso de pisos ripados e as proporções das áreas ripadas, além das estratégias de remoção dos dejetos das instalações impactam diretamente sobre as concentrações e, no âmbito geral, nas emissões de GEE. Além disso, sistemas alternativos, com a

deposição de substratos no revestimento do piso, também promovem diferentes respostas relativas à dinâmica dos gases.

Dentre esses sistemas, destaca-se a cama sobreposta, que sob o aspecto ambiental, funciona baseada nos processos de compostagem e pode ser definida como uma forma de tratamento biológico dos resíduos, de caráter exotérmico, predominantemente aeróbico, que resulta na estabilização da matéria orgânica. (COOK et al., 2015; SANTOS; MAYERLE; CAMPOS, 2014).

Além do sistema em cama sobreposta, existem diferentes possibilidades para o emprego de substratos nos pisos para galpões de suinocultura. E dessa forma, os diferentes sistemas que empregam a tecnologia resultam em variadas respostas quanto às emissões. Nesse sentido, Philippe et al. (2012) mostraram que galpões de engorda em cama sobreposta apresentaram concentrações de N_2O , CH_4 e CO_2 até 55%, 46% e 10% superiores às instalações baseadas num novo conceito, o sistema em piso de fluxo de palha.

Nesse sistema, ainda pouco usual em território brasileiro, visa-se ao incremento em bem-estar animal com a utilização dos substratos em palha sem os malefícios relacionados ao manejo da cama (KELLY et al., 2000). O modelo baseia-se na oferta de palha aos animais, por meio de um espaço reservado ao estoque do material. Ou seja, aproveitando-se do comportamento natural exploratório dos suínos, a palha estocada em um compartimento, na parte frontal da baia e anexo aos comedouros, é espalhada sobre o piso pelos animais, sendo que o volume de material é repostado diariamente nos compartimentos, para que o espalhamento no piso ocorra de maneira gradativa. Além disso, as baias apresentam declividade do piso suficiente para que haja escoamento de dejeções líquidas até uma canaleta de coleta, promovendo a separação de fases dos dejetos.

Nesse caso, a incorporação gradativa do material de palha possibilita maior homogeneidade da mistura dejeito/substrato, fato que pode implicar sobre

a dinâmica das emissões de gases no interior dos galpões. Outra justificativa para os resultados pode ser devido à separação de fases provida pelo sistema, capaz de reduzir as emissões de GEE dos resíduos, como afirmado por Philippe & Nicks (2015).

Em comparação ao convencional piso ripado, Cabaraux et al. (2009) reportaram maiores emissões gasosas na cama, principalmente para o NH_3 . Além disso, os autores destacam que o uso da serragem como substrato pode ser especialmente danoso, tanto nas emissões de CO_2 quanto N_2O . Em contrapartida, observaram-se menores concentrações de N no material de saída da cama em relação aos dejetos líquidos de suínos (DLS).

Sob o aspecto do bem-estar animal, Zhou et al. (2015) apontaram concentrações de NH_3 e de CO_2 significativamente mais baixas (83% e 55%, respectivamente) para o ambiente interno de galpão em cama sobreposta quando comparado aos valores observados para galpão convencional em piso de concreto. Os autores justificam esse resultado pela maior frequência de micção observada nos animais em piso de concreto, além da maior atividade da enzima urease nesse sistema. Quanto às concentrações de CO_2 , os autores negam haver diferença na produção metabólica do gás e justificam os resultados pelo maior tempo de exposição dos resíduos no sistema convencional, havendo maior e mais rápida hidrólise da uréia em NH_3 e CO_2 , bem como degradação aeróbica do material.

Esses resultados são corroborados por Paulo et al. (2009), que observaram menores concentrações de amônia para galpões em cama sobreposta, com substratos de maravalha e casca de arroz, para suínos em fase de crescimento/terminação quando comparados à instalação em piso de concreto.

Na Tabela 1 são listados alguns resultados disponíveis na literatura para as concentrações de CO_2 e NH_3 . Pode-se observar que os resultados

apresentados se mostram divergentes, e dentre as várias possibilidades de resposta para essa instabilidade, destacam-se a amplitude das variáveis do ambiente térmico para cada região analisada e as práticas decorrentes do manejo. Diante disso, tornam-se necessárias pesquisas para melhor atribuir e identificar os principais fatores que impactam sobre as concentrações e emissões de GEE em condições brasileiras.

Tabela 1 - Concentrações de dióxido de carbono e amônia, em ppm, no interior de galpões para a criação de suínos em fase de terminação.

Sistema	UR%	Tbs(°C)	[CO ₂]	[NH ₃]	Autores
Cama Sobreposta	59,0		744,8	4,4	¹
			-	3,14	²
Convencional	60,5		1663,0	26,4	¹
			-	5,2	²
Ventilação Natural		20,2	1828,0	-	³
	58,0	19,2	800	2,10	^{4;5}
Convencional	56,9	18,4	966	3,44	^{4;5}
Ventilação Mecânica	56,0	27,0	2034,0	18,7	⁶
		18,4	-	6,13	⁷

Adaptado de ¹Dong et al. (2007); ²Paulo et al. (2009); ³Saha et al. (2010); ⁴Van Ransbeeck, Van Langenhove e Demeyer (2013); ⁵Zhou et al. (2015); ⁶Zong et al. (2014a); ⁷Zong et al. (2014b).

2.3.2 Variáveis do ambiente térmico

As variáveis do ambiente térmico influenciam fortemente a dinâmica das emissões de gases de efeito estufa em suinocultura. De acordo com Viguria et al. (2015), as emissões de CH₄, CO₂ e NH₃ derivadas de lagoas de lodo oriundo da suinocultura apresentam sensível decréscimo em virtude de temperaturas mais baixas.

Flutuações sazonais nas emissões podem ser percebidas para a maior parte dos gases de efeito estufa no ambiente de suinocultura. Segundo Philippe et al. (2011), as emissões de NH_3 sofrem influência das estações do ano e podem-se notar maiores taxas durante o verão e menores no período de inverno. Esse comportamento pode ser explicado pelas temperaturas e ou taxa de ventilação mais elevadas no período de verão, fato que contribui para a liberação do gás.

Além disso, os autores afirmaram haver padrões diários para as emissões de NH_3 . Sendo que o gás está relacionado ao nível de atividade dos animais e aos comportamentos de micção e excreção. Esse fato é corroborado por Zhang et al. (2005), que avaliando emissões de NH_3 em galpões para bovinos afirmaram haver um padrão nictemeral de liberação, com menores taxas observadas após a meia-noite, dados os menores níveis de atividade animal e as menores temperaturas do ar.

No caso do CO_2 , Pedersen et al. (2008) afirmaram que a produção e emissão do gás também estão intimamente relacionadas à atividade animal, uma vez que o CO_2 é fruto das taxas metabólicas. Portanto, pode-se concluir que as emissões de CO_2 derivadas do modelo animal sofrem interferência direta da massa corporal e do nível de alimentação, e influências indiretas das variações diárias e sazonais dos parâmetros do ambiente térmico.

Em contrapartida, Stinn et al. (2014) apontaram uma correlação negativa entre as variáveis do ambiente térmico e a concentração dos gases CO_2 , CH_4 e NH_3 em galpões de suínos em fase de gestação e maternidade, ou seja, à medida que as temperaturas aumentam as concentrações são reduzidas. Por sua vez, para o NO_2 , verificou-se um comportamento quadrático, sendo as menores concentrações observadas em torno dos 10°C para a temperatura de bulbo seco do ar.

Da mesma forma, em um estudo com galpões de galinhas poedeiras, Zhao, Xin e Shepherd (2013) relataram haver correlação negativa entre as variáveis de concentração de CO₂ e NH₃, e emissão de NH₃ com as temperaturas do interior dos aviários.

Todavia, ambos os trabalhos de Stinn et al. (2014) e Zhao, Xin e Shepherd (2013) foram realizados em galpões fechados com pressão negativa e equipados de exaustores. Portanto, com o aumento da temperatura do ar, o sistema aumentava as taxas de renovação a fim de se evitar o aquecimento excessivo do ambiente, por meio do acionamento dos ventiladores. Dessa forma, as concentrações dos gases mensurados no interior dos galpões foram menores à medida que eram registradas temperaturas internas mais elevadas.

Nesse mesmo sentido Zhao et al. (2014) avaliando três tipologias distintas para galpões de aves de postura verificaram que as concentrações de CO₂ e NH₃ foram menores quanto maior a temperatura ambiente (e taxa de ventilação), todavia as concentrações de CH₄ apresentaram comportamento inverso, sendo mais altas quanto maiores as temperaturas.

2.3.3 Estágio de desenvolvimento

Quanto aos estágios de desenvolvimento dos animais, Dong et al. (2007) encontraram maiores concentrações de CH₄ em instalações de creche, seguido por unidades de crescimento e terminação, gestação e maternidade. Esse fato pode ser explicado pelas elevadas taxas metabólicas observadas para animais em fase inicial, além da demanda térmica dos leitões mais novos por ambientes mais bem aquecidos.

Em seguida, as instalações de crescimento e terminação analisadas apresentam maiores taxas de emissão de gases em comparação às categorias de reprodutores (gestação e maternidade). Justifica-se essa ocorrência pelo manejo

de alimentação *ad libitum* praticado em animais de produção, além da densidade animal mais elevada (DONG et al., 2007).

Avaliando instalações de gestação e maternidade, Stinn et al. (2012) verificaram que as emissões em salas de maternidade foram superiores para os gases NH_3 , CO_2 e N_2O em relação à gestação, considerando gramas por dia por UA (UA = 500kg de peso vivo). Provavelmente, os resultados encontrados relacionam-se à demanda proteica das fêmeas lactantes e dos leitões lactentes, tendo, portanto, rações com elevados níveis de proteína bruta e como consequência, maior excreta de N. Para o CO_2 , as maiores emissões decorrem das maiores taxas metabólicas das fêmeas e suas leitegadas.

Somente o gás CH_4 apresentou maiores emissões para os galpões de gestação. Como já descrito, o CH_4 produzido pelos animais depende diretamente do conteúdo de fibra dietética e nesse caso, as fêmeas em gestação, comumente, recebem rações com maiores níveis de fibra com o intuito de acelerar a taxa de passagem da excreta pelo trato digestório e promover sensação de saciedade diante de um programa nutricional restritivo.

2.3.4 Composição nutricional das dietas

Claramente é possível estabelecer a relação entre a nutrição dos suínos e a emissão de gases de efeito estufa, sejam as emissões fruto dos processos digestórios ou da degradação dos dejetos. As principais estratégias abordadas no aspecto nutricional para promover a mitigação da liberação dos gases são a manipulação dos níveis de proteína bruta e fibra bruta contidos nas rações, além da utilização de aditivos que permitam melhor digestibilidade e conversão alimentar (KAUFMANN, 2015; PHILIPPE; NICKS, 2015).

As emissões muitas vezes dependem, não só dos níveis de inclusão dos nutrientes na dieta, mas também da qualidade da matéria-prima utilizada. Nesse sentido, Beccaccia et al. (2015a) encontraram valores de emissões de NH_3 e CH_4

para suínos em crescimento e terminação diferente quando avaliaram três rações distintas quanto às fontes de fibra, porém com níveis similares de inclusão. Da mesma forma, observaram variações significativas no potencial de emissão dos gases quando avaliaram diferentes fontes proteicas em rações isonutritivas (BECCACCIA et al., 2015b).

A redução na inclusão da proteína bruta nas dietas, com suplementação dos aminoácidos sintéticos, é uma importante alternativa para reduzir as emissões, principalmente de NH_3 , pela redução da excreção de N e otimização do uso dos compostos nitrogenados pelos animais (HANSEN et al., 2014). Além disso, a redução da proteína bruta na dieta (menos de 190g kg^{-1}) associada à inclusão de fibras moderadamente fermentáveis reduz a produção de metabólitos prejudiciais pela flora bacteriana presente no intestino grosso, reduzindo problemas entéricos nos animais (JHA; BERROCOSO, 2015).

A utilização de estratégias nutricionais visando à redução na excreção de nutrientes, e consequentemente, a mitigação nas emissões de GEE derivadas do manejo de dejetos é uma prática viável e deve ser aplicada, principalmente pelo apelo sustentável que o mercado consumidor exige, cada vez mais, das atividades pecuárias. Nesse sentido, Pena et al. (2013) demonstraram não haver diferenças quanto ao desempenho e carcaça de suínos alimentados com diferentes rações baseadas nos modernos conceitos de otimização de nutrientes, como o uso de fitase, suplementação de aminoácidos e fontes minerais orgânicas/inorgânicas.

Atualmente, várias linhas de pesquisa objetivam desenvolver novas estratégias nutricionais para a moderação das emissões na atividade suinícola. A literatura indica que a utilização de carboidratos não amiláceos (CNA) nas rações pode contribuir de forma efetiva na redução das emissões de NH_3 , estima-se que para o incremento de 100g no consumo de CNA seja possível reduzir em 5,4% as emissões de NH_3 (MONTALVO et al., 2013).

Portanto, como explicitado, estratégias nutricionais devem ser implementadas em conjunto com práticas de outras ordens, visando amenizar as emissões de GEE. Os sistemas de tratamento tornam-se mais eficientes à medida que o uso dos nutrientes torna-se mais racional, ou seja, a excreção de nutrientes é reduzida (KAUFMANN, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no setor de suinocultura do departamento de Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Sudeste de Minas Gerais, campus Rio Pomba/MG. O Município situa-se na Zona da Mata mineira e apresenta altitude média de 437 m, com coordenadas de latitude 21° 16' 45" sul e longitude 43° 10' 30" oeste. O clima da região é Cwa (temperado, com verão chuvoso e quente), segundo a classificação de Köppen (JACOVINE et al., 2008).

A instalação utilizada para a criação de suínos em fase de crescimento e terminação possui orientação na direção leste-oeste, com pé-direito de 2,50 m, telhado de duas águas coberto com telhas de fibrocimento de 6mm e pintadas externamente de branco com beiral de 0,8m nas laterais. Paredes em alvenaria de um tijolo (0,25m de espessura), divisórias internas e externas de alvenaria de 1,1m de altura de meio tijolo (0,15m de espessura), confeccionadas em tijolos de 6 (seis) furos e pilares de concreto armado.

Apesar de o galpão pertencer ao setor de Zootecnia de um Instituto Federal, a instalação era utilizada para fins comerciais, sendo os animais produzidos vendidos a intermediários do mercado local e o excedente comercializado sob a forma de diferentes cortes *in natura*, defumados ou embutidos, na própria instituição

Cada tratamento foi composto pela baia alojando 15 animais com peso médio inicial de 64,8±6,7kg (terminação), incluindo machos e fêmeas híbridos comerciais. A coleta dos dados foi procedida no período entre 24 de novembro de 2014 e 22 de dezembro do mesmo ano.

Foram utilizadas três baias no estudo, sendo elas em cama sobreposta com leito de maravalha (MAR), cama sobreposta com leito de casca de arroz (CSA) e sistema convencional com piso de concreto (CON) e lâmina d'água. Cada baia com dimensão aproximada de 6,0 x 4,0m e área total de 24 m²,

incluindo as plataformas de concreto com dimensão de 1,5 x 4,0m de largura, equipadas com um comedouro semiautomático com quatro sítios de alimentação e dois bebedouros do tipo chupeta instalados cada um em uma concha metálica.

Os tratamentos com cama sobreposta utilizaram leito de substrato com 0,5m de profundidade, valor comumente empregado nos sistemas de produção comercial. As camas foram depositadas no início da fase de crescimento, quando os animais entraram nas baias, com peso médio de 25kg, onde permaneceram por mais 75 dias até o início das coletas de dados. Esse procedimento foi necessário para que houvesse uma mínima incorporação das dejeções inicialmente e os resultados fossem mais fidedignos quanto ao perfil ambiental do sistema de cama. O manejo de reposição do substrato foi procedido em pontos específicos das baias, observando-se o acúmulo de água ou dejeções.

Para o sistema em piso compacto de concreto, a limpeza da área se dava diariamente, no período da tarde, entre as 14 e 15 horas. A água, bem como as dejeções, acumulava-se na área de lâmina d'água, no fundo da baia e era escoada uma vez ao dia, com o auxílio da declividade e por meio de tubulação instalada em uma das extremidades laterais. O material era então destinado a um sistema de esterqueira, a 70m de distância da instalação, onde permanecia até que fosse utilizado na fertirrigação de pastagens.

3.1 Ambiente térmico

Os dados relativos ao conforto térmico ambiental 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, em intervalos de cinco minutos.

Para a obtenção das temperaturas de globo negro utilizou-se um sensor externo, inserido em um globo negro confeccionado manualmente a partir de

luminárias plásticas com diâmetro de 150mm, pintado interno e externamente com tinta *spray* preto fosco. Os globos foram previamente selecionados e acurados, com base no critério do menor desvio em relação às temperaturas registradas por um termômetro de globo da marca *Instrutherm* modelo TGD-300, com temperatura de operação na faixa entre -5 e 60°C, resolução de 0,1°C e precisão de 0,5°C.

Os conjuntos de sensores *dataloggers* e globo negro, um para cada tratamento, foram posicionados no centro das baias a 1,20m da altura do piso (SAMPAIO et al., 2004). Para a caracterização do ambiente térmico, foi utilizado, além dos dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, o índice do ambiente ITGU (Índice de temperatura de globo e umidade).

O índice ITGU foi calculado por meio da equação (2), proposta por Buffington et al. (1981).

$$ITGU = Tg + 0,36Tpo - 330,08 \quad (2)$$

em que:

Tg: temperatura de globo negro (K);

Tpo: temperatura do ponto de orvalho (K).

Os equipamentos foram programados para registrar os dados em intervalos de cinco minutos, das 08 às 17 horas. Ao final de cada dia, os equipamentos eram acoplados no computador para que as informações fossem extraídas.

O experimento foi concebido em um delineamento com blocos casualizados e esquema em parcelas subdivididas. Sendo considerados os dias como os blocos, os tratamentos (tipos de piso das baias) como as parcelas e na subparcela os horários de coleta (08 às 17 horas).

Após confirmar a normalidade dos dados, por meio de estatística descritiva do conjunto, com a observância de parâmetros como a média, mediana, desvio-padrão, intervalo interquartil, medidas de assimetria e curtose, procedeu-se uma análise de variância, seguindo o delineamento proposto, com aplicação do teste de médias de Scott-Knott com significância de 95% (CALDARA et al., 2012; OLIVEIRA; GODOI; PASSINI, 2015). Por fim, foram compostos gráficos de linha em função dos horários de coleta para cada uma das variáveis estudadas, a fim de se investigar a dinâmica da variação dos parâmetros ao longo do dia.

As análises foram conduzidas pelos pacotes estatísticos “R” versão 3.1.1 (R CORE TEAM, 2014) e Minitab versão 16.1.0 (MINITAB, 2010).

3.2 Concentração dos gases

Os dados para as concentrações de NH_3 e CO_2 na massa de ar foram medidos em quatro horários ao longo do dia às 08, 10, 14 e 16 horas, totalizando seis dias de coleta. Em cada horário foram procedidas as leituras das concentrações gasosas à altura dos animais e em nove pontos de coleta por baia (quadrantes virtuais), com o objetivo de se obter a distribuição espacial dos parâmetros.

As concentrações de NH_3 foram obtidas utilizando-se um leitor modelo *ToxiRAE Pro* equipado com filtro para NH_3 com leitor digital, capaz de operar na faixa de 0 a 100 ppm e resolução de 1 ppm com acurácia de $\pm 0,1$ ppm. As medições de CO_2 foram tomadas por meio de um sensor da marca *Testo®*, modelo 535, de “princípio infravermelho”, com resolução de 1 ppm e acurácia de ± 50 ppm, que detecta a concentração instantânea numa faixa de medição de 0 a 10.000 ppm.

Os equipamentos foram posicionados à altura dos animais, cerca de 30 cm do solo em cada ponto de coleta (PAULO et al., 2009). As leituras foram

realizadas após a estabilização dos sensores, com duração média de 60 segundos em cada quadrante.

As análises das concentrações foram feitas utilizando-se o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis com 95% de significância, uma vez que os dados não preenchem os preceitos de normalidade exigidos pela análise variância e pelos testes paramétricos, assim como verificado e feito por Van Ransbeeck, Van Langenhove e Demeyer (2013). Foram comparadas as medianas entre os sistemas de criação adotando-se a baía como unidade experimental, para tal foi utilizado o pacote estatístico Minitab 16.1.0 (MINITAB, 2010) com o auxílio de uma macro capaz de executar comparações múltiplas entre os tratamentos (*Post-hoc*).

Para avaliar a variação das concentrações de NH₃ e CO₂, dentro de cada horário analisado (08, 10, 14 e 16hs), foram compostos gráficos *boxplot* com intervalo de confiança de 95% para a mediana, tal como Silveira et al. (2009).

3.3 Temperatura de piso

Os dados relativos às temperaturas de piso, superficial e de profundidade seguiram o mesmo esquema para as leituras dos gases, sendo amostrados em nove pontos por baía (quadrantes virtuais) e por horário (08, 10, 14 e 16hs), totalizando 6 (seis) dias de coleta.

Para a temperatura de superfície, utilizou-se um termômetro infravermelho da marca *Fluke*®, com precisão de $\pm 1,5\%$ da leitura. As temperaturas de profundidade foram aferidas com o auxílio de um termômetro tipo espeto da marca *Incoterm*®, capaz de medir a uma profundidade de 20 cm.

As análises das temperaturas foram feitas utilizando-se o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis com 95% de significância, uma vez que os dados não preenchem os preceitos de normalidade exigidos pela análise variância e pelos testes paramétricos. Foram comparadas as medianas entre os

sistemas de criação adotando-se a baía como unidade experimental, para tal foi utilizado o pacote estatístico Minitab 16.1.0 (MINITAB, 2010) com o auxílio de um macro capaz de executar comparações múltiplas entre os tratamentos (*Post-hoc*).

3.4 Parâmetros fisiológicos

Os parâmetros fisiológicos observados foram a frequência respiratória, a temperatura de pele e a temperatura retal. Os dados foram anotados uma vez por semana em quatro horários por dia de avaliação, sendo às 08, 10, 14 e 16 horas, totalizando quatro dias de coleta. Para avaliação dos parâmetros, foram escolhidos aleatoriamente três animais por tratamento, que foram marcados e observados durante todo o período.

As temperaturas pele (TP) foram aferidas através de um termômetro a laser, sem contato, em três pontos distintos: nuca, paleta e pernil. O equipamento contava com um marcador a laser que era posicionado na região mais central possível à área de leitura e distanciado a cerca de 20cm da pele dos animais. Dessa forma, a temperatura superficial foi obtida pela média dos três pontos avaliados (CALDARA et al., 2012).

A frequência respiratória (FR) foi feita através da contagem de movimentos de flanco, durante 15 segundos, extrapolando, posteriormente, para um minuto (CALDARA et al., 2012; KIEFER et al., 2010). A contagem se dava com o observador na área externa à baía, auxiliado por uma pessoa com um cronometro para marcação do tempo.

A temperatura retal (TR) foi obtida por meio de termômetro clínico digital com sinalização sonora para estabilização, que ocorria em média em até 60 segundos, assim como Kiefer et al. (2010). Durante as coletas, não houve nenhum tipo de contenção para a realização das leituras.

Os parâmetros fisiológicos foram avaliados segundo um delineamento em blocos casualizados e arranjo em parcelas subdivididas, sendo considerada a baía como unidade experimental, os dias como o efeito de bloco, os sistemas de criação como parcela e as horas como subparcela.

Após avaliação prévia dos dados e confirmação dos preceitos de normalidade, foi feita uma análise de variância, seguindo as fontes de variação já mencionadas, bem como as suas interações. Para investigação das médias, optou-se pelo teste Scott-Knott com significância de 95%, tal como Caldara et al. (2012). O estudo foi feito com o auxílio dos pacotes estatísticos “R” versão 3.1.1 (R CORE TEAM, 2014) e Minitab versão 16.1.0 (MINITAB, 2010).

3.5 Comportamento animal

O comportamento dos leitões foi observado uma vez por semana, das 08 às 17 horas e 30 minutos. As observações foram procedidas pelo mesmo observador, de forma discreta e na parte externa das baias, para que a interferência fosse a mínima possível, a cada 10 minutos. Foram anotados os comportamentos de cinco animais por baía, previamente marcados com bastões de marcação.

Um etograma de comportamento foi previamente composto considerando as recomendações de Amaral et al. (2014). Os comportamentos anotados, bem como suas características, foram listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Etograma aplicado nas observações de leitões em terminação.

Comportamento	Características
Deitado	Animal deitado;
Comendo	Cabeça baixa, focinho no comedouro;
Bebendo	Cabeça baixa, focinho no cocho d'água;
Explorando	Animal fuçando o chão, paredes, grades ou cochos;
Interagindo	Interagindo com o companheiro de baia através do focinho;
Sentado	Posição sentada sobre as patas traseiras;

A contagem de padrões etológicos inicialmente foi convertida à frequência de observação, ou de outra forma, à porcentagem de execução de cada comportamento em uma hora observada. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise não paramétrica de Friedman, considerando o fator hora como bloco e sistema de criação como tratamento. Em caso de diferenças significativas, procedeu-se o teste *post-hoc* de Wilcoxon-Nemenyi-McDonald-Thompson para a identificação das diferenças entre as medianas por meio de comparações múltiplas.

Os dados foram analisados empregando-se os pacotes estatísticos “COIN” (HOTHORN et al., 2008a) e “MULTCOMP” (HOTHORN; BRETZ; WESTFALL, 2008) do *software* ”R” (R CORE TEAM, 2014) e a aplicação do código para o *post-hoc* de “Tal Galili”, publicado no r-statistic.com (R-STATISCS BLOG, 2010).

De forma complementar ao levantamento dos padrões comportamentais, a cada 30 minutos observou-se a distribuição espacial dos suínos, que permaneciam deitados no interior das baias, segundo a divisão virtual de nove quadrantes igualmente espaçados, assim como feito para a análise das concentrações gasosas e temperaturas de piso. Nessa observação, diferentemente do que foi feito para os padrões comportamentais, todos os animais foram levados em consideração

Por meio desses dados, calculou-se o Índice de Ocupação de Baía (IO%). Esse índice é baseado na porcentagem do total de animais deitados, durante aquela observação, no qual se leva em consideração a proporção de animais que ocupam determinada área da baía. Com essa variável, pretende-se entender como os animais se distribuem na baía e suas preferências em termos de área para descanso, além de servir como base para o levantamento do Índice de Atividade.

O Índice de Atividade, assim como definido por Zong et al. (2014b), foi obtido pela frequência ou tempo de observação em que os animais não estão deitados.

3.6 Espacialização dos dados

A espacialização dos dados foi feita para as variáveis de concentração de NH_3 e CO_2 , temperaturas de superfície e, por fim, para o Índice de ocupação de Baía (IO%).

Esses dados foram coletados considerando-se uma malha regular de dimensão de 3 x 3, com pontos espaçados em 2m na largura e 3m no comprimento das instalações.

Para as concentrações dos gases NH_3 e CO_2 , foram compostos mapas de isolinhas, para cada sistema avaliado, levando em consideração as coordenadas e as leituras de concentração gasosa realizadas nos pontos aferidos. Para tal, utilizou-se o método de interpolação baseado no inverso do quadrado da distância euclidiana entre os pontos. Segundo Alves et al. (2015), esse método trata-se de um modelo determinístico de efeito local, onde cada ponto é estimado a partir da interpolação dos valores amostrais mais próximos.

Apesar de as características em estudo apresentarem também efeito global, a influência dos aspectos locais sobre a amplitude dos valores é de grande relevância e o emprego de métodos de interpolação estatísticos de efeitos

locais e globais, como o caso da Krigagem, pode produzir resultados com superfícies suavizadas em demasia, tornando os efeitos locais menos evidentes.

Outro fato relacionado à escolha do método faz referência ao reduzido número de pontos amostrados ($n=9$). Nesses casos, onde o n amostral é baixo, a Krigagem e o inverso do quadrado da distância não diferem qualitativamente na interpolação de dados, como o caso do presente estudo (BABA; VAZ; COSTA, 2014).

Os dados especializados para as variáveis de temperatura de superfície, de profundidade e o Índice de Ocupação de Baía (IO%) foram utilizados, juntamente com os parâmetros de concentração dos gases, na análise multivariada de componentes principais.

Os valores de entrada da análise foram compostos pelas médias de cada variável, para cada ponto amostral da malha e em cada horário de coleta. A análise dos componentes principais pode ser aplicada em diversas situações e com variados objetivos. Comumente empregado na área agrícola com o intuito de reduzir a dimensionalidade dos dados, eliminando variáveis redundantes com a menor perda de informação possível. Dessa forma, possibilita o emprego racional de recursos financeiros e humanos na coleta de dados experimentais (BARBOSA et al., 2006; PAIVA et al., 2010; PEREIRA-DA-SILVA; PEZZATO, 2000; STRAPASSON; VENCOVSKY; BATISTA, 2000).

Todavia, a ferramenta dos componentes principais também é adequada na identificação de padrões, por meio da análise da magnitude dos vetores. Nesse sentido, no presente estudo, buscou-se associar as variáveis através dos vetores gerados nos componentes principais, sendo considerados de forte correlação positiva aqueles que apresentam mesma direção e sentido. De maneira inversa, aqueles com mesma direção e sentidos opostos foram caracterizados por correlação negativa e, por fim, angulações de 90 graus foram interpretadas por correlação nula. Vetores de baixa magnitude foram

descartados, uma vez que configuram pequena proporção da variação total dos dados (MASSARI et al., 2015).

Os resultados dos componentes principais foram exibidos através de um gráfico com vetores dos autovalores calculados para cada um dos parâmetros. Além disso, foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman, baseados na associação linear entre os postos ranqueados dos valores de cada variável. Para essas análises, foi utilizado o pacote estatístico Minitab versão 16.1.0 (MINITAB, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ambiente térmico

Os dados relativos ao ambiente térmico foram apresentados na Tabela 3. Verificou-se que as médias diárias de ITGU foram menores para os tratamentos em cama sobreposta com maravalha e casca de arroz. Não foi possível observar diferenças entre as temperaturas do ar, tanto na média geral, quanto nos horários avaliados. Todavia, a média diária para a umidade relativa do ar foi menor para o tratamento em cama sobreposta com substrato de maravalha.

A média geral para as temperaturas foi próxima a 29°C com umidade relativa entre 59 e 60%, para todos os tratamentos. Como esperado, a faixa de hora onde são registradas as maiores temperaturas do dia, entre as 14 e 15hs, também foi para os valores mais elevados de ITGU, superando a marca dos 80.

Tabela 3 - Variáveis ambientais observadas em instalações para leitões em fase de terminação, com piso convencional (concreto) e em sistema de cama sobreposta com leito de maravalha e casca de arroz.

Hora	Variáveis								
	ITGU			Temp. (C°)			UR (%)		
	MAR	CSA	CON	MAR	CSA	CON	MAR	CSA	CON
08 hs	72,9a	73,2a	73,5a	24,5a	24,5a	24,6a	72,1a	75,5a	75,9a
09 hs	74,8a	74,7a	75,1a	26,0a	25,8a	26,1a	68,9a	70,7a	70,5a
10 hs	76,4a	76,4a	76,7a	27,5a	27,4a	27,5a	64,5a	65,6a	65,4a
11 hs	78,0a	78,0a	78,1a	29,1a	28,9a	29,0a	59,7a	60,0a	60,0a
12 hs	78,9a	79,0a	79,1a	30,0a	29,9a	30,0a	56,9a	56,9a	57,2a
13 hs	79,5a	79,7a	79,8a	30,5a	30,6a	30,7a	55,7a	55,3a	55,7a
14 hs	80,0a	80,0a	80,2a	31,1a	31,0a	31,1a	53,8a	53,3a	53,9a
15 hs	80,2a	80,4a	80,3a	31,4a	31,4a	31,4a	51,1a	51,0a	51,7a
16 hs	79,1a	79,2a	79,6a	30,4a	30,4a	30,7a	52,8a	53,5a	53,7a
17 hs	78,1a	78,2a	78,7a	29,5a	29,5a	29,9a	53,7a	54,7a	55,1a
Média	77,8b	77,9b	78,1a	29,0a	28,9a	29,1a	58,9b	59,7a	59,9a
CV (%)	1,43			3,71			7,13		

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Os resultados para o ITGU no tratamento em piso convencional manteve-se ligeiramente superior ao observado para as camas sobrepostas constituídas de maravalha e casca de arroz, principalmente nas primeiras e nas últimas horas do dia.

Analisando-se a temperatura do ar é possível notar que houve pouca variação em decorrência dos diferentes sistemas de criação. Ocorrendo, somente, ligeira superioridade para os valores observados às 16 e 17 horas no sistema convencional.

A umidade relativa do ar, assim como os demais parâmetros do ambiente térmico, mostrou-se homogênea entre os tratamentos. Contudo, observaram-se menores valores para o tratamento em cama sobreposta de maravalha nas primeiras e nas últimas horas do dia.

De acordo com os resultados de Tinôco et al. (2007), os sistemas em cama sobreposta com substrato de maravalha e de casca de arroz apresentaram menores valores de ITGU nos horários de 12 e 13 horas, em comparação ao sistema convencional com piso de concreto para suínos em fase de terminação e pós-terminação (75 aos 135kg). Além disso, a média diária para os três tratamentos foi de 75,6, 74,4 e 76,3 para maravalha, casca de arroz e concreto, respectivamente, e apesar de não ter havido nenhum tipo de comparação estatística, os menores valores de ITGU foram obtidos no sistema em cama sobreposta com casca de arroz, seguido do substrato em maravalha. Portanto, de maneira similar ao presente estudo, os resultados obtidos por Tinôco et al. (2007) indicam também melhor conforto térmico nos sistemas de cama sobreposta.

De forma contrária, Cordeiro et al. (2007) afirmam não haver diferenças no ITGU entre os sistemas de cama sobreposta com maravalha, casca de arroz e piso em concreto, durante a fase de terminação dos suínos. Os autores indicam

ainda que durante a fase de crescimento os valores do índice foram superiores para o ambiente nos sistemas de cama.

Nesse sentido, os resultados de Caldara et al. (2012) indicam que os sistemas em cama sobreposta promovem maiores valores de ITGU quando comparado ao sistema convencional. Os autores justificam esse aumento decorrente, em parte, da elevação das temperaturas do ar causada pela liberação do calor oriundo da compostagem do material de cama.

Esse cenário corrobora os resultados apresentados por Caldara et al. (2014), onde os valores de ITGU médios para o piso em concreto, cama sobreposta de maravalha e cama sobreposta de casca de café foram de 70,4, 74,4 e 77,7, nessa ordem, sendo portanto, maiores para os sistemas de cama estudados.

4.2 Concentração dos gases

As concentrações dos gases analisados nos sistemas de camas sobrepostas com leito de maravalha, casca de arroz e piso em concreto com lâmina d'água foram apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Mediana (intervalo interquartil) para as concentrações dos gases NH_3 e CO_2 para baias alojando suínos em terminação, nos sistemas de cama sobreposta e convencional.

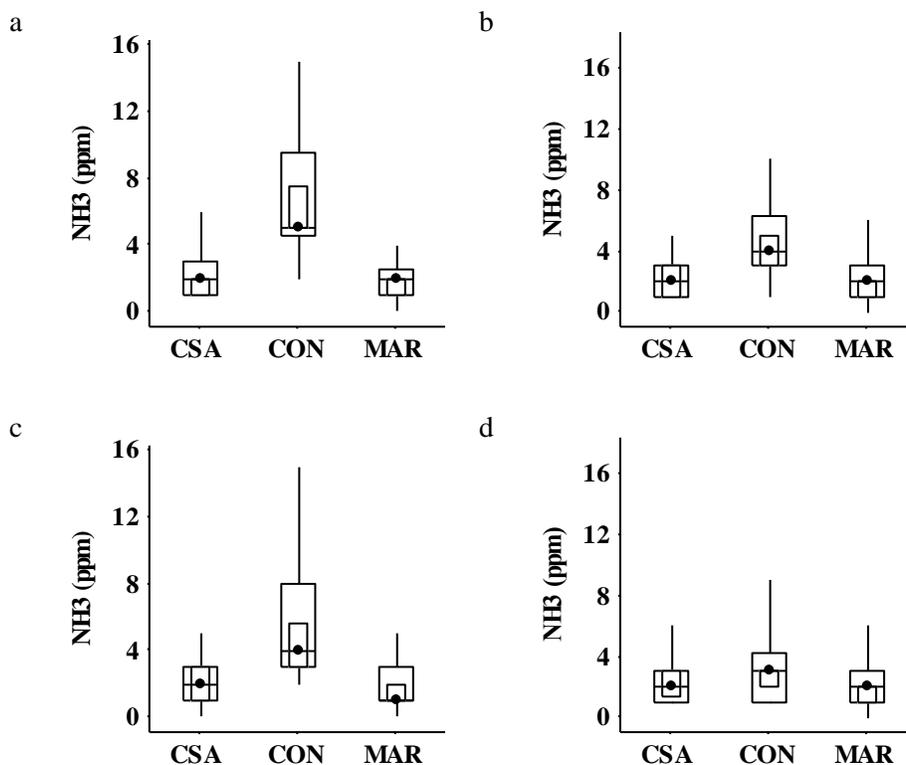
Tratamento	NH_3	CO_2
	ppm	
Convencional	4,0 (4,0)A	531,0 (181,0)B
Casca de arroz	2,0 (2,0)B	592,0 (215,5)A
Maravalha	2,0 (2,0)B	537,0 (160,0)B

Medianas seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($P < 0,05$).

A concentração da amônia mostrou-se superior no sistema convencional com lâmina d'água em relação aos dois sistemas de cama avaliados. Para o dióxido de carbono, a concentração mais elevada foi registrada na cama com substrato de casca de arroz.

Os resultados para as concentrações gasosas de NH_3 em função dos horários de coleta são mostrados na Figura 1. Nota-se que os maiores valores observados para o sistema CON foram às 08 horas, atingindo a concentração de 5ppm. Para os demais tratamentos, em cama sobreposta, não foi possível observar grandes variações no decorrer do dia, mantendo-se próximo de 2ppm.

Figura 1 - Concentração de NH_3 (ppm) para os sistemas convencional (CON), cama sobreposta em casca de arroz (CSA) e cama de maravalha (MAR) em função dos horários de coleta dos dados, sendo 08hs (a), 10hs (b), 14hs (c) e 16hs (d).



Os dados exibidos por meio de gráfico *boxplot* evidenciam, pela comparação do intervalo de confiança da mediana (IC=95%), que o sistema convencional obteve maiores concentrações de amônia em relação aos demais tratamentos no horário das 08 horas ($P < 0,05$). Nos outros horários de avaliação, com exceção das 16 horas, os valores obtidos em CON foram maiores que aqueles verificados em MAR, mas não diferiram de CSA.

Em um experimento que se objetivou a comparação entre camas sobrepostas compostas com serragem e palha com inoculação de pro-bióticos e

sistema convencional em piso parcialmente ripado, Zhou et al. (2015) verificaram que as concentrações de NH_3 foram superiores no sistema convencional, assim como no presente estudo. Os autores reportaram média de 3,3 e 19,8 mg de $\text{NH}_3 \text{ m}^{-3}$ para a cama e sistema convencional, respectivamente, enquanto os valores anotados no presente estudo foram de 1,85 e 1,68 mg de $\text{NH}_3 \text{ m}^{-3}$ para as camas de maravalha e casca de arroz, e 3,96 mg de $\text{NH}_3 \text{ m}^{-3}$ para o sistema convencional.

As diferenças verificadas entre os valores das concentrações dos gases registrados no presente estudo e no manuscrito de Zhou et al. (2015) devem-se às características do ambiente térmico, à influência do estágio de desenvolvimento dos animais e à utilização de substratos de cama diferentes daqueles explorados no presente estudo.

De acordo com Xu e Guan (2014), variações na concentração de amônia podem ser verificadas por influência de diversos fatores, sendo as variações do ambiente térmico uma das principais causas da flutuação. Para Ni et al. (2012), as concentrações de NH_3 em galpões para suínos variam entre 0 e 40ppm, com um padrão inversamente proporcional em relação às temperaturas externas. Ou seja, temperaturas externas mais baixas requerem maior proteção do ambiente interno, e conseqüentemente sistemas de fechamento acionados; logo, a taxa de ventilação é prejudicada e as concentrações gasosas tendem a ser mais elevadas.

Quanto ao estágio de desenvolvimento, questões como exigências dietéticas e características fisiológicas do aparelho digestório, bem como eficiência no aproveitamento dos nutrientes fornecidos via ração, conferem grande variabilidade ao parâmetro de concentração de NH_3 , além da densidade animal praticada e intrínsecas à fase de criação estudada (PHILIPPE et al., 2011). Dessa forma, estudos do ambiente aéreo em galpões com diferentes fases produtivas tendem a apresentar resultados distintos, como verificado entre o presente trabalho e os resultados publicados por Zhou et al. (2015).

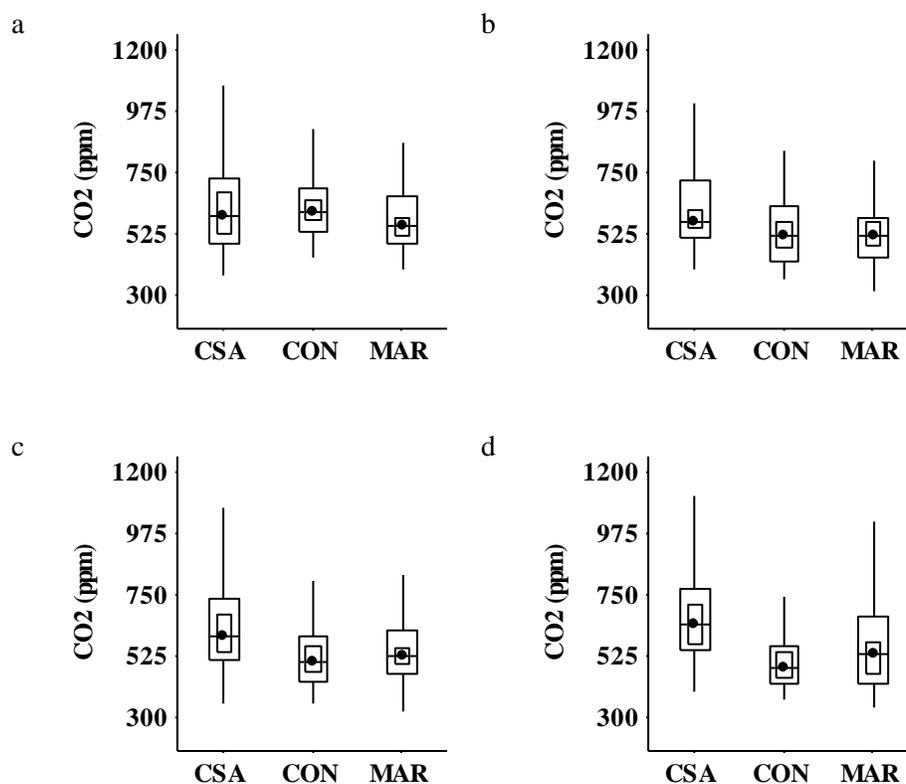
Em condições brasileiras de clima e manejo, Paulo et al. (2009) encontraram concentrações de amônia para instalações de suínos criados sob sistema de cama de maravalha, casca de arroz e piso de concreto na ordem de 3,30, 2,98 e 5,20ppm, respectivamente. Os resultados corroboram com o presente estudo que encontrou valores médios, nessa ordem, de 2,53; 2,30 e 5,43ppm.

Os autores supracitados relataram picos de 16, 15 e 22ppm, para os tratamentos MAR, CSA e CON. Esses valores foram menores que os observados no presente estudo, que constatou valores de pico de 27, 13 e 32ppm. Essas diferenças devem-se ao fato de a tomada de dados do presente trabalho ter sido realizada por quadrantes, e alguns deles, destinados como área de banheiro pelos próprios animais e com concentrações gasosas sensivelmente mais elevadas.

Em relação aos horários de avaliação, assim como verificado por Zong et al. (2014b), as concentrações de NH_3 mantiveram-se constantes ao longo do dia para os tratamentos em cama sobreposta. Todavia, para o sistema convencional, observou-se uma maior concentração para o horário das 08 horas. Esse fato pode ser explicado pelo manejo de limpeza da baia, que se dava preferencialmente no período da tarde, e dessa forma, o acúmulo das dejeções durante toda a noite permitia a maior concentração dos gases, evidenciada no momento da primeira leitura do dia.

As concentrações de dióxido de carbono em função dos horários do dia foram exibidas na Figura 2. Somente no horário das 16 horas foi possível detectar diferenças estatísticas entre a casca de arroz e o sistema convencional com lâmina d'água ($P < 0,05$).

Figura 2 - Concentração de CO₂ (ppm) para os sistemas convencional (CON), cama sobreposta em casca de arroz (CSA) e cama de maravalha (MAR) em função dos horários de coleta dos dados, sendo 08hs (a), 10hs (b), 14hs (c) e 16hs (d).



Verificou-se que os maiores valores para as medianas das concentrações de CO₂ no tratamento CSA ocorreram no período da tarde e de forma inversa, o tratamento CON registrou as maiores concentrações de dióxido de carbono no período da manhã. O tratamento MAR manteve-se praticamente estável durante todos os horários avaliados.

Para os resultados das concentrações de dióxido de carbono, Zhou et al. (2015) verificaram valores mais elevados provenientes do sistema convencional

(3223,3 mg m⁻³) em comparação ao registrado na cama (1443,3 mg m⁻³). Da mesma forma como observado para a amônia, os valores reportados no presente estudo foram inferiores a aqueles encontrados pelos autores, sendo de 1107,9 mg de CO₂ m⁻³ para o sistema convencional, 1274,4 e 1113,2 mg de CO₂ m⁻³ para a casca de arroz e maravalha, respectivamente.

Os resultados para o dióxido de carbono se mantiveram estáveis ao longo dia, exceto às 16 horas quando as concentrações para a cama sobreposta de casca de arroz foram superiores em relação ao sistema convencional (P<0,05).

4.3 Temperatura de piso

As temperaturas de piso, superficiais e de profundidade (para os sistemas em cama sobreposta) são apresentadas na Tabela 5. Os dados levantados para as temperaturas superficiais evidenciam os maiores valores registrados para a cama sobreposta com leito de casca de arroz (P<0,01).

Por meio das temperaturas de profundidade pode-se verificar uma maior produção de calor no material de casca de arroz em relação à maravalha (P<0,01). A elevada diferença nas temperaturas registradas no interior do leito de cama provido pelo tratamento CSA em relação a MAR, claramente foi o fator responsável pelo mesmo quadro ter se repetido para as temperaturas superficiais.

Durante o período avaliado, registraram-se valores máximos em profundidade na ordem de 46°C para a casca de arroz e 38°C para a maravalha.

Tabela 5 - Mediana (intervalo interquartil) para as temperaturas de piso, superficiais e de profundidade, para os sistemas convencional e em cama sobreposta, com maravalha e casca de arroz.

Temperaturas (°C)	Sistemas de criação ²			P-Valor ¹
	CON	CSA	MAR	
Superficial	26,1 (3,5)B	27,5 (3,6)A	26,8 (3,7)B	**
Profundidade	-	37,2 (4,3)A	32,2 (2,7)B	**

¹ Medianas comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis **P < 0,01;

² Sistemas de criação de suínos em terminação: convencional (CON), cama sobreposta em casca de arroz (CSA) e cama sobreposta em maravalha (MAR).

Os resultados divergem de Cordeiro et al. (2007), que identificaram temperaturas superficiais iguais para as camas de maravalha e casca de arroz e essas superiores ao verificado no piso compacto. No presente estudo as temperaturas da cama de casca de arroz foram superiores às demais e não houve diferença entre os valores registrados para a cama de maravalha e piso compacto.

Os autores supracitados justificam o fato pelo calor gerado advindo dos processos de compostagem das camas e da menor inércia térmica do piso compacto, menos capaz de conservar calor. Todavia, no trabalho em questão, o piso compacto era lavado três vezes ao dia, aumentando dessa forma as perdas calóricas por via evaporativa, diferente do presente estudo onde o manejo de limpeza se dava somente uma vez ao dia, no período da tarde.

Os resultados foram semelhantes entre os estudos para os pisos em cama sobreposta, sendo de 25,78 e 26,30°C para maravalha e casca de arroz, segundo Cordeiro et al. (2007) e de 26,85 e 27,76°C para MAR e CSA no presente estudo. O ponto divergente foram as temperaturas em piso compacto, sendo de 26,41°C para o presente trabalho e de 22,05 para os autores supracitados. Nesse ponto, pode-se inferir, como já mencionado anteriormente, que as diferenças estatísticas se devem ao manejo de limpeza das baias, sendo que a lavagem em

três períodos propiciou temperaturas de superfície sensivelmente menores para o piso compacto no estudo de Cordeiro et al. (2007).

De acordo com Sousa et al. (2014), em um experimento que envolveu a análise das temperaturas superficiais e de profundidade para camas de maravalha e bagaço de cana, o valor obtido para a superfície do substrato de maravalha foi de 24,4°C, próximo a aquele verificado no presente estudo. Segundo os autores, não houve diferença entre os materiais analisados para superfície.

Contudo, para as temperaturas em profundidade, Sousa et al. (2014) afirmaram haver diferenças significativas entre os substratos analisados, sendo o material de maravalha com valores inferiores a aqueles observados para o bagaço de cana e para a mistura entre os materiais. Esses resultados corroboram com aqueles verificados no presente trabalho, onde a maravalha apresentou temperaturas em profundidade inferiores às da casca de arroz.

De acordo com Pardo et al. (2015), as temperaturas registradas em pilhas de compostagem relacionam-se com as emissões de NH_3 , influenciando sobre o equilíbrio $\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$. Em revisão da literatura, os autores apontam perdas por volatilização da amônia acima de 10% do acumulado das emissões de N em compostos com temperaturas dentro da faixa termofílica ($>40^\circ\text{C}$), ao contrário das temperaturas para a faixa mesofílica (20 – 40°C) que tendem a evitar a volatilização da amônia.

Dado o exposto, as temperaturas internas registradas nos materiais de cama avaliados, mesmo havendo superioridade para o substrato de casca de arroz em relação à maravalha, mantiveram-se dentro da faixa mesofílica sendo, portanto, eficientes na redução das emissões de amônia. E por outro lado, esse fato justifica as concentrações de NH_3 terem sido iguais para os tratamentos em cama.

4.4 Parâmetros fisiológicos

Os resultados para as variáveis fisiológicas dos leitões em terminação, submetidos aos diferentes sistemas de tratamento, podem ser observados na Tabela 6.

A frequência respiratória (FR) dos animais foi superior ($P < 0,05$) para os animais alojados nos sistemas com cama sobreposta, tanto com leito de maravalha quanto com casca de arroz. Exceto às 08 horas, todos os horários avaliados mostraram a superioridade da FR para os animais criados sobre a cama. Em todos os tratamentos, os maiores valores encontrados foram no período da tarde.

Observando os resultados relativos às temperaturas de pele (TP), não foi possível verificar diferenças ($P > 0,05$), tanto na média geral dos tratamentos quanto nas avaliações dentro dos horários do dia. Para a CSA e CON, as temperaturas superficiais mais altas foram registradas nos horários das 14 e 16 horas. Ao contrário do tratamento MAR, que apresentou o menor valor às 8 horas e manteve-se constante nos demais horários avaliados.

Quanto às temperaturas retais (TR), os maiores valores foram verificados no período da tarde e não houve diferença ($P > 0,05$) entre os tratamentos avaliados.

Tabela 6 - Variáveis fisiológicas observadas em leitões na fase de terminação, alojados em baias de piso convencional (concreto) e em sistema de cama sobreposta com leito de maravalha e casca de arroz.

Variáveis ¹	Piso ²	Horário				Média	CV (%)
		08 hs	10 hs	14 hs	16 hs		
FR	CON	38,0bA	36,9bB	53,3aB	54,7aB	46,3B	33,4
	MAR	50,3bA	62,2bA	86,3aA	80,7aA	70,4A	
	CSA	46,3bA	55,1bA	91,3aA	83,0aA	69,9A	
TP (°C)	CON	34,9cA	36,0bA	37,2aA	36,1bA	36,0A	2,2
	MAR	34,7bA	36,0aA	36,8aA	36,5aA	36,1A	
	CSA	34,7cA	36,3bA	36,6aA	36,9bA	36,1A	
TR (°C)	CON	38,8bA	38,7bA	39,1aA	39,1aA	39,0A	0,6
	MAR	38,8bA	38,7bA	39,3aA	39,2aA	39,0A	
	CSA	38,6bA	38,7bA	39,1aA	39,3aA	39,0A	
Média	FR	44,9b	51,4b	72,8a	77,0a	62,2	
	TS	34,8c	36,1b	36,9a	36,5a	36,1	
	TR	38,7b	38,7b	39,2a	39,2a	39,0	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$);

¹Frequência respiratória (FR); Temperatura de pele (TP); Temperatura retal (TR).

²Convencional (CON); Maravalha (MAR); Casca de arroz (CSA);

De acordo com Amaral et al. (2014), a frequência respiratória é um parâmetro fisiológico fruto do mecanismo primário de dissipação de calor e objetiva a manutenção das temperaturas internas dos suínos. Segundo os autores, valores na ordem de 41 movimentações de flanco por minuto sugerem situação de conforto.

Tomando-se por base esse valor, nota-se que os animais mantiveram-se em situação de conforto somente no período da manhã, para o tratamento convencional. Para as baias de cama sobreposta, as frequências respiratórias foram superiores, indicando desconforto térmico por parte dos leitões.

Nessas condições, os animais podem reduzir a ingestão de alimentos, objetivando diminuir o incremento calórico provocado pelos processos digestórios. Além disso, o aumento da frequência respiratória por longos períodos pode levar os animais a uma redução da pressão de CO₂ sanguíneo e desbalanços na homeostase (LUZ et al., 2015).

Os menores valores de frequência respiratória observados para o sistema convencional em comparação às camas sobrepostas podem ser explicados pelo manejo de limpeza da baia. O piso de concreto foi lavado uma vez ao dia, no período da tarde, justamente no momento onde foram registradas as maiores taxas respiratórias, portanto, os leitões alojados nesse sistema podem ter se beneficiado da melhora do microclima.

Outra justificativa poderia ser o fato de os suínos alojados em cama sobreposta estarem expostos a elevadas temperaturas de superfície do piso, e mesmo mediante ajustes comportamentais, não foram capazes de reduzir o desconforto térmico.

O piso compacto de concreto, como relatado por Cordeiro et al. (2007), apresenta baixa inércia térmica e essa característica por si só permite uma melhor troca de calor entre os animais e a superfície do piso, principalmente em posição de decúbito lateral. Por outro lado, o sistema em cama sobreposta caracteriza-se pela presença de uma importante camada de material isolante, que além de dificultar as trocas de calor ainda pode contribuir para o aquecimento, em decorrência da energia gerada e liberada nos processos de compostagem do material.

De maneira contrária, Caldara et al. (2012) não observaram diferenças entre as frequências respiratórias de leitões em terminação alojados em piso compacto, em cama sobreposta de maravalha ou em cama de casca de café. Porém, os valores de temperatura retal foram superiores nos sistemas de cama em relação ao piso compacto.

O fato de as temperaturas retais e de pele não diferirem no presente trabalho pode estar relacionado à eficácia da ferramenta fisiológica da FR, ou seja, os animais alojados nas baias compostas por cama, mesmo mediante o estímulo estressor, promovido pelo leito de substrato, obteve sucesso na manutenção das temperaturas internas por meio da elevação das frequências respiratórias. Isso garantiu a manutenção dos valores dentro de uma faixa de normalidade que de acordo com Caldara et al. (2012) está entre 38,7 e 39,8°C para a espécie.

4.5 Comportamento animal

Os resultados relativos ao comportamento animal e o índice de atividade animal (%) foram apresentados na Tabela 7. Os valores exibidos referem-se às medianas por hora das frequências de observação de cada comportamento. Para o índice de atividade, os valores representam a porcentagem do tempo por dia aplicado a qualquer comportamento, exceto deitado.

Não houve diferença para a frequência das observações com os padrões comportamentais: “deitado”, “explorando”, “interagindo” e “sentado”. Contudo, os padrões referentes aos comportamentos “bebendo” e “comendo” foram influenciados pelo sistema de criação adotado ($P < 0,05$).

O comportamento “bebendo”, definido pelo etograma como aquele no qual o animal projeta a cabeça para o bebedouro, independente se há ou não o ato voluntário de beber, foi maior para o sistema em cama sobreposta com substrato de maravalha, seguido pela cama composta de casca de arroz e por último o sistema em piso compacto ($P < 0,05$).

A diferença observada entre os tratamentos pode ser explicada sob o ponto de vista do microclima gerado na região dos bebedouros. Diferentemente do piso compacto, onde a superfície de baixa inércia térmica permite uma melhor troca de calor do animal com o piso, a cama sobreposta implica

dificuldades na manutenção da homeostase, principalmente nos horários mais quentes do dia, por reduzir ou impedir as trocas de calor por condução com o chão.

Sendo assim, nesses horários os animais buscavam deitar-se sobre a pequena área concretada destinada à alimentação e aguada. Na plataforma, as áreas de maior disputa para o descanso eram aquelas no entorno dos bebedouros, onde o microclima era beneficiado pelo resfriamento do ar e do piso em decorrência da água que por vezes derramava-se sobre o chão. Associado a isso, observou-se que os animais se deitavam e projetavam a cabeça no interior do bebedouro, como uma forma de promover melhoras na sua condição fisiológica pelo contato com a água fria expelida pelos gatilhos do tipo “chupeta” e pela água acumulada nas conchas metálicas.

A frequência para o padrão comportamental “comendo” foi superior na baia em piso de concreto ($P < 0,05$), seguido pelos sistemas compostos de cama sobreposta.

A maior frequência para a variável “comendo” não implica necessariamente em maior ou menor consumo de ração, e sim em frequência de visita ao comedouro. Nesse sentido, os menores valores observados para a cama sobreposta podem ser analisados por dois prismas. Em um primeiro momento, pode-se inferir que o ambiente monótono da baia em sistema convencional propiciava nos animais maiores frequências de visita aos comedouros, por essa ser uma das poucas atividades compensatórias às quais os leitões tinham acesso. Ou de maneira oposta, pode-se entender as menores frequências de visita ao comedouro observadas nos tratamentos com cama, como uma resposta ao maior estresse térmico provido por esses ambientes. Nesse sentido, os animais podem reduzir a ingestão de ração como forma de ajuste fisiológico, reduzindo assim o incremento calórico provido pelos processos digestórios.

O índice de atividade dos animais se revelou mais alto para o sistema em cama sobreposta com substrato de casca de arroz ($P < 0,05$). Todavia, não foi possível detectar diferença entre os materiais de cama empregados. Os animais alojados na baia com piso de concreto mostraram-se mais inativos que os demais.

Os resultados para o índice de atividade (%) indicam que comportamentos ativos são mais presentes em animais alojados em cama sobreposta, principalmente com uso do leito de casca de arroz.

Os valores utilizados para o cálculo do índice de atividade, diferentemente do que foi feito para o levantamento dos padrões comportamentais (etograma), levaram em consideração todos os animais alojados em cada baia, e por isso, essa variável tende a ser mais precisa e acurada.

Sendo assim, mesmo diante da insignificância observada entre as frequências de alguns dos comportamentos ativos presentes no etograma aplicado ($P > 0,05$), o índice indica que o ambiente em cama sobreposta pode ser mais atrativo do ponto de vista ambiental, por proporcionar menores períodos de ócio aos animais, e conseqüentemente, melhor bem-estar animal.

O resultado observado para o sistema em cama sobreposta com casca de arroz deve-se, principalmente, às suas características físico-químicas (composição e granulometria). O material, mesmo depois de incorporado às dejeções e compactado pela permanência dos leitões, manteve-se aerado, com pouca ou nenhuma formação de agregados, de fácil ação mecânica e permitiu, conseqüentemente, uma exploração mais intensa pelos animais.

Segundo Sanes et al. (2015) a casca de arroz *in natura* apresenta composição com elevados teores de sílica, fato que dificulta a ação dos microrganismos e mantém a estrutura do material. Dada a sua composição química e estrutural, a casca de arroz é reconhecidamente um material com

elevado potencial de resistência à compressão, sendo inclusive aproveitada na confecção de argamassas e concretos após incineração e em substituição parcial ao Cimento Portland (PEREIRA et al., 2015).

Essas características não foram observadas na cama sobreposta com maravalha. O material depositado não apresentava granulometria uniforme, além de produzir quantidades substanciais de particulado com a ação compressiva devido ao pisoteio. Juntamente a isso, adiciona-se elevada carga orgânica e umidade oriunda dos dejetos e como resultado, tem-se um material altamente compactado em alguns pontos, com elevada resistência à perfuração. Nesse caso, as atividades exploratórias são limitadas, uma vez que os animais são incapazes de fuçar dada a resistência mecânica adquirida pela superfície da cama, reduzindo os ganhos em bem-estar animal preconizados pela tecnologia e aumentando consideravelmente a exigência em mão-de-obra, necessária para a prática do revolvimento e do destorroamento do substrato.

Tabela 7 - Frequência dos padrões comportamentais observados em suínos durante a fase de terminação, alojados em baias de piso convencional (concreto) e em sistema de cama sobreposta com leito de maravalha e casca de arroz.

Comportamento	Sistema de criação ¹		
	CSA	MAR	CON
	-----Frequência (%)-----		
Deitado	79,03a	75,76a	77,55a
Bebendo	2,48ab	3,89a	1,06b
Comendo	7,79b	7,26b	11,19a
Explorando	8,19a	8,48a	7,78a
Interagindo	1,39a	1,62a	0,61a
Sentado	1,12a	2,99a	1,81a
Índice de atividade	44,44a	36,39ab	30,00b

Medianas seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Friedman (P<0,05);

¹Sistemas de criação de suínos em terminação: cama sobreposta em casca de arroz (CSA), cama sobreposta em maravalha (MAR) e convencional (CON).

De acordo com Kiefer et al. (2010), suínos em terminação mantidos em situação de estresse térmico (32°C) tendem a aumentar o tempo gasto deitado. A mudança comportamental se dá principalmente pelo aumento dos períodos de sono. Ainda de acordo com os autores, a porcentagem de tempo gasto com o comportamento, em situação de conforto térmico (21°C), é de 82,9%. Esse resultado foi superior ao verificado no presente estudo, onde a frequência do comportamento “deitado” variou entre 75,76 e 79,03% para os tratamentos avaliados.

Esse fato é corroborado por Debreceni et al. (2014) e Massari et al. (2015). Segundo os últimos autores, por meio da análise de componentes principais constituída de variáveis do ambiente térmico e comportamentais, há relação das temperaturas de bulbo seco com o padrão comportamental “deitado”. Esse resultado justifica-se pela forte correlação positiva entre as variáveis, devido à tentativa dos animais em aumentar as trocas de calor com o piso, além de reduzir a produção de calor metabólico com um comportamento menos ativo.

De forma análoga, Debreceni et al. (2014) afirmam que os suínos apresentam-se menos ativos quando expostos a temperaturas elevadas e nesses casos, recorrem a deitar-se em áreas frescas, preferencialmente em superfícies de piso não contempladas com cama.

Todavia, existe grande variação para as frequências observadas em diferentes fontes da literatura, e isto se deve à vastidão do espectro comportamental dos animais e à sua sensibilidade a uma gama de variáveis, tais como modelos de criação, fase de criação, densidade animal, genética, ambiente térmico, aéreo e social, entre outras. Para Amaral et al. (2014), por exemplo, suínos submetidos à luz natural, 16 horas de luz e 23 horas de luz, apresentaram frequências de 67,59, 71,30 e 68,55% do tempo deitados, no período diurno. Os resultados de Caldara et al. (2012), trabalhando com cama sobreposta de

maravalha ou casca de café e piso compacto, apontam para frequências ainda menores, sendo de aproximadamente 60, 65 e 55% do tempo, nessa ordem.

Para Guy et al. (2002), leitões alojados em baias com piso de palha tendem a apresentar um padrão comportamental de passar mais tempo deitado, porém de maneira ativa. Por outro lado, animais confinados em baias de piso ripado se deitam mais de maneira inativa.

Os resultados de Hötzel et al. (2009) não apontam diferenças significativas entre as frequências do padrão “deitado” para suínos alojados em cama sobreposta de casca de arroz, maravalha e piso em concreto. Em concordância com o presente estudo, mesmo não havendo significância entre as diferenças observadas, os autores verificaram maiores frequências para os animais alojados em casca de arroz, seguidos do sistema convencional e por último, as mais baixas frequências para o sistema de cama com substrato de maravalha.

Para o padrão “bebendo” e de maneira oposta ao que foi verificado no presente estudo, Caldara et al. (2012) afirmam que suínos alojados em sistema de cama sobreposta com maravalha ou casca de café e em piso compacto não apresentam diferenças quanto às frequências de visita aos bebedouros.

De acordo com Cordeiro et al. (2007), não foi possível verificar diferenças entre o consumo de água (L/dia) para suínos alojados em sistema convencional ou cama sobreposta. Todavia, os autores indicaram que entre os materiais de cama analisados, houve maior consumo para os leitões alojados sobre o substrato de maravalha em detrimento da casca de arroz, porém, somente durante a fase de 163 a 186 dias de idade.

Assim como aferido no presente trabalho, Hötzel et al. (2009) constataram diferenças no padrão comportamental “bebendo” para leitões na faixa de 120 dias de idade, sendo os maiores valores associados aos animais em sistema de cama sobreposta com maravalha; todavia, não houve diferença para o

período total de avaliação. Não foram detectadas diferenças entre os tratamentos para o consumo d'água.

A elevada frequência de visita e o ato de projetar a cabeça em direção ao bebedouro, acionando o sistema de gatilho sem contudo beber água propriamente, como visto nos sistemas de cama e principalmente na baia com substrato de maravalha, pode ser interpretado como um comportamento estereotipado ou vicioso (MAIA et al., 2013; MASSARI et al., 2015).

O sistema em piso de concreto com lâmina d'água apresentou frequências superiores às verificadas nos sistemas em cama sobreposta para o padrão comportamental “comendo”, com 11,19% das observações.

De acordo com os resultados de Debreceni et al. (2014), o comportamento “comendo” apresenta frequência média de 16%. Esse valor é corroborado por Amaral et al. (2014) que observaram frequências na faixa de 15,48 a 18,75% para o período diurno.

Diferente do que foi definido no presente trabalho, Hötzel et al. (2009) não observaram diferenças entre as frequências do comportamento “comendo” entre os sistemas de cama sobreposta com maravalha ou casaca de arroz e o piso de concreto.

Os leitões podem apresentar alterações em seus padrões de comportamento conforme o ambiente no qual estão inseridos. Nesse sentido, Massari et al. (2015) afirmam que o comportamento de comer tem relação inversa com a temperatura do ar, relação fortemente positiva com comportamentos exploratórios e interações agonísticas, uma vez que os comportamentos exploratórios muitas vezes estão relacionados à busca por alimento.

Porém, no presente estudo, diante da reduzida variação dos parâmetros térmicos e da homogeneidade para os comportamentos exploratórios entre os diferentes tratamentos, esses argumentos não foram evidentes.

De acordo com Caldara et al. (2012), corroborando os resultados exibidos no presente trabalho, as maiores frequências de visita ao comedouro foram para animais confinados em piso de concreto, em detrimento dos leitões alojados em baias com cama.

Além disso, os autores supracitados afirmam que mesmo mediante o aumento da frequência, não foi possível constatar diferença no consumo médio de ração entre os sistemas. Baseado nesse fato atribuiu-se a elevação da frequência de visita aos comedouros ao ambiente monótono, a falta de estímulos ambientais provido pelo piso de concreto em relação à cama sobreposta. Nesse cenário, os comedouros configuram-se como um objeto capaz de promover reações compensatórias, sendo obviamente a fonte de alimento e praticamente a única estrutura presente nas áreas das baias com exceção das paredes e piso.

Esses resultados também estão de acordo com Morrison et al. (2003), que verificaram um maior número de visitas ao comedouro para o sistema convencional em relação aos animais em cama. Além disso, os autores indicam que o tempo de duração do evento “comendo” para o sistema em cama foi mais duradouro que no sistema convencional. Segundo os mesmos, a literatura sugere que maiores frequências com menores volumes de alimento ingerido podem implicar melhor eficiência nos processos digestivos.

Não houve diferença para o padrão comportamental “explorando”. Deve-se a esse fato, provavelmente, a não distinção quanto à natureza dos comportamentos exploratórios, uma vez que se espera maior frequência de exploração nas baias do sistema de cama sobreposta.

Os resultados encontrados divergem de Caldara et al. (2012), que apontaram superioridade para o tratamento em piso de concreto. Porém, assim como no presente estudo, os autores justificaram o fato pela inclusão de outros padrões comportamentais na mesma variável, como interações entre indivíduos

com o focinho, independente da natureza do contato, e não só a exploração da baia e dos equipamentos de uso comum.

De acordo com Hötzel et al. (2009), para os suínos alojados em baia com cama sobreposta de casca de arroz, a subdivisão da categoria dos comportamentos exploratórios evidenciou menor atividade relacionada à manipulação de objetos, em consequência do estímulo decorrente do substrato de cama.

Os comportamentos exploratórios são naturais dos suínos, e em muitos casos relacionam-se à busca por alimentos em seu ambiente natural e por isso, configuram um importante aspecto a ser avaliado na análise de bem-estar animal nos sistemas de criação. A partir do estudo em um ambiente de produção ao ar livre, verificou-se que a frequência para os padrões que compõem essa categoria deve ser superior a 15% das observações (NAKAMURA et al., 2011).

Da mesma forma, os resultados aqui expostos para o padrão “interagindo” não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, mesmo mediante tendência de superioridade ($P=0,06$) para os sistemas de cama.

Segundo Hötzel et al. (2009), o comportamento “interagindo” foi subdividido em “brincando”, “lutando” e “contato oral-nasal”. Dessa forma, o contraste entre as camas e o piso de concreto apontou elevadas frequências para interações positivas e mais baixas frequências para o “contato oral-nasal” no sistema em cama, o que implica menor incidência de vícios como mordeduras de cauda, orelhas e umbigo.

Nessa mesma linha, os resultados de Guy et al. (2002) indicam também menor incidência de mordedura de cauda para animais em cama, comparados a animais em piso ripado.

Esses resultados são corroborados por Braga, Del’Arco e Dias (2006), que em revisão da literatura afirmam que o fornecimento de materiais para a conduta exploratória reduzem problemas de comportamentos estereotipados

relacionados ao canibalismo, assim como o sistema em cama sobreposta preconiza.

O padrão comportamento “sentado”, avaliado por Hötzel et al. (2009), tal como no presente estudo, não diferiu entre os sistemas em cama sobreposta e piso em concreto. Porém, os valores anotados por Hötzel et al. (2009) foram sensivelmente superiores ao reportado neste trabalho, variando entre 6,1 a 7,6% das observações, contra a faixa de 1,2 a 2,99%.

Por outro lado, esses resultados estão de acordo com Amaral et al. (2014), que observaram variação de 1,71 a 2,75% para animais sentados. Valores ainda menores são expostos por Debreceni et al. (2014), que encontraram o padrão “sentado” em 1% das observações.

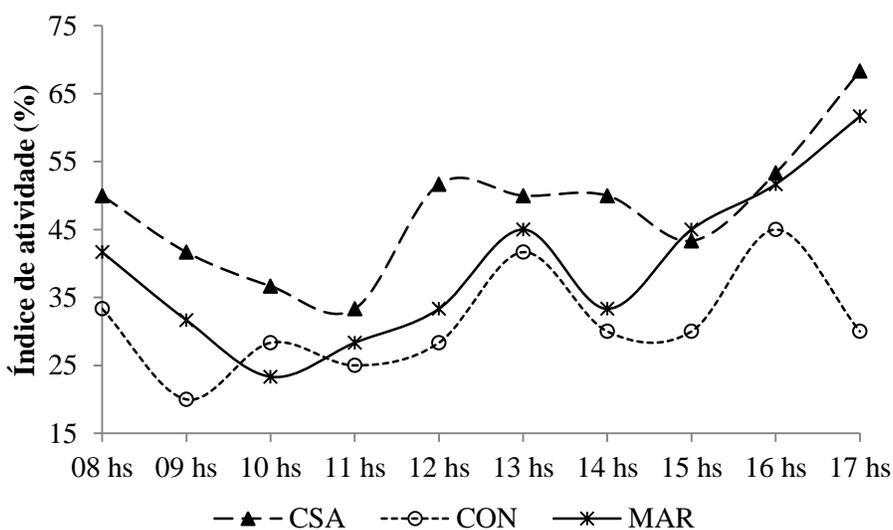
Para Guy et al. (2002), houve diferença entre os sistemas avaliados, os animais em cama sobreposta apresentaram menor frequência para o comportamento de sentar-se, porém, isso só foi perceptível em decorrência da subdivisão proposta para o padrão postural em ativo ou inativo. Sendo assim, o resultado mencionado ocorreu somente para o comportamento “sentado inativamente”.

Os resultados para o IA% revelam frequências mais altas para a cama sobreposta de casca de arroz em relação ao sistema convencional, porém os valores não diferiram daqueles observados para a cama de maravalha. Esse fato é corroborado por Guy et al. (2002) e Morrison, Johnston e Hilbrands (2007), que afirmam que leitões em terminação sobre cama dedicam mais tempo a comportamentos exploratórios, tais como examinar o piso, mover-se pela área da baia, urinar e defecar, e por fim, atividades sociais, quando se comparam a animais alojados em baias com piso ripado.

Na Figura 3 foi representada graficamente a dinâmica do índice de atividade em relação aos horários de observação e ao tratamento correspondente.

Quanto aos horários de avaliação, destaca-se que os maiores valores de atividade ocorreram no final da tarde.

Figura 3 - Índice de atividade para suínos alojados em baias com cama sobreposta de casca de arroz (CSA), maravalha (MAR) e piso de concreto (CON), em função do horário de observação.



Por outro lado, os suínos apresentaram atividade mínima no período da manhã, sendo às 09 horas no sistema convencional, às 10 horas na cama sobreposta de maravalha e às 11 horas da manhã no sistema com substrato de casca de arroz. Esse resultado é corroborado por Saha et al. (2010), que identificaram atividade mínima no período da manhã para suínos alojados em baias de piso parcialmente ripado, em galpão fechado.

Por volta das 13 horas pode-se observar um pico na atividade, seguido de um breve declínio até às 15 horas. Esse fato deve-se ao manejo de alimentação e limpeza das baias ocorrerem nesse horário. Dessa forma, pode-se entender que a entrada dos funcionários nas baias promoveu maior agitação nos

suínos, porém, esse aumento no índice de atividade foi rapidamente suplantado por um período de descanso, intervalo este coincidente com os horários mais quentes do dia, às 14 e 15 horas.

Os animais alojados na baía com cama sobreposta de casca de arroz apresentaram os índices de atividade mais altos, na maior parte do tempo, com exceção das 15 horas, onde houve ligeira superioridade na atividade por parte dos animais alojados na cama de maravalha. De maneira inversa, os animais alojados na baía de sistema convencional apresentaram os menores índices de atividade, exceto às 10 horas da manhã, quando o menor valor para o índice foi no sistema com cama em maravalha.

Destaca-se também que o maior índice de atividade verificado no sistema com cama de casca de arroz pode ter sido o responsável pelas maiores concentrações de CO_2 nesse sistema (ver Tabela 4), uma vez que esse parâmetro está intimamente correlacionado com a produção de calor metabólico e com a atividade dos animais nas baias (ZONG et al., 2014a).

4.6 Dados espacializados

Na Figura 4 são exibidos os resultados da espacialização para as concentrações de NH_3 em relação aos sistemas de criação adotados. Destaca-se que as maiores concentrações gasosas foram observadas nas áreas de banheiro, localizada entre 5 e 6 m de comprimento para o tratamento com cama sobreposta em casca de arroz e entre 0 e 1m para os tratamentos com cama de maravalha e piso compacto de concreto.

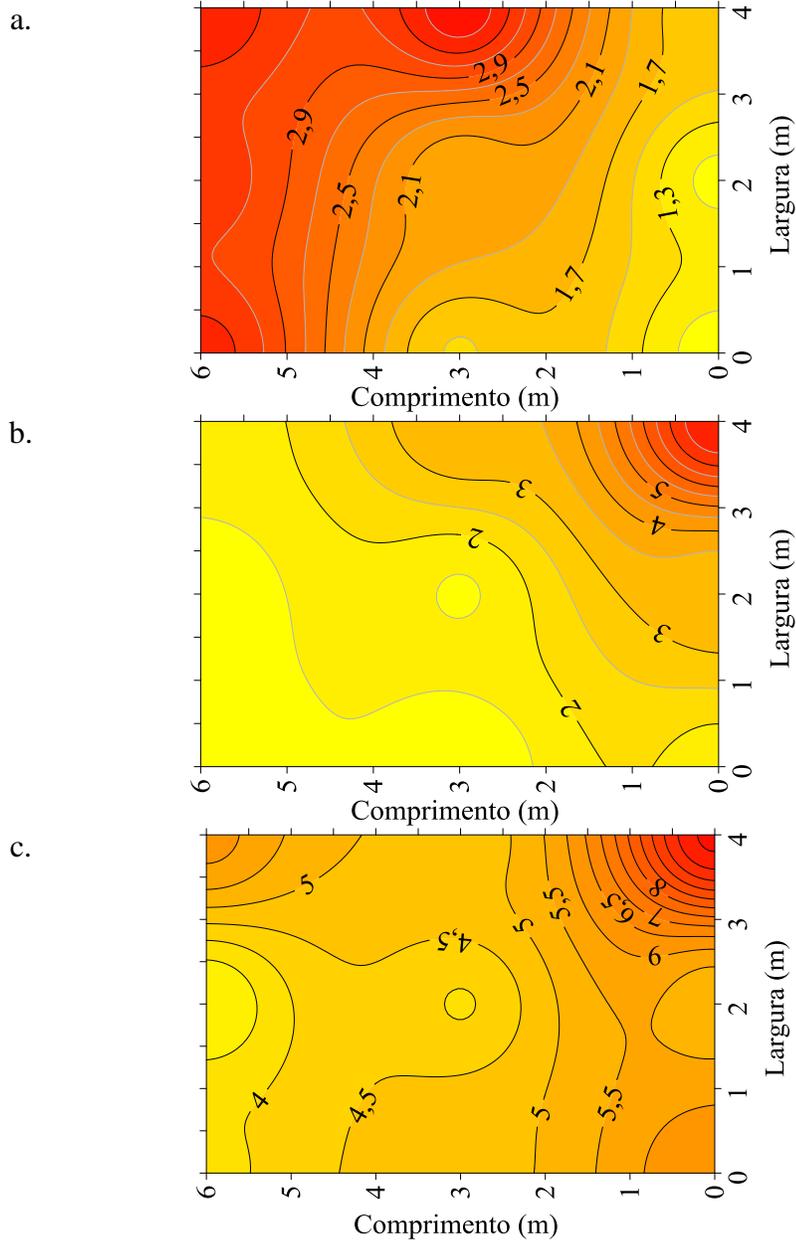
A superfície resposta para as concentrações de NH_3 nos sistemas em cama sobreposta demonstra que aproximadamente metade da área disponível não ultrapassou 2ppm de gás, enquanto que na baía com piso em concreto, os valores foram superiores a 4ppm praticamente por toda extensão.

De forma geral, pode-se notar que independente do sistema avaliado, as concentrações mais elevadas de NH_3 foram registradas nas regiões periféricas. Esse resultado pode ser explicado pela eleição das áreas de banheiro coincidir com pontos extremos das baías, além disso, podem-se associar esses valores à menor renovação de ar junto às paredes divisórias.

A amplitude e variação das concentrações de NH_3 nas baías apresentaram diferentes padrões para os sistemas. Além das diferentes configurações vistas nos mapas de contorno, os valores do coeficiente de variação de 66,64; 139,74 e 78,59% para os tratamentos CSA, MAR e CON, respectivamente, evidenciam esse fato.

Esses resultados mostram um comportamento mais homogêneo para a variação das concentrações de NH_3 nos tratamentos CSA e CON. Para esses sistemas, as áreas cujas concentrações foram mais altas decrescem, de forma suave, até os pontos com concentrações mais baixas, algo diferente do que foi visto para o sistema em cama sobreposta com maravalha. Nesse caso nota-se um acúmulo de NH_3 em uma extremidade da baía ($>7,5\text{ppm}$) e para os demais pontos amostrados, mesmo adjacentes à área de pico, há uma queda abrupta dos valores. Esse comportamento é ainda mais evidente ao se analisar o elevado coeficiente de variação de 139,74% para o tratamento.

Figura 4 - Variação espacial das concentrações de NH_3 em baias com cama sobreposta de casca de arroz (a), substrato em maravalha (b) e com piso em concreto (c).



Em um estudo realizado com frangos de corte, em galpões de diferentes tipologias construtivas, Curi et al. (2014) encontraram valores de coeficiente de variação para as concentrações de NH_3 em uma malha de coleta de dados para análise geoestatística, variando entre 42,04 e 46,46%. Esses valores são inferiores aos verificados no presente estudo, que observou o menor CV de aproximadamente 66%.

Para Medeiros et al. (2014), trabalhando com suínos da desmama à terminação em sistema convencional, o coeficiente de variação entre os dados especializados, coletados em três horários de avaliação (09, 12 e 15hs) foi de 54,6 a 83,39%, sendo próximo àqueles observados no sistema convencional do presente estudo, de 78,6%.

De toda forma, é evidente que a variação das concentrações gasosas no espaço, interpretadas com o auxílio dos coeficientes de variação, é uma característica altamente influenciável por inúmeros fatores de manejo, construtivos e ambientais.

Quanto à distribuição espacial das concentrações de amônia, Medeiros et al. (2014) afirmaram haver maiores valores nas regiões centrais da baía. Segundo os mesmos, nas extremidades havia maior renovação do ar, mesmo mediante o sistema de cortinas permanecer parcialmente fechado. Essa distribuição mostra-se diferente do que foi verificado no presente estudo, todavia, os autores realizaram as coletas à altura de 1,5m do piso, ou seja, altura superior às paredes divisórias e nessa altura, a renovação de ar ocorre de maneira satisfatória.

Vale destacar que, quando se objetiva a análise do bem-estar animal é importante que o ambiente aéreo seja aferido em altura próxima ao centro geométrico dos animais, ou seja, levando-se em conta o microclima no qual eles estão inseridos.

De acordo com Carvalho et al. (2011), a análise espacial das concentrações de amônia em galpões para frango de corte aponta que os maiores valores são registrados nos pontos onde há umidade excessiva, nesses casos ocorre maior atividade microbiana. Esses resultados foram corroborados por Medeiros et al. (2014), que identificaram maiores concentrações de amônia em regiões com maior acúmulo de umidade.

Esse fato pode ter influenciado nos resultados expressos na Figura 4, pois tanto o sistema convencional quanto a cama de casca de arroz apresentaram-se mais úmidos, em boa parte de sua área, como corroborado também pelos resultados da umidade relativa do ar para ambos os tratamentos e exibidos na Tabela 3.

A granulometria desuniforme do material de maravalha e a formação de particulado podem ter contribuído para absorção da umidade. Nesse tratamento, diferente dos demais, observou-se acúmulo excessivo de água somente na área de banheiro e, dessa forma, as concentrações de amônia só foram elevadas nessa área e em seu entorno.

As concentrações do gás CO₂ em relação às áreas das baias foram exibidas por meio da Figura 5. Nota-se que, com exceção do sistema em cama com substrato de casca de arroz, os mapas parecem se sobrepor àqueles mostrados na Figura 4.

Destaca-se, ainda, que as concentrações mais elevadas foram registradas no sistema em cama com substrato de casca de arroz, todavia os valores apresentados não configuram risco, são considerados baixos e não interferem na saúde animal nem dos trabalhadores locais (HAMON; ANDRÈS; DUMONT, 2012).

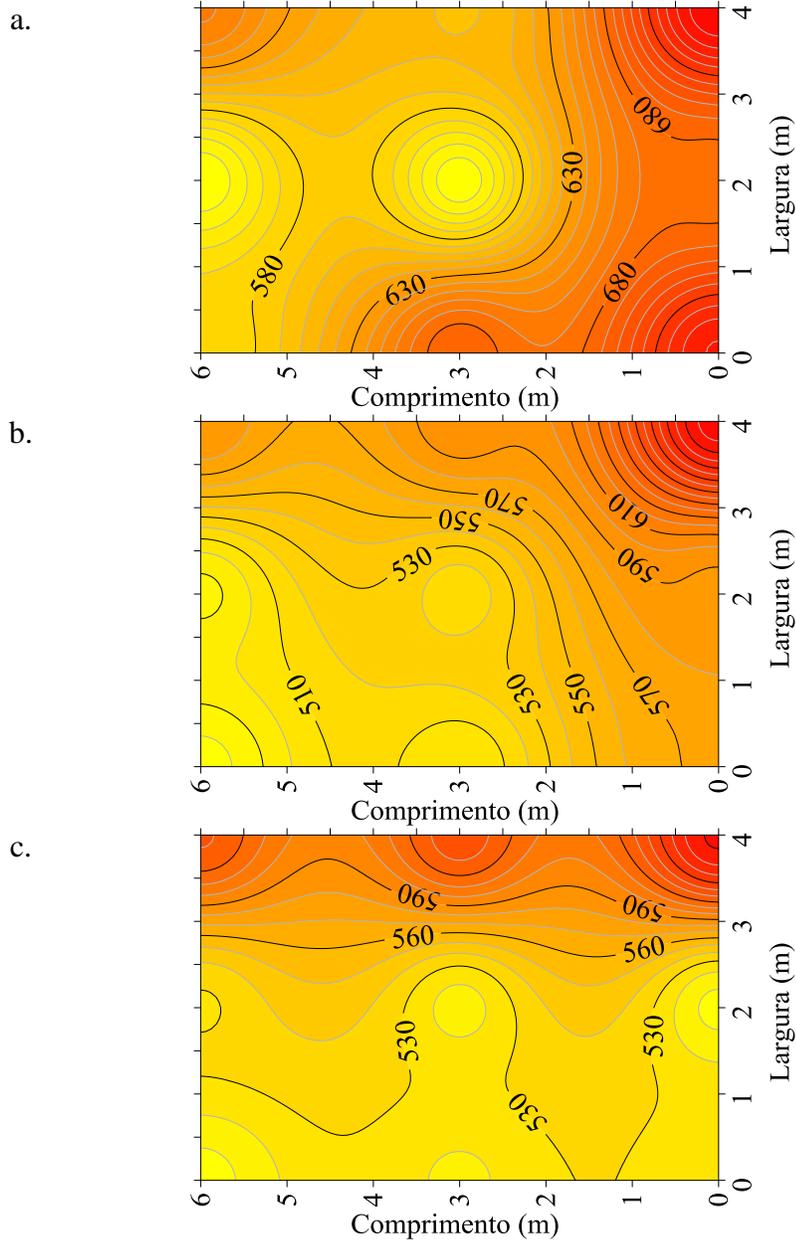
Assim como discutido anteriormente para o NH₃, os mapas mostram que os maiores valores registrados para o CO₂ encontram-se nas extremidades das áreas, junto às paredes divisórias, o que implica afirmar que a reduzida taxa de

renovação do ar nesses pontos, aparentemente é o principal fator de acúmulo desse gás. Diferentemente do que foi visto para o NH_3 , as concentrações de CO_2 não parecem ser afetadas pelos pontos destinados às dejeções.

A variação entre os pontos amostrados do gás CO_2 ocorreu de maneira discreta, comparativamente com a amônia, fato embasado pelos coeficientes de variação de 29,15; 28,33 e 28,25% para a cama sobreposta com casca de arroz, com leito de maravalha e sistema em lâmina d'água, nessa ordem.

A menor variação do gás em termos espaciais nas baias já era esperada, uma vez que o dióxido de carbono é um dos principais constituintes das massas de ar, um gás abundante, independente de onde seja avaliado.

Figura 5 - Variação espacial das concentrações de CO_2 em baias com cama sobreposta de casca de arroz (a), substrato em maravalha (b) e com piso em concreto (c).



De acordo com Medeiros et al. (2014), o coeficiente de variação para o CO₂ em galpões de recria de suínos, avaliado em três horários no dia e em baias com variável densidade animal, foram de 64,4 a 82,75%. Esses valores são bem superiores ao verificado no presente estudo. Todavia, os autores detectaram média para a concentração do gás entre 134,56 e 214,03ppm, resultados bem inferiores aos que foram expostos aqui, e por isso, a variação das concentrações nos pontos de coleta, natural da característica, impactou proporcionalmente de forma mais acentuada nos valores médios calculados.

Para Silveira et al. (2009), as maiores concentrações de CO₂ averiguadas na comparação entre diferentes tipologias construtivas de instalações de maternidade e creche se devem a deficiências nas taxas de renovação de ar. Esse fato pode explicar as maiores concentrações nas extremidades das baias avaliadas no presente estudo.

Contudo, pelos tratamentos no presente trabalho contarem com mesma tipologia construtiva, o argumento não se aplica a uma maior concentração média do dióxido de carbono verificada no sistema em cama sobreposta com casca de arroz. Nesse caso, a afirmação de Zong et al. (2014a) que os maiores índices de atividade dos animais implicam sobre a maior produção, exalação e acúmulo de CO₂ nas instalações, aparentemente, fornece um argumento mais coerente, uma vez que os maiores valores para os índices de atividade foram observados na casca de arroz.

Os resultados referentes ao índice de ocupação das baias (IO%), à espacialização das temperaturas de piso e profundidade, bem como os dados já explanados de distribuição espacial dos gases foram utilizados para a análise de componentes principais e exibidos na Figura 6. Adicionalmente, na Tabela 8 foram mostrados os resultados para os coeficientes da correlação de Spearman, seguido do seu grau de significância.

Verifica-se por meio da magnitude, direção e sentido dos vetores representativos das variáveis analisadas, bem como dos coeficientes para a correlação entre os postos ranqueados, a influência linear entre alguns parâmetros.

Dessa forma, analisando-se essas relações de maneira independente, para cada tratamento, tem-se inicialmente para a cama sobreposta de casca de arroz, a formação de três grupos distintos de variáveis, verificados com o auxílio dos componentes principais. Um primeiro grupo é formado pelas concentrações de CO₂ e IO%, o segundo pela temperatura superficial e o terceiro pelos parâmetros concentração de NH₃ e temperatura de profundidade.

Além da forte correlação positiva verificada dentro de cada grupo, nota-se também uma evidente correlação negativa entre o primeiro e o último agrupamento. Adicionalmente, os resultados exibidos na Tabela 8 reforçam o caráter correlato dos parâmetros já agrupados pela análise dos componentes principais.

De acordo com os coeficientes, há correlação positiva de 0,44 entre o IO% e o CO₂ (grupo 1), além de correlação positiva entre a temperatura de profundidade e o NH₃ (grupo 3). Pela interpretação dos coeficientes ainda é possível perceber o efeito negativo entre as variáveis dos dois grupos, sendo sensivelmente alta para os parâmetros IO% e NH₃ (-0,794).

Assim sendo, no primeiro grupamento o IO%, fator responsável por determinar a frequência do uso de cada quadrante como área de descanso, mostrou-se positivamente correlato as concentrações de CO₂, hipoteticamente pela maior densidade animal em determinados pontos. Isto é, o aumento da concentração desse gás ocorreu em detrimento do aumento do número de animais no quadrante, que como já discutido anteriormente, é produzido nos ambientes de criação, primariamente, pelo metabolismo e por intermédio da respiração (PHILIPPE; NICKS, 2015).

No grupo 2, a temperatura de superfície da casca de arroz não foi relacionada a nenhuma das demais variáveis. Esse fato indica homogeneidade entre os valores nos pontos amostrados e as propriedades que garantem ao material baixa capacidade de condução de calor, mesmo diante de temperaturas de profundidade elevadas.

Por sua vez, o terceiro grupo apresenta correlação positiva entre o NH_3 e as temperaturas de profundidade. Esse fato pode ser justificado analisando-se conjuntamente com a Figura 4a, que evidencia as maiores concentrações de NH_3 nas áreas de banheiro. Somam-se a isso, as temperaturas de profundidade mais elevadas nesses pontos, em decorrência dos processos exotérmicos da compostagem serem mais intensos devido à carga orgânica mais elevada nessas áreas.

Assim como descrito por Philippe et al. (2011), que detalham a reação da ureólise. Os autores enfatizam que a decomposição da uréia em NH_3 e CO_2 é o principal responsável pela produção da amônia nos ambientes de criação, sendo que a enzima urease, catalizadora da reação, é encontrada em altas concentrações nos microrganismos fecais. Logo, a maior atividade microbiológica observada nas áreas de maior acúmulo de dejeções propicia ambientes com elevadas temperaturas de profundidade e concentrações de amônia.

A correlação negativa observada entre o grupo 1 e 3, mais fortemente notada entre as variáveis NH_3 e IO%, presumivelmente está associada a um fator comportamental, isto é, a uma preferência por áreas de descanso isentas de altas concentrações de amônia e opostas às áreas de banheiro.

De forma semelhante à cama sobreposta com casca de arroz, as características analisadas por meio dos componentes principais para o substrato de maravalha evidenciam a formação de três agrupamentos, porém com composição distinta. O primeiro deles composto pelas concentrações de CO_2 e

NH₃, o segundo pelas temperaturas de superfície e profundidade e o terceiro, somente pela característica IO%.

No grupo 1, a correlação positiva entre o NH₃ e o CO₂ pode ser explicada pela intensa concentração dos gases em uma reduzida área da baía, facilmente notada por intermédio das Figuras 5 e 6. As demais regiões da instalação apresentaram baixas concentrações gasosas e pouca ou nenhuma variação entre os diferentes pontos amostrados, inclusive nas regiões adjacentes onde foi notado o pico dos gases, esse fato pode indicar reduzida atividade microbiológica em grande parte da área.

Para o segundo grupamento da cama sobreposta de maravalha, verificou-se correlação positiva entre as temperaturas de superfície e de profundidade. Esse resultado pode ser explicado com o auxílio dos dados sobre as diferenças entre temperaturas de profundidade e superficiais. No caso da maravalha, verificou-se a média da diferença entre as temperaturas de 5,4°C, com valores entre 3,0 e 7,6°C para os pontos amostrados e CV médio de 56,96%. Já para a casca de arroz, o valor aferido foi de 9,2°C, variando entre 3,3 e 12,5°C para os quadrantes, com CV médio de 46,83%.

Adicionalmente, os resultados mostrados na Tabela 5 indicam que a causa da menor diferença entre as temperaturas da maravalha decorre das mais baixas temperaturas de profundidade observadas no material. Esse fato possivelmente está relacionado à atividade microbiana e dessa forma, corrobora a discussão apresentada para o primeiro grupamento.

No grupo 3, a variável IO% não foi correlacionada a nenhuma das outras e esse fato pode ser explicado, primeiramente em relação às concentrações gasosas, pela ausência ou pouca variação observada para os gases NH₃ e CO₂ entre os pontos amostrados, exceto uma única área de pico localizada em uma extremidade da baía. Enfim, a ausência de variação, nesse caso, descaracterizou uma possível relação linear entre as variáveis.

Para a ausência de correlação verificada entre IO% e as temperaturas da maravalha, a justificativa ocorre de maneira similar a anterior. Como já discutido, a baixa atividade microbiológica e por consequência as baixas temperaturas de cama não constituíram um fator de expressão que fosse capaz de interferir sobre as preferências para as áreas de descanso dos animais.

Analisando-se o sistema convencional em lâmina d'água com o auxílio dos componentes principais e coeficientes de correlação de Spearman, verificou-se outro padrão, distinto dos dois outros tratamentos anteriores, com a formação de dois agrupamentos de variáveis. No primeiro, IO% apresentou-se positivamente correlato às temperaturas de superfície e às concentrações de CO₂ e no segundo as concentrações de NH₃ foram positivamente correlatas às concentrações de CO₂.

A correlação positiva verificada no grupo 1, entre a temperatura de superfície e o IO%, pode ser explicada pela transferência de calor entre os animais e o piso, por condução, uma vez que o concreto possui baixa inércia térmica e os animais utilizam ajustes posturais para facilitar a dissipação de calor quando isso é conveniente (CORDEIRO et al., 2007). Portanto, quanto maior a densidade animal em um quadrante, maior a temperatura do piso.

Por sua vez, no grupo 2, a correlação positiva entre o IO% e as concentrações de CO₂, revela que a produção e emissão do gás nos ambientes de criação de suínos são principalmente decorrentes dos animais, ou seja, espera-se que as maiores concentrações desse gás sejam detectadas nas áreas com maior concentração animal.

Por último, analisando-se os resultados em todos os sistemas de criação avaliados, percebe-se ainda um padrão comum de correlação entre variáveis, evidente e independente do tratamento. Esse é o caso da correlação entre as temperaturas de profundidade e as concentrações de NH₃. Essa evidência reforça a tese de que as maiores concentrações do gás são detectadas nos pontos da baia

com atividade microbiológica mais intensa, ou regiões onde há intenso processo de compostagem.

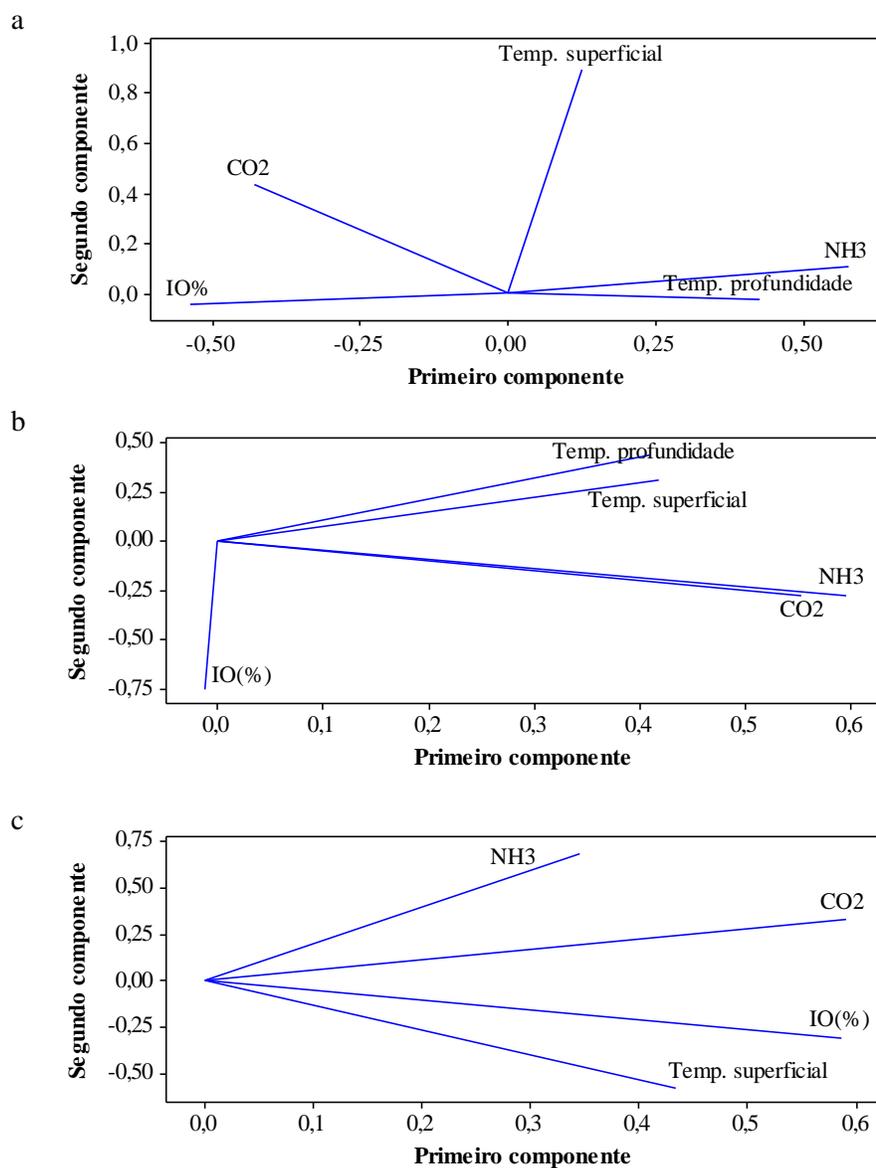
As maiores concentrações do NH_3 nessas áreas pode ser atribuída a maior concentração enzimática no meio, pela atividade microbiológica marcante, ou em decorrência das elevadas temperaturas influenciarem no equilíbrio entre NH_4^+ e NH_3 . De acordo com Pardo et al. (2015), a aeração do material em compostagem estimula a oxidação biológica do C para CO_2 , sendo essa uma reação exotérmica que libera quantidades significantes de calor, que tem potencial para influenciar sobre as emissões de amônia oriundas do material.

Tabela 8 - Análise da correlação de Spearman (p-valor) entre as variáveis de índice de ocupação das baias (IO%), temperatura superficial (TS) e de profundidade (TP) (pisos), concentração de NH_3 e CO_2 para suínos alojados em sistema de cama sobreposta com casca de arroz, maravalha e piso em concreto com lâmina d'água.

Cama sobreposta com casca de arroz				
Variáveis	IO%	TS	TP	NH_3
TS	-0,132			
TP	-0,349*	0,095		
NH_3	-0,794***	0,212	0,494**	
CO_2	0,440**	0,109	-0,360*	-0,472**
Cama sobreposta com maravalha				
TS	-0,108			
TP	-0,200	0,387*		
NH_3	0,152	0,364*	0,384*	
CO_2	0,037	0,288	0,238	0,827***
Sistema convencional em lâmina d'água				
TS	0,577***			
TP	-	-		
NH_3	0,101	-0,138	-	
CO_2	0,481**	0,219	-	0,567***

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Figura 6 - Componentes principais para o índice de ocupação das baias (IO%), temperaturas superficiais e de profundidade (piso), concentração de NH_3 e CO_2 para uma baía de sistema em cama sobreposta com casca de arroz (a), com maravalha (b) e piso em concreto com lâmina d'água(c).



Em conclusão, quando os resultados entre os diferentes tratamentos são analisados de forma conjunta, é possível se estabelecer uma teoria geral para relação entre algumas variáveis.

Com base nas justificativas já expostas, pode-se notar que as mais altas concentrações de amônia verificadas no sistema convencional são coincidentes com o melhor local da baía, em termos de ambiente térmico; ou seja, as maiores concentrações do gás incidem sobre a região de lâmina d'água. Isso faz com que não seja possível verificar o efeito negativo da amônia na escolha do local de descanso, uma vez que os fatos se opõem (ambiente térmico e aéreo) e mesmo mediante certa preferência comportamental por um ambiente aéreo mais agradável, a demanda térmica também impacta sobre a tomada de decisão por parte dos suínos.

No sistema com cama de maravalha, possivelmente a não correlação entre as concentrações de NH_3 e o IO% ou a ausência de dependência linear entre os fatores, decorreu basicamente, da baixa variação das concentrações do gás entre a maior parte dos pontos amostrados (ver Figura 4b), promovendo uma inviabilidade metodológica para o estudo das correlações.

Tomando-se como base a correlação negativa observada entre as concentrações de NH_3 e o IO% no sistema com casca de arroz. Pode-se afirmar que quando há homogeneidade nas condições do ambiente térmico da baía, a escolha das áreas de descanso evidencia uma preferência por aquelas nas quais as concentrações do referido gás sejam mais amenas.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os sistemas em cama sobreposta não implicam uma piora no ambiente térmico, pelo contrário, podem apresentar resultados melhores que aqueles verificados no sistema convencional com lâmina d'água. Em contrapartida, o material de cama representa um empecilho para a dissipação do calor corporal entre os animais e o piso.

Dado a isso, os suínos podem apresentar maior frequência respiratória como ferramenta primária para o controle da homeotermia, aparentemente, eficaz na manutenção das temperaturas internas.

O comportamento dos animais foi influenciado pelos sistemas de criação, sendo que na cama sobreposta a frequência de visita aos bebedouros foi maior. Isso se deve à incapacidade de dissipar calor através da cama e como compensação, procuram contato direto com a água, aumentando as perdas de calor via evaporativa. Por outro lado, no sistema convencional a frequência de visitas ao comedouro é maior e esse fato está relacionado, possivelmente, à falta de estímulos ambientais providos pelo piso de concreto e à incapacidade dos animais em executarem os comportamentos naturais exploratórios.

A falta de estímulos ambientais para os suínos confinados no sistema convencional foi evidente por meio da análise do índice de atividade, que indicou o sistema de cama sobreposta, principalmente com leito de casca de arroz, como aquele onde os animais apresentam os menores períodos de ócio.

As características do sistema convencional em lâmina d'água, principalmente relacionadas à exposição das dejeções, implicaram maiores concentrações de amônia nesse sistema. Verificou-se ainda o maior acúmulo desse gás nas áreas de banheiro, em todos os sistemas avaliados, devido ao metabolismo da ureia e às reduzidas taxas de renovação de ar. Esse fato é corroborado pela inter-relação verificada entre as temperaturas de profundidade das camas e as concentrações de amônia, ou seja, os valores de pico do gás

foram registrados naqueles pontos onde se verificam maiores níveis de atividade microbiana.

O sistema em cama sobreposta com casca de arroz apresentou os maiores valores para as concentrações do dióxido de carbono. Esse resultado deve-se à maior umidade, em comparação com a cama sobreposta de maravalha, e aos maiores índices de atividade em relação a todos os tratamentos. Observou-se que os pontos de maior acúmulo do gás decorrem da combinação entre concentração de animais e menor taxa de renovação do ar. Sendo assim, as áreas mais extremas das baias foram aquelas onde os valores mais elevados foram registrados.

Para o sistema em cama sobreposta com casca, aparentemente a escolha dos locais destinados ao descanso foi influenciada pelas concentrações de amônia, ficando evidente a preferência por regiões com o ambiente aéreo mais adequado.

No caso da baía com substrato de maravalha não se verificou esse efeito, muito em decorrência do acúmulo do gás em uma pequena área da instalação. Portanto, o efeito linear entre as variáveis foi insignificante.

No sistema com lâmina d'água o acúmulo da amônia não foi um fator predominante na escolha dos locais de descanso, provavelmente em razão de as áreas com melhor qualidade de ambiente térmico coincidirem com aquelas onde as maiores concentrações do gás foram registradas.

Em suma, diante do diagnóstico realizado com o emprego de diversas variáveis, pode-se afirmar que o sistema em cama sobreposta oferece condições adequadas aos leitões em terminação, principalmente por não prejudicar o ambiente térmico, fornecer um espaço desafiador e capaz de promover incremento no bem-estar animal, além de ser mais adequado quanto à composição aérea.

Entre os materiais de cama avaliados, destaca-se a cama sobreposta com casca de arroz. Pois mesmo registrando valores de umidade do ar mais elevados que a maravalha e não diferindo quanto aos parâmetros fisiológicos dos animais nem quanto às temperaturas de piso (superficiais) e concentração de amônia, os suínos exibiram um comportamento mais adequado referente à frequência de visita aos bebedouros, maior índice de atividade e uma melhor definição espacial visando às áreas preferenciais para o descanso.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. C. L. et al. Metodologia de coleta e tratamento de dados topográficos para elaboração de modelos digitais de elevação em áreas urbanas. **Scientia Plena**, Aracajú, v. 11, n. 2, p. 1–7, fev. 2015.

AMARAL, P. I. S. et al. Desempenho, comportamento e respostas fisiológicas de suínos em terminação submetidos a diferentes programas de luz. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v. 2, n. 2, p. 54–59, abr. 2014.

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; WELTER, R. A. Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 648–657, set./dez. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual - 2015**. São Paulo - SP: [s.n.], 2015. 248 p.

BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. da. Agrometeorological data correction using statistical methods. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 515–526, out./dez. 2014.

BACCARI JÚNIOR, F. A vaca leiteira e as mudanças climáticas globais. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v. 3, n. 1, p. 1–8, jan. 2015.

BARBOSA, L. et al. Avaliação de características de qualidade da carne de suínos por meio de componentes principais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1639–1645, jul./ago. 2006. Suplemento.

BECCACCIA, A. et al. Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing-finishing pigs. I. Influence of the inclusion of two levels of orange pulp and carob meal in isofibrous diets. **Animal Feed Science and Technology**, Netherlands, v. 208, n. 10, p. 158–169, Oct. 2015a.

_____. Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing pigs: II. Effect of protein source in practical diets. **Animal Feed Science and Technology**, Netherlands, v. 209, n. 11, p. 137–144, Nov. 2015b.

BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 4, p. 954–968, out./dez. 2012.

BORTOLI, M. et al. Emissão de óxido nitroso nos processos de remoção biológica de nitrogênio de efluentes. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 1–6, jan./mar. 2012.

BRAGA, D. P.; DEL'ARCO, A. E.; DIAS, R. C. Condenação de carcaças suínas por caudofagia em frigorífico sob Inspeção Federal no município de Concórdia, Santa Catarina. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 34, n. 3, p. 319–323, set. 2006.

BRUNETTO, G. et al. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1620–1628, out./nov. 2012.

BUFFINGTON, D. E. et al. Black Globe-Humidity Index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 24, n. 3, p. 711–714, Mar. 1981.

CABARAUX, J.-F. et al. Gaseous emissions from weaned pigs raised on different floor systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 130, n. 3/4, p. 86–92, Apr. 2009.

CALDARA, F. A. et al. Behavior, performance and physiological parameters of pigs reared in deep bedding. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 38–46, jan./fev. 2012.

_____. Assessing the most suitable floor system for growing-finishing piggery under tropical conditions using the analytic hierarchy process. **Italian Journal of Animal Science**, Pavia, v. 13, n. 1, p. 136–141, Jan./Mar. 2014.

CARO, D. et al. CH₄ and N₂O emissions embodied in international trade of meat. **Environmental Research Letters**, Berkeley, v. 114005, n. 9, p. 1-13, Nov. 2014.

CARVALHO, B. V.; SOUSA, A. P. M.; SOTO, F. R. M. Avaliação de sistemas de gestão ambiental em granjas de suínos. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 164-171, out. 2015.

CARVALHO, T. M. R. de et al. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 351–361, abr. 2011.

COOK, K. L. et al. Effect of turning frequency and season on composting materials from swine high-rise facilities. **Waste Management**, Oxford, v. 39, n. 10, p. 86–95, May 2015.

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, v. 36, n. 5, p. 1597–1602, set./out. 2007. Suplemento.

COSTA, O. A. D. et al. Desempenho, características de carcaça, qualidade da carne e condição sanitária de suínos criados nas fases de crescimento e terminação nos sistemas confinado convencional e de cama sobreposta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2307–2313, out. 2008.

CURI, T. M. R. de C. et al. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1062–1074, out. 2014.

DEBRECENI, O. et al. The behaviour of the pigs housed in hot climatic conditions. **Journal of Central European Agriculture**, Zagreb, v. 15, n. 1, p. 64–75, Jan./Mar. 2014.

DONG, H. et al. Greenhouse gas emissions from swine barns of various production stages in suburban Beijing, China. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 41, n. 11, p. 2391–2399, Apr. 2007.

GUY, J. H. et al. Behaviour of two genotypes of growing-finishing in three different housing systems. **Applied Animal Behaviour Science**, Oxford, v. 75, n. 3, p. 193–206, Jan. 2002.

HAMON, L.; ANDRÈS, Y.; DUMONT, E. Aerial pollutants in swine buildings: A review of their characterization and methods to reduce them. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 46, n. 22, p. 12287–12301, Nov. 2012.

HANSEN, M. J. et al. Effect of reduced crude protein on ammonia, methane, and chemical odorants emitted from pig houses. **Livestock Science**, Oxford, v. 169, n. 16, p. 118–124, Nov. 2014.

HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. Simultaneous inference in general parametric models. **Biometrical Journal**, Alemanha, v. 50, n. 3, p. 346–363, June 2008.

HOTHORN, T. et al. Implementing a class of permutation tests: the coin package. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 28, n. 8, p. 1–23, Nov. 2008.

HÖTZEL, M. J. et al. Behaviour and performance of pigs finished on deep bedding with wood shavings or rice husks in summer. **Animal Welfare**, Hertfordshire, v. 18, n. 1, p. 65–71, Feb. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE: estatística da produção pecuária**. Brasília: IBGE, 2015. 47 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: synthesis report**. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

JACOVINE, L. A. G. et al. Quantificação das áreas de preservação permanente e de reserva legal em propriedades da bacia do Rio Pomba-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 269–278, mar./abr. 2008.

JHA, R.; BERROCOSO, J. F. D. Dietary fiber and protein fermentation in the

intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: A review. **Animal Feed Science and Technology**, Netherlands, v. 212, n. 2, p. 18–26, Feb. 2015.

KAUFMANN, T. Sustainable livestock production: Low emission farm – the innovative combination of nutrient, emission and waste management with special emphasis on Chinese pig production. **Animal Nutrition**, Beijing, v. 1, n. 3, p. 104–112, Sept. 2015.

KELLY, H. R. C. et al. Behaviour of 3-week weaned pigs in Straw-Flow w, deep straw and flatdeck housing systems. **Applied Animal Behaviour Science**, Oxford, v. 68, n. 4, p. 269–280, July 2000.

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, abr./jun. 2010.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciencia & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651–665, set./dez. 2005.

LAY JÚNIOR, D. C.; HAUSSMANN, M. F.; DANIELS, M. J. Hoop housing for feeder pigs offers a welfare-friendly environment compared to a nonbedded confinement system. **Journal of Applied Animal Welfare Science**, Ann Arbor, v. 3, n. 1, p. 33–48, Jan./Mar. 2000.

LÓPEZ, J. C. et al. Biotechnologies for greenhouse gases (CH₄, N₂O, and CO₂) abatement: state of the art and challenges. **Applied Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 97, n. 6, p. 277–303, Mar. 2013.

LUZ, C. S. M. et al. Adaptive thermal traits in farm animals. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v. 4, n. 1, p. 6–11, dez. 2015.

MACHADO, F. S. et al. **Emissões de metano na pecuária**: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2011. 92 p.

MAIA, A. P. D. A. et al. Enriquecimento ambiental como medida para o bem-estar positivo de suínos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 14, n. 14, p. 2862–2877, 23 set. 2013.

MASSARI, J. M. et al. Características comportamentais de suínos em crescimento e terminação em sistema “wean to finish”. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 646–656, jul./ago. 2015.

MEDEIROS, B. B. L. et al. Uso da geoestatística na avaliação de variáveis ambientais em galpão de suínos criados em sistema “wean to finish” na fase de terminação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 800–811, set./out. 2014.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: [s.n.], 2014. 168 p.

MINITAB. State College: USAMinitab, 2010.

MONTALVO, G. et al. Effect of different dietary strategies on gas emissions and growth performance in post-weaned piglets. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madri, v. 11, n. 4, p. 1016-1027, Oct./Dec. 2013.

MORRISON, R. S. et al. The social and feeding behaviour of growing pigs in deep-litter, large group housing systems. **Applied Animal Behaviour Science**, Oxford, v. 82, n. 3, p. 173–188, July 2003.

MORRISON, R. S.; JOHNSTON, L. J.; HILBRANDS, A. M. The behaviour, welfare, growth performance and meat quality of pigs housed in a deep-litter, large group housing system compared to a conventional confinement system. **Applied Animal Behaviour Science**, Oxford, v. 103, n. 1/2, p. 12–24, Jan. 2007.

NAKAMURA, K. et al. Behavioral indexes of piglet welfare: comparison of indoor and outdoor housing systems. **Animal Science Journal**, Japão, v. 82, n. 1, p. 161–168, Feb. 2011.

NI, J.-Q. et al. Assessment of ammonia emissions from swine facilities in the U.S.—Application of knowledge from experimental research. **Environmental Science & Policy**, Oxford, v. 22, n. 3, p. 25–35, Oct. 2012.

O'MARA, F. P. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. **Animal Feed Science and Technology**, Netherlands, v. 166/167, n. 2, p. 7–15, June 2011.

OLIVEIRA, F. G.; GODOI, W. M.; PASSINI, R. Environment in poultry production covered with thermal and aluminum roofing tiles. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 206–214, mar./abr. 2015.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Food and Agriculture Organization. Brazilian agriculture: prospects and challenges. In: ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD-FAO Agricultural outlook 2015**. Paris: OECD Publishing, 2015. Chap. 2, p. 61–109.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 399–410, abr. 2011.

PAIVA, A. L. da C. et al. Análise de componentes principais em características de produção de aves de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 285–288, fev. 2010.

PARDO, G. et al. Gaseous emissions from management of solid waste: a systematic review. **Global Change Biology**, Nova Jersey, v. 21, n. 3, p. 1313–1327, Mar. 2015.

PAULO, R. M. de et al. Avaliação da amônia emitida de camas sobrepostas e piso concretado utilizados na criação de suínos 1 Evaluation of the emitted ammonia from deep beddings and concrete floor used in the swine production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 210–213, mar./abr. 2009.

PEDERSEN, S. et al. Carbon dioxide production in animal houses: a literature review. **Agricultural Engineering International: CIGR eJournal**, Beijing, v. 10, n. 2, p. 1–19, Dec. 2008.

PENA, S. M. et al. Dejetos sobre o desempenho e as características de carcaça de suínos. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 65, n. 1, p. 231–240, fev. 2013.

PEREIRA, A. M. et al. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 227–238, mar. 2015.

PEREIRA-DA-SILVA, E. M.; PEZZATO, L. E. Respostas da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) à atratividade e palatabilidade de ingredientes utilizados na alimentação de peixes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 1273–1280, set./out. 2000.

PHILIPPE, F.-X.; CABARAUX, J.-F.; NICKS, B. Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Oxford, v. 141, n. 3/4, p. 245–260, May 2011.

PHILIPPE, F. X. et al. Ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs kept on two types of straw floor. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Oxford, v. 150, n. 1, p. 45–53, Mar. 2012.

PHILIPPE, F.-X.; NICKS, B. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Oxford, v. 199, n. 1, p. 10–25, Jan. 2015.

RAHMAN, M. et al. Effect of deep litter housing and fermented feed on carcass characteristics and meat quality of crossbred Hampshire pigs. **Veterinary World**, Gujarat, v. 8, n. 7, p. 881–887, July 2015.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <URL <http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

REBOLLEDO, B.; GIL, A.; PALLARÉS, J. A spatial ammonia emission inventory for pig farming. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 64, n. 1, p. 125–131, Jan. 2013.

R-STATISTICS BLOG. **Post hoc analysis for Friedman's Test (R code)**. [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.r-statistics.com/2010/02/post-hoc-analysis-for-friedmans-test-r-code/>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

SAHA, C. K. et al. Effects of a partial pit ventilation system on indoor air quality and ammonia emission from a fattening pig room. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 105, n. 3, p. 279–287, Mar. 2010.

SAMPAIO, C. A. D. P. et al. Avaliação do ambiente térmico em instalação 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.

SANES, F. S. M. et al. Compostagem e fermentação de resíduos de pescado para produção de fertilizantes orgânicos. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1241-1252, maio/jun. 2015.

SANTOS, L. D.; MAYERLE, S. F.; CAMPOS, L. M. D. S. Tecnologias e sistemas de tratamento para os dejetos da suinocultura. **Revista Verde**, Pombal, v. 9, n. 5, p. 12–18, dez. 2014.

SARDÁ, L. G. et al. Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 1008–1013, set. 2010.

SERPA FILHO, R. et al. Compostagem de dejetos de suínos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 6, n. 1, p. 47–78, jan./abr. 2013.

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.

SOUSA, F. A. et al. Ambiência aérea e temperatura da cama sobreposta em instalação para suínos. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v. 2, n. 4, p. 109–116, out. 2014.

STINN, J. P. et al. Ammonia and greenhouse gas emissions of a swine breeding-gestation-farrowing facility in the Midwestern USA. In: **AGRICULTURAL AND BIOSYSTEMS ENGINEERING CONFERENCE PROCEEDINGS AND PRESENTATIONS**, 2012, Valencia. **Proceedings...** Valencia: ASABE, 2012. Disponível em: <http://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_conf/125>. Acesso em: 15 mar. 2015.

_____. Ammonia and greenhouse gas emissions from a modern U.S. swine breeding-gestation-farrowing system. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 98, n. 1, p. 620–628, Dec. 2014.

STRAPASSON, E.; VENCOVSKY, R.; BATISTA, L. A. R. Seleção de descritores na caracterização de germoplasma de *Paspalum sp.* por meio de componentes principais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 373–381, mar./abr. 2000.

TINÔCO, I. D. F. F. et al. Avaliação do índice de temperatura de globo negro e umidade e desempenho de suínos nas fases de crescimento e terminação criados em sistemas em camas sobrepostas em condições de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1624–1629, set./out. 2007. Suplemento.

VAN RANSBEECK, N.; VAN LANGENHOVE, H.; DEMEYER, P. Indoor concentrations and emissions factors of particulate matter, ammonia and greenhouse gases for pig fattening facilities. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 116, n. 4, p. 518–528, Dec. 2013.

VIGURIA, M. et al. Ammonia and greenhouse gases emission from on-farm stored pig slurry. **Water, Air, & Soil Pollution**, New York, v. 226, n. 9, p. 1-8, Sept. 2015.

XU, Y.-Y.; GUAN, J.-N. Measurement and analysis of ammonia emission from a pig farm in the northeast of China. **Ecological Chemistry and Engineering**, Warsaw, v. 21, n. 1, p. 71–77, Jan. 2014.

ZHANG, G. et al. Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 92, n. 3, p. 355–364, Nov. 2005.

ZHAO, Y. et al. Concentrations of ammonia, greenhouse gases and particulate matters in conventional cage, aviary , and enriched colony laying-hen houses. In: AGRICULTURAL AND BIOSYSTEMS ENGINEERING CONFERENCE PROCEEDINGS AND PRESENTATIONS, 2014, Montreal. **Proceedings...** Montreal: ASABE, 2014. Disponível em: <http://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_conf/396> . Acesso em: 15 mar. 2015.

ZHAO, Y.; XIN, H.; SHEPHERD, T. Thermal environment, ammonia concentrations, and ammonia emissions of aviary houses with white laying hens. **Transactions of the ASABE**, Joseph, v. 56, n. 3, p. 1145–1156, Aug. 2013.

ZHOU, C. et al. Gaseous emissions, growth performance and pork quality of pigs housed in deep-litter system compared to concrete-floor system. **Animal Science Journal**, Japão, v. 86, n. 4, p. 422–427, Apr. 2015.

ZONG, C. et al. Carbon dioxide production from a fattening pig building with partial pit ventilation system. **Biosystems Engineering**, Oxford, v. 126, n. 1, p. 56–68, Oct. 2014a.

_____. Effects of different air inlets on indoor air quality and ammonia emission from two experimental fattening pig rooms with partial pit ventilation system - summer condition. **Biosystems Engineering**, v. 122, n. 1, p. 163–173, June 2014b.