**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Contribuição da produção confinada de suínos na emissão de
amônia e gases de efeito estufa mediante avaliação das
metodologias contínua e simplificada**

César Augusto Pecoraro

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2015**

César Augusto Pecoraro
Zootecnista

Contribuição da produção confinada de suínos na emissão de amônia e gases de efeito estufa mediante avaliação das metodologias contínua e simplificada

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Profa. Dra. **KÉSIA OLIVEIRA DA SILVA MIRANDA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Pecoraro, César Augusto

Contribuição da produção confinada de suínos na emissão de amônia e gases de efeito estufa mediante avaliação das metodologias contínua e simplificada / César Augusto

Pecoraro. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

170 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Alterações climáticas 2. Emissão de gases 3. Metano 4. Metodologias I. Título

CDD 636.4
P369c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A minha mãe,

*Maria Aparecida de Lima Pecoraro,
Que me incentivou e me apoiou em todos os momentos de minha vida e
mobilizou todos os esforços para que eu pudesse concretizar meus objetivos.
Pelas palavras de incentivo e ânimo,
Por me mostrar que nunca estou sozinho.
Mãe, muito obrigado por tudo, te amo!*

A minha companheira,

*Marcella Bordini,
Obrigado por me fazer completo.
Uma grande companheira, a mulher que eu amo.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, coragem, iluminação, proteção e principalmente pela oportunidade de viver. Ele foi o autor de minhas vitórias e continuará sendo o firme fundamento de minha existência, meu Maior Mestre e Guia.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela oportunidade de estudos e total apoio concedido ao meu mestrado.

A minha orientadora Prof^a. Dra. Késia Oliveira da Silva Miranda, pelo constante apoio às minhas ideias e aspirações no mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pela concessão da bolsa de estudos.

À EMBRAPA Suínos e Aves pela oportunidade de realização da pesquisa.

Ao pesquisador Dr. Paulo Armando Victória de Oliveira, pelos preciosos ensinamentos, por toda sua preocupação, dedicação, auxílio e apoio dispensado ao experimento e a mim, muito obrigado!

À Granja Maltauro, pela oportunidade de executar essa pesquisa em suas instalações. Agradecimento especial ao Sr. Ronie Edson Maltauro e família, pela disponibilidade, confiança, apoio, amizade, bondade e atenção. Tenho imensa gratidão!

Ao amigo Gustavo Marques Mostaço, pela amizade, apoio, disponibilidade e parceria sempre.

Às amigas, Flávia Santos, Gislaine Romano e Graciele Angnes pelas conversas e pelo apoio, obrigado!

Aos amigos do peito que são muitos, mas que são bastante representados por estes: André Barbosa, Dárcio Gomes dos Santos, Dayana Cristina Oliveira Pereira, Dênia Borges Atílio, Endrigo Ribeiro Marino, Mary Ane Alves Macedo, Rodrigo Henriques

Longaresi, Wesley Fialho, dentre outros amigos que compartilharam desta caminhada comigo. Saibam que vocês foram meus sustentáculos e minha alegria diária.

A minha querida companheira Marcella Bordini: Obrigado pelo seu apoio, incentivo ao crescimento pessoal e profissional. Obrigado por compartilhar meus ideais e me respeitar acima de tudo, por sempre me acalmar, acreditar na minha capacidade e compreender minha ausência em alguns momentos. Eu te amo.

Aos meus pais: Maria e João, pelo apoio, pelos ensinamentos e encorajamentos a continuar na busca do ideal supremo: vencer.

Aos meus queridos irmãos Rosana, Rosângela e Sergio pelo apoio e pelas inspiradoras conversas.

Aos meus sobrinhos Giovana, Giovani e Murilo por me proporcionarem tantas alegrias e gargalhadas.

"Bendito o homem que confia no SENHOR e cuja esperança é o SENHOR."
Jeremias 17.7 - RA.

(...) Existe uma vontade que desafia esta morte
É a nossa dignidade, a força da vida
Que não se pergunta mais o que é eternidade
Ainda que haja quem a ofenda ou quem a venda
Quando sentiras que segura em teus dedos
A reconhecerás, a força da vida que trazes contigo
Não deixes nunca ir embora, não me deixes sem você
Mesmo dentro das prisões da nossa hipocrisia
Mesmo no fundo dos hospitais nessa nova doença
Existe uma força que te guarda e que reconhecerás
É a força mais teimosa que existe em nós
Que sonha e não se entrega jamais
É a vontade, mais frágil e infinita, a nossa dignidade
É a força da vida
Que não se pergunta mais, o que é a eternidade
Mas que luta todos os dias conosco até não ter fim.

Paolo Vallesi

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	15
LISTA DE FIGURAS	17
RESUMO	13
ABSTRACT	15
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	21
1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 A importância socioeconômica da suinocultura brasileira	25
2.2 Suinocultura e impactos ambientais	27
2.3 Efeito estufa e aquecimento global	29
2.3.1 Gases de efeito estufa na suinocultura	32
2.3.1.1 Produção do óxido nitroso	33
2.3.1.2 Nitrogênio molecular – N ₂	35
2.3.1.3 Dióxido de carbono	37
2.3.1.4 Metano	37
2.3.2 Produção e emissão de amônia	38
2.4 Metodologias para mensurar as emissões gasosas	42
2.4.1 Metodologia simplificada	43
2.4.2 Metodologia contínua	46
2.4.3 Equipamento para análise dos gases	46
2.4.4 Estimativas da vazão do ar pelo balanço térmico	48
2.4.5 Balanço de nutrientes	51
2.4.5.1 Balanço de nitrogênio	51
2.4.5.2 Balanço de carbono	53
2.4.5.3 Balanço de água	53
2.4.5.4 Balanço de minerais (P e K)	55
3 MATERIAL E MÉTODOS	57
3.1 Local do experimento	57
3.2 Caracterização climática da região	57
3.3 Animais utilizados	58
3.4 Caracterização da edificação	58

3.5	Avaliação das variáveis físicas do ambiente	59
3.5.1	Temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar	59
3.6	Medição das emissões gasosas	60
3.6.1	Medição pelo método contínuo	60
3.6.2	Medição pelo método simplificado	62
3.7	Cálculo da concentração mássica dos gases emitidos	64
3.8	Cálculo do fluxo das emissões gasosas	66
3.8.1	Estimativas da vazão do ar por meio do fluxo de calor	67
3.8.1.1	Produção de calor pelos animais.....	68
3.8.1.1.1	Produção de calor total	68
3.8.1.1.2	Produção de calor latente e sensível	70
3.8.1.2	Estimativa da vazão de ar segundo a produção de calor latente	70
3.8.1.3	Estimativa da vazão de ar segundo a produção de calor total.....	72
3.8.1.4	Estimativa da vazão de ar segundo a produção de calor sensível	73
3.8.1.5	Estimativa da vazão de ar pela ação dos ventos.....	73
3.9	Peso e curva de crescimento dos suínos.....	74
3.10	Manejo de alimentação.....	74
3.10.1	Consumo de ração diária dos suínos.....	75
3.10.2	Caracterização físico-química da ração	75
3.11	Modelo para estimativa da produção de dejetos	75
3.11.1	Caracterização físico-química dos dejetos produzidos.....	76
3.12	Verificações pelos balanços de massa	77
3.12.1	Balanço de água.....	77
3.12.1.1	Estimativa da água ingerida no equipamento e na ração	78
3.12.1.2	Estimativa da produção de água metabólica	79
3.12.1.3	Estimativa de água retida no corpo do suíno.....	80
3.12.1.4	Estimativa da água de evaporação	81
3.12.1.5	Estimativa da água contida no dejetos.....	82
3.12.2	Balanço do nitrogênio	83
3.12.2.1	Nitrogênio retido no corpo dos animais	83
3.12.2.2	Nitrogênio acumulado nos dejetos	84
3.12.2.3	Balanço do carbono	84
3.12.2.3.1	Carbono retido no corpo dos animais	84
3.12.2.3.2	Carbono acumulado no dejetos	85

3.12.3 Balanço dos elementos estáveis (Fósforo e Potássio).....	85
3.12.3.1 Entrada via alimentação	85
3.12.3.2 Estimativa do Fósforo e Potássio contido no dejetos	86
3.12.3.3 Retenção corporal dos elementos Fósforo e Potássio	86
3.13 Análise estatística dos resultados.....	87
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
4.1 Caracterização climática da região	89
4.2 Avaliação das variáveis físicas do ambiente.....	90
4.2.1 Temperatura máxima, mínima e média do ar	90
4.2.2 Umidade relativa do ar (máxima, mínima e média).....	92
4.3 Desempenho zootécnico dos animais	93
4.4 Consumo de alimentos	95
4.4.1 Caracterização bromatológica da ração consumida	95
4.5 Produção de dejetos	97
4.5.1 Caracterização Físico-Química dos dejetos	98
4.5.1.1 Sólidos Totais (ST), Voláteis (SV) e Fixos (SF).....	98
4.5.1.2 Nitrogênio total e Amoniacal ($N-NH_4^+$)	100
4.5.1.3 Fósforo total.....	101
4.5.1.4 Potássio (K)	101
4.6 Balanço de massa.....	102
4.6.1 Balanço da massa da água	102
4.6.2 Balanço geral do nitrogênio	105
4.6.3 Balanço geral do carbono.....	106
4.6.3 Balanço do potássio	108
4.6.4 Balanço do fósforo.....	109
4.7 Produção de gases na unidade estudada.....	111
4.7.1 Concentração dos gases pelo método simplificado	111
4.7.2 Concentração dos gases pelo método contínuo	118
4.7.3 Estimativa da vazão do ar pelo calor total, latente e velocidade do ar.....	122
4.7.4 Emissão de amônia e gases de efeito estufa.....	124
4.7.4.1 Fluxo de emissão pelo método simplificado	124
4.7.4.2 Emissão pelo método contínuo	129
4.7.5 Comparação dos resultados da metodologia simplificada e contínua.....	133

4.7.6	Validação das metodologias	140
4.7.7	Quantificação das emissões	141
5	CONCLUSÕES	143

RESUMO

Contribuição da produção confinada de suínos na emissão de amônia e gases de efeito estufa mediante avaliação das metodologias contínua e simplificada

O impacto ambiental gerado pelas atividades pecuárias sobre o meio ambiente desperta cada vez mais atenção para estudos de avaliação do potencial poluidor das atividades. Essas atividades contribuem significativamente para as emissões de amônia e gases de efeito estufa. A amônia por sua vez contribui para a eutrofização e acidificação dos ecossistemas. Gases de efeito estufa (GEE), incluindo o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e vapor de H_2O são considerados os principais gases responsáveis pelo mecanismo de aquecimento global e as alterações climáticas. Atualmente, a carne suína é a mais consumida no mundo, estima-se que seu consumo aumentará nos próximos anos e, para atender esta demanda, os sistemas produtivos de suínos deverão ampliar sua capacidade produtiva para abastecer o mercado consumidor crescente. A avaliação ambiental dos sistemas de produção de suínos torna-se essencial para garantir a sustentabilidade do setor. Assim, pelo exposto, essa pesquisa tem como objetivo caracterizar as emissões de amônia e gases de efeito estufa em uma unidade de produção de suínos na fase fisiológica de crescimento e terminação utilizando duas metodologias: a contínua e a simplificada. Além disso, pretendemos verificar os resultados obtidos pelas duas metodologias por meio do balanço de nutrientes: este permite avaliar a coerência dos dados obtidos pelas duas metodologias. E por fim, correlacionar as emissões gasosas à variável climática temperatura. O estudo foi desenvolvido em uma granja comercial, no município de Concórdia – SC. A mensuração dos gases foi realizada segundo as recomendações das metodologias: contínua e simplificada. As concentrações dos gases no ar foram mensuradas pelo analisador de gás (INNOVA 1412). As emissões gasosas médias foram calculadas considerando a taxa de ventilação e as diferenças de concentração de gases entre o ar interior e exterior da instalação. O fluxo de emissão obtido pela metodologia simplificada em $[\text{g. suíno}^{-1} \cdot \text{hora}^{-1}]$ foram 2,689 para o CO_2 , 0,30 para o N_2O , 4,39 para o CH_4 , 13,55 para o NH_3 e 3,273 para água. O fluxo obtido para a metodologia contínua em $[\text{g. suíno}^{-1} \cdot \text{hora}^{-1}]$ foi de 574 para CO_2 , 0,67 para o N_2O , 19,50 para o CH_4 , 5,84 para o NH_3 e 7,239 para vapor de água. Em comparação ao balanço de massa, a metodologia simplificada apresentou maior coerência em relação aos dados obtidos.

Palavras-chave: Alterações climáticas; Emissão de gases; Metano; Metodologias

ABSTRACT

Contribution of swine confined production in ammonia emissions and greenhouse effect gases through evaluation of continuous and simplified methodologies

The environmental impact caused by the livestock activities is increasing the number of researches about it, taking into consideration the pollution effects in the environment. The agricultural activities have a great contribution to ammonia's and greenhouse gases' emissions. Ammonia contributes to eutrophication and acidification of ecosystems. Greenhouse gases (GEE), including CO₂, CH₄, N₂O and vapour of H₂O are considered the main responsible gases for the global warming and the climate changes. Nowadays, the pig flesh is the most consumed one worldwide and this consumption tends to continue increasing in the next years. In order to attend this request, the swine production systems must extend their productive capacity to supply the consumer market. The environmental evaluation of swine production systems has been considered essential to guarantee the sustainability of this sector. Taking into consideration this situation, this research aims at characterizing the ammonia's and greenhouse gases' emissions in one swine production installation in the growth physiological stage and in the terminating stage, basing ourselves in two methodologies: the continuous and the simplified ones. Furthermore, we aim at verifying the obtained results by these two methodologies, through nutrient balance: this one enables to evaluate the data's consistency using both methodologies. And finally, we objective to correlate the gas emissions to the temperature (climatic variable). This research was developed in commercial farm in Concórdia – SC. The gas mensuration was accomplished by the two cited methodologies: the continuous and the simplified. The concentrations of gases in the air were measured by the gas analyzer (INNOVA 1412). The average gas emissions were estimated, taking into consideration the ventilation rate and the concentration differences of gases between the interior and exterior part of the installation. The emission flow obtained by the simplified methodology in [g. swine⁻¹. hour⁻¹] was 2,689 to CO₂, 0,30 to N₂O, 4,39 to CH₄, 13,55 to NH₃ and 3,273 to water. The emission flow obtained by the continuous methodology in [g. swine⁻¹. hour⁻¹] was 574 to CO₂, 0,67 to N₂O, 19,50 to CH₄, 5,84 to NH₃ and 7,239 to water vapor. Comparing these values to the mass balance, the simplified methodology presented a greater consistency in relation to the obtained data.

Keywords: Climate changes; Gas emissions; Methane; Methodologies

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Histórico da produção de carne suína no Brasil no período entre (2005 2013).....	26
Figura 2 - Dinâmica do efeito estufa causado pela presença dos GEE na atmosfera	30
Figura 3 – Produtos intermediários da desnitrificação; NaR, NiR, NoR e N2OR são enzimas redutazes	36
Figura 4 - Monitor fotoacústico de gases.....	47
Figura 5 - Esquema do princípio geral do analisador de gás fotoacústico INNOVA 1412.....	47
Figura 6 -Exemplos de fluxo de ar através da edificação por meio da ventilação natural – corte transversal e planta baixa (vários autores)	48
Figura 7 - Exemplo da influência de árvores e obstáculos no entorno da edificação sobre o fluxo do ar.....	49
Figura 8 - Representação dos ganhos e perdas de energia na forma de calor nas edificações para suínos.....	50
Figura 9 - Esquema do princípio do balanço de massa para o nitrogênio	52
Figura 10 - Esquema do balanço geral de água em suínos	54
Figura 11- Representação gráfica do local onde foi realizado o experimento; Alto Bela Vista – Localização da granja, Concórdia – Unidade da EMBRAPA responsável pelo apoio técnico	57
Figura 12 - Vista lateral externa do galpão (a) e vista interna do galpão (b)	58
Figura 13 -Posicionamento dos microprocessadores data logger na edificação: (a) posicionamento no exterior da edificação; (b) posicionamento no interior da edificação.	59
Figura 14 - Vista do anemômetro no exterior da instalação (a), vista do anemômetro no interior da instalação (b).	60
Figura 15 -Tubos de coleta do ar envoltos pela espuma isolante térmica e mangueira sanfonada (a), vista do ponto de coleta do ar no interior da instalação (b).	61
Figura 16 -Representação esquemática da distribuição dos pontos de coleta na instalação, ponto de coleta interior (P1), ponto de coleta do exterior (P2), válvula utilizada para alternar os pontos de coleta (S1) e interligá-los ao	

analizador INNOVA 1412 e o armazenamento dos dados no microcomputador.....	61
Figura 17 -Dispositivo utilizado para coleta de gases, composto por um filtro de ar, uma bomba, um saco do tipo Tedlar®, tubo de Teflon (4 mm de diâmetro), uma haste de madeira e funil.....	62
Figura 18 -Procedimento para coleta do ar no exterior da instalação (a), detalhes do dispositivo coletor (b).....	63
Figura 19 -Procedimento para coleta do ar no interior da instalação (a), altura de coleta do ar no interior da instalação (b).....	63
Figura 20 -Procedimento de leitura dos gases contidos nos sacos coletores pelo analisador de gás INNOVA 1412.....	64
Figura 21 -Procedimentos para a coleta da ração (a), amostra composta que foi enviada ao laboratório para análise (b).....	75
Figura 22-Vista da canaleta presente na instalação (a), procedimento de homogeneização dos dejetos nas canaletas da instalação (b), procedimentos de amostragem do dejetos (c), alíquota enviada para as análises laboratoriais (d).....	76
Figura 23 - Esquema do balanço geral de água em suínos.....	78
Figura 24 -Valores médios de temperatura do ar no interior e exterior da edificação ao longo do período de coleta dos dados.	91
Figura 25 -Valores médios de umidade relativa do ar no ambiente interno e externo da edificação ao longo do período de coleta.....	92
Figura 26 -Valores das médias horárias diárias observadas durante o período de coleta (13/01/2014 a 10/02/2014); para temperatura °C (a) e umidade relativa do ar UR% (b). No interior e exterior da edificação.	93
Figura 27 - Peso dos animais (kg), durante os períodos de crescimento e engorda.	94
Figura 28 -Consumo médio de ração (kg de ração/suíno/dia), em função do tempo de alojamento.	95
Figura 29 - Evolução das produções médias de dejetos por semana	98
Figura 30 - Concentrações médias de CO ₂ em (ppm) no ambiente interno e externo da edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).....	114
Figura 31 -Concentrações médias do CH ₄ observadas no ambiente interno e externoda edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).	115

Figura 32 - Concentrações médias do NH_3 observadas no ambiente interno e externo da edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).....	116
Figura 33 - Concentrações médias do N_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).....	117
Figura 34 - Concentrações médias do H_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).....	117
Figura 35 - Variação das concentrações médias diárias de CO_2 observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo.	119
Figura 36 - Concentrações médias diárias do CH_4 observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo de medição.	120
Figura 37 - Concentrações médias diárias do NH_3 observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo de medição.	120
Figura 38 - Concentrações médias diárias do N_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo de medição.	121
Figura 39 - Concentrações médias diárias do H_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo de medição.	121
Figura 40 - Estimativa da vazão de ar na edificação pelo calor total, latente e pelo anemômetro no período da manhã (09h00 – 10h00).	122
Figura 41 - Estimativa da vazão de ar na edificação pelo calor total, latente e pelo anemômetro no período da manhã (13h00 – 14h00).	123
Figura 42 - Estimativa da vazão de ar na edificação pelo calor total, latente e pelo anemômetro, os dados são as médias diárias de todo o período experimental.....	123
Figura 43 - Médias dos fluxos das emissões calculadas por meio da vazão por calor total, sensível e anemômetro: a) C- CO_2 , b) N- N_2O , c) N- NH_3 e d) C- CH_4	126
Figura 44 - Médias dos fluxos das emissões calculadas por meio da vazão por calor total, sensível e anemômetro: a) C- CO_2 , b) N- N_2O , c) N- NH_3 e d) C- CH_4	131

- Figura 45 - Comparação das emissões de CO₂ obtidas pela metodologia contínua (MC) e simplificada (MS). Os valores estão em (g/suíno/dia) em função do tempo de alojamento dos suínos.134
- Figura 46 - Comparação das emissões de N₂O obtidas pela metodologia contínua (MC) e simplificada (MS). Os valores estão em (g/suíno) em função do tempo de alojamento dos suínos.134
- Figura 47 - Comparação das emissões de CH₄ obtidas pela metodologia contínua (MC) e simplificada (MS). Os valores estão em (g/suíno) em função do tempo de alojamento dos suínos.135
- Figura 48 - Comparação das emissões de NH₃ obtidas pela metodologia contínua (MC) e simplificada (MS). Os valores estão em (g/suíno) em função do tempo de alojamento dos suínos.135
- Figura 49 - Variação diurna da temperatura (c), umidade relativa do ar (f), e das emissões gasosas de CO₂ (a), CH₄ (e), N₂O (b) e NH₃ (d), obtidos pela metodologia contínua.137
- Figura 50 - Relação entre a emissão de amônia e temperatura do ar.138
- Figura 51- Emissões gasosas obtidas pelo método simplificado no período da manhã (09h00) e tarde (13h00). Emissões de dióxido de carbono (a), amônia (b), óxido nítrico (c) e metano (d).139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efetivo do rebanho suíno e participação no total do rebanho brasileiro (%)	26
Tabela 2- Projeção da população humana (em bilhões de pessoas) e consumo global de carnes (em milhões de toneladas) de 2010 até 2050	27
Tabela 3 - Principais gases de efeito estufa (GEE) e respectivo GWP	31
Tabela 4 – Emissões de amônia de acordo com o estágio fisiológico de suínos	41
Tabela 5 -Coeficientes utilizados nas equações de produção de calor da CIGR (2002)	69
Tabela 6 - Variáveis físico-químicas analisadas e método analítico	77
Tabela 7 -Dados climáticos da microrregião de Concórdia – SC, observados durante o período de coleta dos dados (13/01/14 a 10/02/14)	89
Tabela 8 -Valores médios, máximos e mínimos de temperatura do ar no interior e exterior da edificação ao longo do experimento.	92
Tabela 9 -Médias de desempenho zootécnico e consumo alimentar dos animais durante o período experimental	93
Tabela 10-Composição bromatológica da ração em função do tempo de alojamento.	96
Tabela 11-Concentrações médias de Sólidos Totais (ST), Voláteis (SV) e Fixos (SF) nos dejetos em função do tempo de alojamento dos suínos	99
Tabela 12-Concentrações médias do nitrogênio total (NT) e nitrogênio amoniacal (NH_4^+) dos dejetos, na matéria original, em função do tempo de alojamento dos suínos	100
Tabela 13 -Concentrações médias do Fósforo Total nos dejetos, em função do tempo de alojamento dos suínos	101
Tabela 14 - Concentrações médias de potássio nos dejetos em função do tempo de alojamento de suínos	102
Tabela 15 - Consumo médio de água em função do período de alojamento	103
Tabela 16-Balanço geral da água estimado na edificação referente ao período experimental	104
Tabela 17 - Balanço do nitrogênio	105
Tabela 18 - Balanço do carbono	106
Tabela 19 - Balanço do potássio	108

Tabela 20 - Balanço do fósforo.....	109
Tabela 21- Dados médios, máximos, mínimos e desvios-padrões das concentrações de gases (ppm) e vapor de água (mg.h^{-1}) na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação em (suíno/h), pelo método simplificado, no período matutino (09h00 – 10h00).....	111
Tabela 22-Dados médios, máximos, mínimos, desvio-padrão e coeficiente de variação das concentrações de gases (ppm) e vapor de água (g/m^3), obtidos pelo método simplificado no período vespertino (13h00 – 14h00).	113
Tabela 23 -Dados médios, máximos, mínimos e desvios-padrões das concentrações de gases (ppm) e vapor d'água (mg.h^{-1}) na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação em (suíno/h), pelo método contínuo.	118
Tabela 24- Dados médios, máximos, mínimos e desvios-padrões do fluxo de gases e vapor d'água em ($\text{g. suíno. dia}^{-1}$) na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação, pelo método simplificado.....	124
Tabela 25 -Comparação dos fluxos médios de C-CO ₂ , C-CH ₄ , N-NH ₃ , N-N ₂ O e H ₂ O (g. suíno. hora), estimados pelo calor total, latente e anemômetro para o método simplificado.	125
Tabela 26 -Observações, médias e desvios-padrões do fluxo de gases, vapor d'água e amônia na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação, pelo método simplificado.	127
Tabela 27-Emissões gasosas decorrentes da produção de um suíno com peso médio de 115 kg.	141
Tabela 28 – Emissões gasosas decorrente da produção de 1 kg de carne suína. .	141

1 INTRODUÇÃO

A carne suína é a mais consumida atualmente, representa 38% do consumo de carne no mundo (FAO, 2011). Estima-se que até 2050 ocorra um aumento no seu consumo em até 10%, o qual está interligado ao crescimento demográfico, às mudanças de hábito de consumo e intensificação dos sistemas de produção de suínos.

Aumentar o consumo da carne suína faz com que as empresas produtoras tenham que produzir mais animais havendo, portanto, a necessidade de mais nutrientes para produção de proteína animal. Assim sendo, existe um aumento no volume de dejetos produzidos, além da emissão de gases para o ambiente. Os impactos relacionados à produção animal têm sido alvo de debates e pesquisas ao redor do mundo sobre qual seria a real contribuição na poluição do ar e alterações climáticas.

O aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera é apontado como possível causador do aquecimento global. Os principais gases responsáveis por este efeito são; vapor de água, o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Globalmente, estima-se que as emissões de gases de efeito estufa pelas atividades pecuárias sejam de aproximadamente 18%, deste total a suinocultura é apontada como sendo responsável por aproximadamente 13% das emissões (STEINFELD et al., 2006).

As estimativas de emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção de suínos são realizadas em sua maioria sobre condições do continente europeu e norte americano, nas quais as características construtivas das edificações, clima, dentre outros, diferem-se das que são encontradas aqui no Brasil. Além disso, algumas metodologias utilizadas para a mensuração dos gases apresentam alguns inconvenientes: são imprecisas, fornecem-nos dados superestimados ou subestimados, não são adequadas para todas as situações, apresentam custo elevado para aplicação em maior número de unidades, etc.

O Brasil assumiu compromissos voluntários de redução das emissões de gases de efeito estufa durante a Conferência das Partes - COP 15 em Copenhague, Dinamarca (2009), entretanto ainda não sabemos qual a real contribuição da suinocultura no montante de emissões de gases de efeito estufa.

Desta forma surge a necessidade de adotar métodos considerados “padrões” para que as quantificações sejam realizadas e obter estimativas das emissões com uma margem de erro menor que aqueles presentes nos atuais inventários que temos disponíveis.

Pelo exposto, essa pesquisa tem como objetivo caracterizar as emissões de amônia e gases de efeito estufa em uma unidade de produção de suínos na fase fisiológica de crescimento e terminação utilizando duas metodologias: a contínua e a simplificada.

Além disso, verificar os resultados obtidos pelas duas metodologias por meio do balanço de nutrientes; este permite avaliar a coerência dos dados obtidos pelas duas metodologias. E por fim, correlacionar às emissões gasosas a variável climática temperatura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância socioeconômica da suinocultura brasileira

Com o crescimento da população mundial a partir do século XX, o consumo de proteína animal apresentou considerável aumento. Entre as décadas de 60 e 70, as antigas criações extensivas de suínos e de “fundo de quintal” passaram a se intensificar, caracterizando-se pelo alojamento de um grande número de animais em um espaço bem mais reduzido do que até então. Isto possibilitou o grande aumento na produção de alimentos de origem animal para o consumo humano (PANDORFI, 2005). De típica atividade complementar, transformou-se em uma moderna cadeia produtiva que opera com altos índices de produtividade integrada a um pujante complexo industrial.

A primeira transformação foi o resultado da consolidação do sistema de produção em regime de integração que se instalou, primordialmente no sul do país, e posteriormente para outras áreas, grandes produtoras de cereais, como o centro-oeste brasileiro (SINOTTI, 2005). O desempenho dos produtores foi reforçado pelos avanços, principalmente, no campo da genética, onde a introdução de animais produtores de carne magra levou a atividade a produzir animais de maior eficiência na conversão alimentar, culminando com a transformação do perfil do setor. Desta forma, a suinocultura industrial brasileira ostenta indicadores de produtividade competitivos com os principais países produtores (TINOCO et al., 2002; SILVEIRA et al., 2009; KICH et al., 2011).

No setor agropecuário brasileiro, a suinocultura é uma atividade de grande importância econômica, contribuindo com aproximadamente 1,5% do PIB. No mercado internacional, o Brasil foi o 4º maior produtor mundial de suínos: foram processadas 3.49 milhões de toneladas de carne, ficando atrás da China, União Europeia e EUA. Os principais destinos da carne suína brasileira são a Rússia (26%), seguida por Hong-Kong e Ucrânia, com respectivamente 23,44 e 13,2% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA - ABIPECS, 2013).

De acordo com o último levantamento realizado pelo IBGE, relativo à Produção Pecuária por Município (IBGE, 2006), a região sul é responsável por aproximadamente 50% de toda a produção nacional, sendo Santa Catarina o maior produtor com 20%, seguido pelos estados do Rio Grande do Sul e Paraná. A Tabela

01 apresenta a participação dos principais estados produtores de suínos em relação ao contingente nacional.

Tabela 1 - Efetivo do rebanho suíno e participação no total do rebanho brasileiro (%)

Unidades Federativas	Rebanho (cabeças)	Participação no Total (%)
Santa Catarina	7.480,183	19,3
Rio Grande do Sul	6.213,316	16,0
Paraná	5.518,927	14,2
Minas Gerais	5.157,142	13,3
São Paulo	1.557,481	4,0
Bahia	1.513,425	3,1

Fonte: Pesquisa pecuária estadual (IBGE, 2006)

A suinocultura vem ao longo dos anos se consolidando e conquistando mais espaço, apresentando além de um crescimento expressivo no número de animais, uma expansão dos rebanhos industriais para regiões nas quais, até então, essas produções eram menos tradicionais (Sudeste e Centro-Oeste). De acordo com os dados apresentados pela ABIPECS (2013), a produção de carne suína no Brasil cresce em taxas anuais médias de 1,5% a 2% (Figura 1).

Figura 1 - Histórico da produção de carne suína no Brasil no período entre (2005 – 2013)

Fonte: Adaptado de ABIPECS (2014)

Esse crescimento na produção de carne suína ocorreu em detrimento principalmente de inovações tecnológicas, mudanças nos hábitos alimentares e novos mercados para exportação da carne brasileira.

2.2 Suinocultura e impactos ambientais

A carne suína é atualmente a mais consumida no mundo, e corresponde a aproximadamente 38% do consumo total de carne (FAO, 2011; PHILIPPE, 2013). Estimativas, apontam para um crescimento de 10% no consumo de carne suína até o ano de 2050, devido principalmente ao crescimento demográfico, mudanças no hábito de consumo e renda *per capita* da população (Tabela 2).

Tabela 2 – Projeção da população humana (em bilhões de pessoas) e consumo global de carnes (em milhões de toneladas) de 2010 até 2050

	2010	2020	2030	2050	Crescimento [2010 – 2050]
População humana	6,91	7,76	8,31	9,15	+32%
Consumo das carnes					
Carne suína	102,3	115,3	129,9	140,7	+38%
Carne frango	85,9	111,0	143,5	193,3	+125%
Carne bovina	67,3	77,3	88,9	106,3	+58%
Carne ovina	13,2	15,7	18,5	23,5	+78%
Total	268,7	319,3	380,8	463,8	+73%

Fonte: Adaptado de FAO (2011)

Para atender esta demanda de carne suína deverá haver um aumento na produção de animais criados para a produção de carne. Uma das principais preocupações com relação a esse grande crescimento do rebanho suíno industrial está relacionada aos possíveis impactos ambientais resultantes da atividade.

Segundo Steinfeld et al. (2006) as atividades pecuárias são responsáveis por 18% das emissões antropogênicas de GEE. A suinocultura é considerada como a segunda maior contribuinte nas emissões gasosas, com aproximadamente 18% do total de emissões, dentre as demais atividades. Devido aos acordos internacionais e para contrapor as barreiras não tarifárias criou-se uma demanda do governo no sentido de avaliar a emissão de gases na atmosfera, por meio de inventários em várias escalas de abordagem municipais, estaduais e nacionais.

Atualmente no Brasil não existem estudos quantitativos, com base experimental, sobre o balanço de carbono, integrando a quantificação de gases (metano, dióxido de carbono e óxido nitroso), o que dificulta a comparação entre os diferentes sistemas de produção de suínos atualmente utilizados em relação ao seu potencial de emissão. Além do deslocamento geográfico, o perfil da produção de carnes no mundo também tem sofrido grandes transformações. Entre 1982 e 1997, o número de granjas nos Estados Unidos diminuiu 51%, enquanto que a produção animal aumentou 10% (GOLLEHON et al., 2001).

No Brasil ocorre fenômeno semelhante; de acordo com Miranda (2005), em pouco mais de 20 anos (entre 1985 e 2003), foi verificada uma redução de 69% no número de produtores de suínos no estado de Santa Catarina (maior rebanho do Brasil), sendo que nesse mesmo período, o número do efetivo de animais aumentou 75,1%. Esses dados evidenciam o aumento na escala da produção, ou seja, o número de animais alojados por unidade produtiva vem crescendo de forma expressiva, aumentando a complexidade do manejo dos resíduos gerados nas granjas e agravando os problemas ambientais nas regiões de alta concentração de animais.

Durante a 15ª Conferência das Partes, o Brasil apresentou voluntariamente as ações nacionais apropriadas de mitigação (NAMAs), as quais estabelecem redução de 36,1% a 38,9% das emissões projetadas para 2020. Dentre tais NAMAs, algumas estão ligadas diretamente à mitigação das emissões de gases de efeito estufa relacionadas à atividade pecuária (BRASIL, 2010). De acordo com estudo de Cerri et al. (2010), essas metas são passíveis de serem atingidas com as tecnologias disponíveis atualmente, entretanto, são necessários estudos mais aprofundados para quantificar as emissões e o potencial de mitigação de GEEs dessas tecnologias, para melhor embasar as políticas públicas e orientar a cadeia produtiva.

Em 2006 a Organização para a Alimentação e Agricultura das nações Unidas, (FAO), no artigo “A grande sombra da pecuária”, divulgou que a pecuária é o quinto maior emissor de gases de efeito estufa, respondendo por 18% das emissões mundiais de gases de efeito estufa. A repercussão desses estudos preocupou os segmentos da pecuária nacional e a comunidade científica, que começaram a mobilizar ações de questionamento e estudo da problemática.

No Brasil são escassos os estudos sobre emissão de gases de efeito estufa na produção de suínos. Entre os poucos trabalhos existentes na área de suínos,

podem ser citados alguns estudos de emissão de gás carbônico em solos adubados com dejetos de suínos (GIACOMINI; AITA, 2008), e avaliações de potencial de redução de emissão através do uso de sistemas de tratamentos, tais como biodigestores (ANGONESE et al., 2007), no qual a linha base referencial são os índices do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – (IPCC), que são comparados às emissões de gases produzidos em biodigestores em escala reduzida.

2.3 Efeito estufa e aquecimento global

As primeiras discussões sobre meio ambiente e mudanças climáticas em âmbito internacional tiveram início após a segunda metade do século XX, fortaleceram-se durante a década de 80, e desde então, entraram em vigor diversos tratados internacionais que preconizam a cooperação entre os países e busca de soluções para se tentar amenizar os impactos nocivos das atividades antrópicas sobre o meio ambiente, especialmente sobre a intensificação do efeito estufa.

Os principais gases causadores do efeito estufa (GEEs), tais como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e até mesmo o vapor d'água, são gases que sempre existiram na atmosfera terrestre e desempenham um papel fundamental à manutenção da vida no planeta. São responsáveis por formar uma indispensável camada protetora entre a atmosfera da Terra e o espaço, a fim de que o planeta seja capaz de reter o calor proveniente do Sol e manter-se aquecido, garantindo, assim, condições favoráveis para a manutenção da vida.

No entanto, as atividades industriais e pecuárias desenvolvidas pelo homem para atendimento de suas necessidades passaram a contribuir com a intensificação de emissões destes gases. As alterações no clima terrestre vêm sendo discutidas e estudadas por inúmeros pesquisadores (XAVIER, 2004; RIGOLOT, 2010; AMORIM, 2012; BROTO; BULKELEY, 2013; GRANDERSON, 2014; KOKIC et al., 2014; TENDALL; GAILLARD, 2015) em nível mundial, com o objetivo compreender os mecanismos que as causam, bem como, a possibilidade de minimizar os impactos danosos decorrentes do aquecimento global.

A elevação da temperatura da atmosfera terrestre, genericamente chamada de aquecimento global, encontra-se envolta em muitas dúvidas quanto as suas reais causas e possíveis consequências. Por esta condição, o aquecimento global é

considerado uma das principais questões que preocupam a sociedade, em face ao desconhecimento do fenômeno, bem como, as possíveis repercussões sobre a vida da população em tempos futuros (MENDONÇA, 2003; CHIANESE et al., 2009).

O termo *aquecimento global* refere-se à ampliação do efeito estufa causado principalmente pelo aumento da concentração de certos gases na atmosfera. Estes gases impedem a liberação do calor emitido pela superfície terrestre para o espaço, a partir de seu aquecimento pelo sol, tal qual ocorre dentro de uma estufa para cultivo de vegetais. Entre os gases de efeito estufa (GEE), os mais significativos são o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) emitido pela intensificação das atividades antrópicas (NAE et al. 2005 apud AMORIM, 2012). A (Figura 2) representa de forma ilustrada o fenômeno do efeito estufa (FEMA, 2008).

Figura 2 - Dinâmica do efeito estufa causado pela presença dos GEE na atmosfera

Fonte: Minas Gerais – FEMA (2008)

Grande parte da energia da Terra vem do Sol (1). Parte da energia do Sol que alcança a atmosfera terrestre é refletida de volta ao espaço antes mesmo de chegar à superfície (2), enquanto uma parte da energia na faixa dos menores comprimentos de onda é absorvida pela camada de ozônio estratosférico (3). A energia do Sol que alcança a superfície da Terra aquece-a (4). A Terra, por sua vez, reflete parte da energia recebida, mas em comprimentos de onda maiores (5). Se toda a energia refletida escapasse de volta para o espaço (6), a temperatura média da superfície da

Terra seria aproximadamente -17°C e não 15°C , como atualmente. Graças à presença do vapor d'água e dos GEE na atmosfera, parte da energia refletida pela superfície da Terra fica retida, contribuindo para manter o planeta aquecido (7).

Os principais gases de efeito estufa decorrentes de atividades antrópicas são descritos na Tabela 2, bem como o potencial de aquecimento e seu tempo de vida na atmosfera. A capacidade desses gases em contribuir para o aquecimento global é medida por um indicador chamado de Potencial de Aquecimento Global (GWP^1), que indica a contribuição relativa de cada gás, por unidade de massa, comparada a do dióxido de carbono (CO_2). (Tabela 3).

Tabela 3 - Principais gases de efeito estufa (GEE) e respectivo GWP

Gás	Fórmula	Potencial de aquecimento global (GWP)	Tempo de vida na atmosfera (anos)
Dióxido de carbono	CO_2	1	Variável
Metano	CH_4	25	12
Óxido nitroso	N_2O	298	114

Fonte: Adaptado de IPCC (2007)

De acordo como o novo documento do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, as concentrações de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso na atmosfera têm aumentado notadamente no mundo como resultado de atividades humanas desde 1750 (IPCC, 2006). Este documento relatou que os incrementos nas concentrações de gás carbônico são devidos principalmente ao uso de combustíveis fósseis e às mudanças no uso do solo, enquanto os aumentos das concentrações de metano e de dióxido nitroso são principalmente devido à produção agropecuária.

De acordo com a FAO (2006), entre os gases de efeito estufa, grande parte das atenções está voltada ao CO_2 devido ao seu impacto ambiental, concentração e quantidades emitidas na atmosfera, sendo extremamente altas quando comparadas com outros gases.

O metano é o segundo gás de efeito estufa mais importante. Uma vez emitido, o CH_4 permanece na atmosfera por 9-15 anos. Além disso, o seu GWP é 25

¹ GWP é uma sigla em inglês que significa *Global Warming Potential*.

vezes maior que o do CO_2 , considerando um período de atividades de 100 anos. Desde a era pré-industrial, a concentração de CH_4 na atmosfera aumentou em 150%. Do total das emissões globais de CH_4 de origem antrópica (370 milhões de toneladas), cerca de 80 Teragramas (22%) são emitidos a partir dos processos entéricos (IPCC, 2007).

O óxido nitroso é o terceiro gás de efeito estufa, de grande importância e com alto poder em reter calor. Apesar de sua concentração ser consideravelmente pequena, o N_2O é 298 vezes mais eficiente do que o CO_2 na retenção de calor, possuindo uma vida atmosférica muito longa, 114 anos (FAO, 2006). De acordo com o IPCC (1995), as emissões globais de N_2O são estimadas entre 3.7 a 7.7 Teragramas² N/ano.

Nos últimos 200 anos, a temperatura média na superfície terrestre subiu cerca de 6°C. A maior parte do aumento das médias de temperatura, observadas no mundo desde a segunda metade do século 20, é provavelmente devido ao incremento nas concentrações de GEE (IPCC, 2007).

Aa atividades agropecuárias são consideradas como grandes responsáveis pelas emissões consideráveis destes gases. Assim sendo, as mais diversas criações animais estão contribuindo significativamente para a maioria dos problemas ambientais do planeta, tais como o aquecimento global, a poluição do ar e da água, a degradação dos solos e a perda da biodiversidade.

2.3.1 Gases de efeito estufa na suinocultura

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) contribuem para o aquecimento global e as alterações climáticas (IPCC, 2007). Os principais gases de efeito estufa são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o dióxido de nitrogênio (N_2O).

A influência de um gás sobre o aquecimento do planeta depende de suas propriedades radioativas e do tempo de vida na atmosfera. O conceito de equivalente de CO_2 (Eq-CO_2) é utilizado para expressar o potencial de aquecimento de um gás, comparando-o ao CO_2 . Desta forma, o CH_4 e o N_2O apresentam um GWP, respectivamente, 34 e 298 vezes maior que de CO_2 em uma escala de tempo de 100 anos (IPCC, 2013).

² Um teragrama equivale a 10^6 toneladas, a 10^9 quilogramas e a 10^{12} gramas.

As atividades pecuárias são responsáveis por aproximadamente 18% das emissões antrópicas de gases de efeito estufa. O setor é responsável por 9% das emissões de CO₂, 37% das emissões de CH₄ e 65% das emissões de N₂O (STEINFELD et al., 2006). A produção de suínos é a segunda maior contribuinte nas emissões de gases de efeito estufa associados à produção animal, com 13% do total das emissões.

2.3.1.1 Produção do óxido nitroso

A formação de óxido nitroso ocorre durante a nitrificação e desnitrificação no dejetos presente sobre o piso das baias. A nitrificação é um processo autotrófico, isto é, a energia para crescimento bacteriano é derivada da oxidação de compostos inorgânicos de nitrogênio, principalmente íon amônio (NH₄⁺ ou NH₃) em nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻), usando dióxido de carbono (CO₂) como fonte de carbono inorgânico para síntese de novas células (METCALF; EDDY, 1991; DEGRÉ; VERHÉVE; DEBOUCHE, 2001). A reação requer a mediação de bactérias específicas e se realiza em dois passos sequenciais:

A nitrificação é composta por duas fases: nitritação e nitratação, e é realizada pelas bactérias com prefixo *Nitroso* (*Nitrosomas*, por exemplo). Nitritação é a oxidação da amônia em hidroxilamina (NH₂OH) que é então oxidado em nitrito (NO₂⁻), eq.(7).

A Nitratação é a etapa em que ocorre a oxidação de nitrito (NO₂⁻) em nitrato (NO₃⁻). Esta etapa é realizada por bactérias com o prefixo *Nitro* (*Nitrobacter*, por exemplo), eq. (8).

Os organismos envolvidos na segunda etapa do processo são capazes de crescer de modo autotrófico, mas às vezes também de modo heterotrófico (KERMARRECK, 1999), por assimilação de compostos orgânicos presentes nos

dejetos. Considerando o fenômeno como um todo, a passagem do nitrato de amônio pode ser escrita como proposta por Sharma e Ahlert (1977), eq. (9):

Os microrganismos nitrificantes oxidam compostos inorgânicos, como o amônio e o nitrito para a obtenção de energia e utilizam o CO₂ como fonte de carbono (SCHMIDELL & SPILLER, 2005). Madigan et al. (1996) consideram que organismos autotróficos são capazes de obter todo o carbono que necessitam de fontes inorgânicas. Por outro lado, há registros de que o processo de nitrificação também possa ocorrer pela ação de bactérias heterotróficas que utilizam o carbono orgânico e oxidam a amônia a nitrato, como *Arlhrobacer* e *Thiosfera Pantotropha* (FERRETTI, 2005; ANGNES, 2012).

Os organismos que realizam a nitrificação estão agrupados na família Nitrobacteriace que compreende bactérias categorizadas por sua forma, tamanho, arranjo da membrana citoplasmática, relação de bases de DNA e capacidade metabólica (MADIGAN et al., 1996). Alguns autores relataram a possibilidade de que amônia (NH₃) e não o íon amônio (NH₄) seja o substrato para o processo de oxidação Suzuki et al. (1974), Bock et al. (1991) e Schimdt et al. (2003).

Segundo relato de Bock et al. (1991), a enzima oxidante do nitrogênio amoniacal está localizada na membrana citoplasmática, que é altamente permeável à amônia (NH₃), mas não ao amônio (NH₄), justificando o fato de a amônia ser usada como substrato. Estudos têm mostrado que coprodutos como o N₂O, NO e N₂ poderiam ser produzidos durante a nitrificação. Estudos com nitrogênio marcado ¹⁵N, mostraram que o N₂O é produzido por redução principalmente de NO₂ em NO₃ (MILLER et al., 1993)

O desenvolvimento microbiano é normalmente em função do carbono e da energia disponível em um meio. A temperatura, a umidade, o pH, e as interações entre estes fatores regulam a atividade de nitrificação. O pH ótimo para a nitrificação está na faixa de 7,2 a 9,0 (METCALF; EDDY, 1991). Segundo Surampalli et al. (1997), em valores de pH abaixo de 7 ou acima de 9 a velocidade de nitrificação é menor que 50%. O pH influencia a maior concentração da amônia na forma ionizada

(amônio NH_4^+) ou na forma não ionizada (amônia livre NH_3), sendo que a amônia livre inibe as bactérias oxidantes de amônia.

A oxidação de N-amoniacal diminui a alcalinidade. Barnes e Bliss (1983) observaram um consumo maior de oxigênio e alcalinidade na primeira fase da nitrificação, ou seja, na fase de nitrificação. A energia liberada nessas reações é usada pelos organismos nitrificantes para a síntese a partir das fontes de carbono inorgânico como dióxido de carbono, bicarbonato e carbonato.

Existe uma correlação entre a redução da concentração de oxigênio e a produção de N_2O e NO . A Produção de N_2O aumenta com a diminuição da concentração de oxigênio (OTTE et al., 1996) e em locais onde a umidade é alta, a alta densidade do meio limita a difusão de oxigênio fornecido pelo ar. Esta zona úmida de baixa pressão de oxigênio parece favorecer a produção de N_2O durante a fase de nitrificação (KERMARREC, 1999).

Isto permite compensar a falta de oxigênio e evitar o acúmulo de nitrito tóxico. Parte da hidroxilamina também poderia ser convertida diretamente em N_2O , especialmente quando as concentrações de hidroxilamina são elevadas (KERMARREC, 1999). Além disso, parece que algumas bactérias nitratantes também são capazes de realizar a desnitrificação (KERMARREC, 1999).

2.3.1.2 Nitrogênio molecular – N_2

O nitrogênio (N_2) compõe aproximadamente 78% do ar atmosférico, e é de extrema importância para todos os seres vivos, pois participa da formação de diversas moléculas orgânicas necessárias para o seu metabolismo (LIDE, 1997). O nitrogênio molecular N_2 não é considerado como uma substância poluente, no entanto, a sua emissão para a atmosfera pode ser considerada uma perda de nutrientes (DEGRÉ; VERCHÉVE; DEBOUCHE, 2001).

As emissões de nitrogênio molecular são resultantes do processo de desnitrificação, realizado por um conjunto de bactérias e fungos (SCHIMIDT et al. 2003). As bactérias desnitrificantes são heterotróficas e estão presentes em todos os ambientes biológicos. Entre essas bactérias estão as dos gêneros *Pseudomonas*, *Alcaligemes* e *Bacillus*.

A desnitrificação é a redução dos nitratos (NO_3) ou nitritos (NO_2) em nitrogênio gasoso (N_2) e ou óxidos de nitrogênio (N_2O e NO). As bactérias aeróbias

em meio anaeróbio utilizam NO_3 ou NO_2 como aceptor de elétrons (KERMARREC, 1999). Conforme o tipo ou grupo de bactérias são observados dois tipos principais de desnitrificação:

- *desnitrificação autotrófica*: certas bactérias autotróficas são capazes de satisfazer suas necessidades energéticas, utilizando compostos minerais (enxofre ou hidrogênio), (BOCK et al., 1995) como doadores de elétrons na respiração de nitrato, conforme eq. (10):

A redução de nitrato a nitrogênio molecular envolve vários intermediários de acordo com (YE et al., 1994). Seguem as etapas:

- *desnitrificação heterotrófica*: em condições anaeróbias o amônio é oxidado e então convertido por bactérias heterotróficas em nitrogênio gasoso. Neste processo, conhecido como desnitrificação heterotrófica, a matéria orgânica carbonácea biodegradável é utilizada como doador de elétrons.

Algumas bactérias desnitrificantes possuem as quatro enzimas redutases e são capazes de reduzir nitratos a nitrogênio molecular (KERMARREC, 1999). Por outro lado, outras bactérias têm apenas uma enzima e, portanto, não realizam algumas dessas reduções (KERMARREC, 1999). Uma exceção de poucos microrganismos desnitrificantes são anaeróbios facultativos, preferindo usar O_2 como aceptor final de elétrons, e apenas secundariamente nitratos ou nitritos na ausência de oxigênio, a fim de se adaptar a essa restrição (Figura 3).

Figura 3 – Produtos intermediários da desnitrificação; NaR, NiR, NoR e N_2OR são enzimas redutases

Fonte: Adaptado de Kermarrec (1999)

2.3.1.3 Dióxido de carbono

O dióxido de carbono observado em edificações é proveniente de duas fontes: respiração animal e decomposição dos dejetos. A respiração dos animais é o processo de absorção de O_2 e a eliminação do CO_2 . Segundo Ouwerkerk e Pedersen (1994), a produção de dióxido de carbono a partir da respiração compõe a maior parte das emissões, representando até 96% da emissão total.

A produção de CO_2 durante a respiração está correlacionada com o coeficiente respiratório, definido como a relação entre o volume consumido de oxigênio e o volume de dióxido de carbono produzido. Os coeficientes respiratórios relatados na literatura são em torno de 1,10 para suínos em crescimento, 1,00 para leitões e em torno de 0,90 para matrizes (MOEHN et al., 2004; PEDERSEN et al., 2008).

Sabe-se que o metabolismo dos animais não é constante ao longo do dia, assim, a produção de CO_2 pode apresentar variações. O animal apresenta picos de atividades ou agitação, principalmente no período que antecede o fornecimento de alimentos; os animais ficam mais excitados e ocorre aumento na frequência respiratória, trazendo como consequência a elevação do ritmo expiratório e dos níveis de CO_2 no ambiente (INTERNATIONAL COMMISSION OF AGRICULTURAL AND BIOSYSTEMS ENGINEERING – CIGR, 2002).

No dejetos o CO_2 apresenta três formas de origem: i) ocorre no momento da hidrólise da ureia presente na urina em NH_3 e CO_2 catalisado pela enzima urease durante o processo de mineralização; ii) a fermentação anaeróbica da matéria em ácidos graxos voláteis intermediários, CH_4 e CO_2 ; iii) e a degradação aeróbica da matéria orgânica (MOLLER et al., 2004; WOLTER et al., 2004).

2.3.1.4 Metano

A produção de metano em edificações de criação de suínos tem duas origens principais; a degradação anaeróbica da matéria orgânica pelas bactérias metanogênicas localizadas no trato digestivo dos animais e no dejetos presente no interior das edificações e canaletas de escoamento.

A produção de metano entérico pode variar em função da dieta fornecida aos animais e da capacidade fermentativa, podendo esta apresentar diferenças de acordo com a idade, sexo e linhagem dos animais.

Embora os suínos apresentem limitada capacidade fermentativa pós-gástrica, os suínos apresentam uma capacidade fermentativa aproximada de 30%. Esta fermentação ocorre principalmente no ceco e no intestino grosso por bactérias metanogênicas que compõem a microbiota intestinal (KLEIN, 2014).

Segundo Philippe (2013), a produção de CH_4 em suínos aumenta linearmente com o aumento do teor de fibra alimentar. Comparando diferentes dietas para suínos de engorda com níveis crescentes de polpa de beterraba, como fonte de fibras, Rijner et al. (2001) observou um aumento linear de emissões a partir de 3,7 g CH_4 suíno dia. Esse aumento ocorre em detrimento do aumento do teor de fibra no ceco e intestino grosso, desta forma estimulando a fermentação bacteriana.

As emissões de CH_4 a partir dos dejetos ocorrem devido a uma sucessão de processos microbianos (MONTEREY et al., 2006). Inicialmente, bactérias inespecíficas degradam o substrato em ácidos graxos voláteis, CO_2 e H_2 . A atividade microbiana aumenta a temperatura do meio, proporcionando condições ideais para as bactérias metanogênicas que convertem o acetato, CO_2 e H_2 em metano sobre ambiente termofílico.

Os principais fatores que favorecem a formação de CH_4 são: alta temperatura, ausência de oxigênio, baixo potencial de redox, pH neutro e relação de C/N entre 15 e 30 (MOLLER et al., 2004; AMON et al., 2006; KEBREAB et al., 2006; PHILIPPE, 2013).

2.3.2 Produção e emissão de amônia

A amônia (NH_3) é um importante gás poluente que contribui para a eutrofização de águas e solos (KRUPA et al., 2003; IPCC, 2006). No continente europeu, estima-se que aproximadamente 80% das emissões de NH_3 são originárias de atividades agropecuárias (GALLOWAY et al., 2004; REIDY et al., 2009; CERTIFICADO ESPECIAL DE IDENTIFICAÇÃO E PRODUÇÃO – CEIP, 2010).

A produção suinícola é responsável por aproximadamente 15% das emissões de NH_3 no processo de cria, com grande variação entre os países (OLIVIER et al., 1998; PHILIPPE, 2013). Na Europa, a produção de suínos representa aproximadamente 25% das emissões dentre as outras atividades pecuárias; os dados são da Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2010).

No interior das edificações, a NH_3 é um gás irritante resultando em efeitos adversos sobre a produção, saúde e bem estar dos suínos, ocasionando tosse, salivação, secreção lacrimal excessiva, perda de apetite podem ser observados (BANHAZI et al., 2008; DONHAM, 2000; KIM et al., 2008). A seguir são descritas as etapas da produção da amônia nas edificações.

A amônia tem origem a partir da mineralização do nitrogênio orgânico, a mineralização é o processo de transformação de compostos orgânicos em compostos minerais, processo que resulta em reações catabólicas de bactérias heterotróficas e permite fornecer a energia para o crescimento bacteriano (CORTUS et al., 2008). Este processo converte o nitrogênio orgânico em amônio (NH_4) e por equilíbrio em amônia (NH_3): isso é chamado amonificação, este processo é realizado por muitas plantas, animais e microrganismos (KERMARREC, 1999).

Em edificações de criação de suínos, a produção de amônia ocorre principalmente por meio da hidrólise da uréia contida na urina dos animais pela enzima fecal, urease, formando o amônio NH_4^+ em um meio aquoso. O processo bioquímico da ureólise pode ser simplificado de acordo com a eq. (1).

A urease é uma enzima citoplasmática largamente encontrada em bactérias e fungos presentes no ambiente e nas fezes dos suínos, que hidrolisam a ureia para produzir amônia e CO_2 (MOBLEY; HAUSINGER, 1989; WHITEHEAD, 1990). A degradação da uréia pela urease inicia-se quando ocorre o contato da urina com as fezes; toda a ureia é hidrolisada em amônio, em menos de um dia após a excreção (ZHANG et al., 1994).

A atividade da urease é afetada pela temperatura, sendo baixa em temperaturas entre 5 e 10°C e superiores a 60°C (MOYO et al., 1989; SAHRAWAT, 1984; XU et al., 1993). O pH é outro fator que afeta a hidrólise da uréia, sendo que a faixa considerada ideal está entre 6 e 9 (MUCK, 1982; OUYANG et al., 1998). Na fase líquida, a nitrogênio amoniacal encontra-se no estado de equilíbrio entre NH_4^+ ionizado e NH_3 não ionizado. Este equilíbrio é influenciado pela temperatura e pH. A volatilização da NH_3 para a fase gasosa é controlado pela lei de Henry. A pressão parcial de NH_3 (g) é proporcional à amônia (l) (GROOT KOERKAMP et al., 1998). A

taxa de volatilização da amônia é o produto do coeficiente de transferência da massa de NH_3 e a diferença da pressão parcial entre o meio líquido e o ar. Dentre os fatores que influenciam a produção e emissão de amônia destacamos os principais:

- a) As emissões de amônia estão positivamente relacionadas à temperatura ambiente (GRANIER et al., 1996; CORTUS et al., 2008; PHILIPPE et al., 2011). A temperatura tem efeitos diretos sobre as emissões de NH_3 , pois favorece a atividade da urease, bem como, os processos de dissociação e volatilização a partir de estrume.
- b) A taxa de ventilação influencia diretamente a emissão dos compostos gasosos nitrogenados, e por este motivo, tem sido investigada por diversos estudos, com consenso que quanto maior o fluxo de ar, maior a taxa de emissão (AARNICK; WAGEMANS, 1997; BAETA; SOUZA, 2012; BLUNDEN et al., 2008; BLANES; VIDAL, 2008; YE et al., 2009).
- c) O estado fisiológico do animal pode influenciar nas emissões de amônia, para matrizes que há diferenças entre 30 até 50% comparando matrizes em gestação com as em lactação (DOURMAD et al., 1999; GUINGAND, 2003; VAN DER HOEK, 1998; HYDE et al., 2003; HAYES et al., 2006). Emissões na fase de terminação são até cinco vezes maiores, quando comparado às emissões das demais categorias (AARNINK et al., 1995; DOURMAD et al., 1999; PHILIPPE et al., 2011; DÄMMGEN et al., 2013).
- d) A literatura indica haver influência do sexo sobre as emissões de amônia. Essa diferença entre os sexos está diretamente ligada à conversão alimentar dos animais, ou seja, quanto maior a conversão, menor será a excreção e consequentemente uma redução nos processos de emissão (FULLER et al., 1995; UNRUH et al., 1996; LATORE et al., 2004; BRIDI et al., 2006; GATTÁS et al., 2012; DÄMMGEN et al., 2013).
- e) Estudos apontam que a nutrição afeta a emissão de amônia, principalmente em dietas com excesso de proteína (CANH et al., 1998; OTTO et al., 2003; HAYES et al., 2004; PHILIPPE et al., 2006; HANSEN et al., 2007; OSADA et

al., 2011). Estudos apontam que houve uma redução nas emissões de amônia entre 7 e 15% para cada 10 g kg⁻¹ de redução de proteína na dieta (CANH et al., 1998; OTTO et al., 2003; HAYES et al., 2004; PHILIPPE et al., 2006; HANSEN et al., 2007).

Os fatores de emissão associados ao estágio fisiológico são apresentados na tabela 4, como reportado na literatura a partir de referências teóricas e dados experimentais.

Tabela 4 – Emissões de amônia de acordo com o estágio fisiológico de suínos

Referências	Fator de emissão (g NH ₃ animal ⁻¹ dia ⁻¹)			
	Matrizes Gestantes	Matrizes Lactantes	Leitões	Suínos Engorda
VALORES TEÓRICOS				
Hyde et al. 2003	8.3	15.8	1.01	12.5
Dourmad et al. 1999	15.9	27.3	4.26	11.4
Van der Peet-Scwering et al. 1999	11.5	22.7	1.64	8.2
Van der Hoek et al. 1998	20.4	20.4	-	7.9
VALORES EXPERIMENTAIS				
Philippe et al. 2007, 2010; Carbaraux et al. 2009	12.8	-	0.41	6.2
Hayes et al. 2006	12.1	17.1	1.40	10.0
Guingand et al. 2003	-	25.6	3.45	9.5
Groot Koerkamp et al. 1998	12.6	12.6	0.72	7.2
MÉDIA	12.1	21.7	1.84	9.1

2.4 Metodologias para mensurar as emissões gasosas

A utilização de metodologias para mensuração de gases na produção animal deve ser cuidadosamente escolhida, pois essa quantificação em muitos casos, não é facilmente quantificada e caracterizada com precisão. São diversos os fatores que influenciam na concentração dos gases dentro das edificações: vento, densidade animal, nutrição, temperatura e umidade do ar, sexo do animal, presença ou ausência de cama entre outros (HARPER et al., 2004; BLUNDEN et al., 2008; BLANES-VIDAL et al., 2008; YE et al., 2009; PHILIPPE, 2012)

Se a literatura relativa aos métodos de quantificação das emissões de gasosas é abundante, o real conhecimento das emissões ainda não representa de forma satisfatória a realidade das emissões nas atividades pecuárias. Os inventários de emissões publicados são computados com forte incerteza no que diz respeito às emissões gasosas nas atividades pecuárias.

Estas incertezas podem ser esclarecidas com o desenvolvimento de procedimentos de referência para a medição das emissões, bem como a melhoria destes procedimentos, dentro do âmbito da normalização. Em qualquer caso, os métodos podem ser distinguidos pelo número e a diversidade das medições, duração e a continuidade da medição em determinado período (ADEME, 2010).

Parte-se do princípio que existem dois modelos básicos de edificações para o alojamento dos animais. Edificações com ventilação natural e com ventilação forçada. As diferenças na dinâmica dos fluxos de ar nos dois sistemas representam diferentes condições para a aplicação das técnicas de medição de gases.

Em edificações com ventilação forçada pode utilizar-se o método da câmara simples ao passo em edificações com ventilação natural podemos utilizar métodos micrometeorológicas ou tecnologias de gás traçador. Essas técnicas devem apresentar resultados semelhantes quando aplicados em conjunto e devem estar em conformidade com os princípios básicos da conservação de massa e energia. Em edifícios de grande porte pode ocorrer uma heterogeneidade na concentração de gás, devido às diferenças nas taxas de ventilação dentro da edificação.

Vários trabalhos foram realizados visando o desenvolvimento e aprimoramento de métodos de medição, bem como a aquisição de referências de emissão (PHILLIPS et al., 2000, 2001; SCHOLTENS et al., 2004; DORE et al., 2004; MOSQUERA et al., 2005; PAILLAT et al., 2005; GUINGAND et al., 2011).

De acordo com Demmers et al. (2001) e Snell et al. (2003) em edificações com ventilação dinâmica, a forma mais precisa para determinar a taxa de ventilação, é por meio da utilização de um anemômetro colocado na saída do ventilador de extração, enquanto nos casos das edificações com ventilação natural, o uso de gás traçador SF₆ é mais confiável (FIEDLER; MÜLLER, 2011). A escolha do aparelho de medição das concentrações de gases é também discutida (PHILLIPS et al., 2001; SOMMER et al., 2004; ZHAO et al., 2012; HASSOUNA et al., 2012).

Os métodos baseados em medição contínua são utilizados para a compreensão dos mecanismos e para a comparação de tecnologias desenvolvidas para reduzir as emissões. Entretanto eles são muito caros e dispendiosos para ser implantado em um grande número de edificações. Por este motivo foi desenvolvido um conjunto de metodologias simplificadas, que são mais econômicas e demanda menos tempo para a obtenção dos resultados (LI et al., 2000, 2001; GUINGAND, 2000; GUINGAND; GRANIER, 2001; RAMONET; ROBIN, 2002; VRANKEN et al., 2004; HASSOUNA et al., 2004; ROBIN et al., 2004).

2.4.1 Metodologia simplificada

Existem diversas metodologias para a determinação da emissão de gases na atividade pecuária (GROOT et al., 1998; PHILLIPS et al., 1998; BOTTCHEER et al., 2004; BUNTON et al., 2007; NI; HEBER, 2008). Entretanto, a maioria das metodologias existentes para medir as emissões gasosas são consideradas dispendiosas e com alto custo para sua execução, sendo que algumas não apresentam resultados precisos.

A metodologia simplificada para a mensuração das emissões de gases em edificações para a criação de suínos foi desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisa Agronômica (INRA) – França (ROBIN et al., 2003, 2009). Este método simplificado permite calcular as emissões dos principais GEE gerados em um sistema de produção de suínos (CO₂, CH₄, N₂O), bem como de NH₃.

A dificuldade na determinação dos GEE reside nas características variáveis em função do tempo, e em função do clima, dos animais, da alimentação, do manejo e da gestão dos efluentes e das características das edificações. Em relação às edificações, a maior dificuldade está no fato de que as maiorias das edificações

apresentam ventilação natural, com as laterais abertas, o que dificulta a correta determinação da vazão de ar e conseqüentemente a emissão dos gases.

Além disso, os gases poluentes são muito diluídos no ar (da ordem de ppm por m³ de ar) e presente em quantidade variável segundo o local da edificação. O objetivo do método simplificado é permitir um controle destas emissões com erros estimados entre 15 a 20% em valores anuais por sistemas de produção considerados (ROBIN et al., 2009).

O método simplificado apóia-se sobre o balanço de massa do sistema de produção de um lote de animais, onde a composição dos alimentos, as características dos animais e os efluentes são relativamente pouco variáveis (CORPEN, 2003) e podem ser observados com uma boa precisão.

Os cálculos são verificados estimando-se as perdas de C e N, por amostragem dos alimentos e dos efluentes, verificando o balanço das perdas de água e de energia. Busca-se pelos modelos usados estimar as emissões de (CH₄), (CO₂), (N₂O) e (NH₃) e compara-las as observadas. As emissões são calculadas em quantidade de C-CO₂, C-CH₄, N-NH₃ e N-N₂O emitidas por unidade de tempo, ou seja, por exemplo, a quantidade de carbono emitido sob a forma de CO₂, ou de nitrogênio sob a forma de NH₃ (ROBIN et al., 2009).

Dois métodos de calculo são utilizados para a determinação das emissões de GEE: um é baseado sobre a vazão do ar e as concentrações de gás; sendo o outro sobre o balanço de massa e as diferenças de concentração de gás. O balanço de massa estima de forma grosseira as emissões e constitui-se uma etapa anterior ao método de calculo das diferenças de concentração de gás.

As hipóteses permitem verificar se as quantidades de elementos na entrada e saída são representativas do lote observado. Desvios importantes podem ser observados quando as entradas não são bem conhecidas (por exemplo, a composição do alimento), ou as amostras não são representativas dos efluentes (por exemplo, tomada no fundo de fossa, dejetos/estrupe inacessível ou dejetos/estrupe muito heterogêneo). No caso de desvios importantes é preferível utilizar as referências nacionais ou regionais de alimentação e ou de geração de dejetos:

a) Perda Água ≤ Emissão em vapor de água

Com Água Metabólica = 0,1 x (Entrada Água - Saída Água)

- b) Perda C = Emissão C-CO₂ + C-CH₄
- c) Perda N = Emissão N-NH₃ + N-N₂O + N-N₂
- d) Onde: Perda N > Emissão N-NH₃ + N-N₂O
- e) Perda P = 0, Sendo que a amostragem do efluente é homogênea (“amostragem perfeita”) e se a composição do alimento for conhecida bem.
- f) Perda K = 0, se não houver perdas de líquidos por infiltração no efluente e se a composição do alimento for conhecida bem.

Segundo Robin (2011) a metodologia permite o cálculo das emissões com controle dos seus erros em 20% a 30%, em valores anuais no sistema de produção considerado. A metodologia tem como base o balanço de massa pela determinação de nutrientes a partir da avaliação de um ciclo de produção de suínos, onde a caracterização físico-química dos dejetos e da ração e as características dos animais são avaliadas.

O princípio do método é a redução do número de coletas, de uma forma geral, a metodologia consiste na realização de apenas três coletas durante todo o ciclo de produção do lote, sendo a primeira no início, meio e fim do período de criação dos animais. As médias das coletas indicam a emissão geral do lote (ROBIN, 2009; HASSOUNA et al., 2010; GUINGAND, 2010).

De acordo com Guingand et al. (2011), a metodologia simplificada pode ser utilizada como uma metodologia confiável e precisa para mensuração amônia e gases de efeito estufa em criações de suínos na fase de terminação.

Em experimento para avaliar a emissão de gases de efeito estufa e produção de amônia em criação de suínos em piso ripado, Guingand et al. (2010) realizaram um comparativo do método simplificado (MS) com o método de medição contínua (MC) sob condições de inverno e obtiveram os seguintes resultados: para CO₂ um diferença de 9,7% entre os métodos, para CH₄ uma diferença de 18,4%, para NH₃ uma diferença de 33%, N₂O 2,9 e para H₂O 18,8% entre os métodos.

Estes dados são condizentes com os encontrados na literatura (HOEKSMA et al. 1992; PHILIPPE et al., 2007; PONCAHNT, 2008; HASSOUNA et al., 2010; GUINGAND, 2011).

2.4.2 Metodologia contínua

A metodologia consiste na realização de medições das condições do ar por longos períodos, em muitos casos, este período se estende por mais de 6 meses. O objetivo de medições por longos períodos é caracterizar as emissões gasosas de acordo com as épocas do ano, estações. Alguns autores realizam, mas medidas contínuas por um determinado período da criação, ou ano, esse período varia de 30 até 60% do período de criação.

As medições contínuas das emissões gasosas são utilizadas para a compreensão dos mecanismos das emissões. O período de medição utilizado nesta metodologia é bem maior quando comparado aos métodos simplificados, podendo este se estender durante todo o período de criação dos animais.

Costa e Guarino (2009) utilizaram a medição contínua para avaliar a emissão de gases por diferentes categorias de suínos em edificações com ventilação mecânica durante 12 meses, totalizando 60% do período em coletas. Na literatura, a utilização do método contínuo para a medição das emissões de gases nas fases de crescimento dos suínos é relatada por Jacobson et al. (2004), Koziel et al. (2004), Haeussermann et al. (2008).

A metodologia contínua é considerada como uma metodologia padrão, pois apresenta dados mais robustos em relação a real emissão de gases. Outra característica desta metodologia é a possibilidade da melhor caracterização das emissões ao longo das estações do ano e serve como modelo para comparação com novas metodologias (ADEME, 2010).

2.4.3 Equipamento para análise dos gases

As análises de gases CO_2 , N_2O , CH_4 e NH_3 podem ser realizadas por meio dos medidores (Drager, Gastec, outros) para NH_3 e CO_2 . Entretanto o instrumento mais indicado para a análise dos gases é o monitor fotoacústico INNOVA modelo 1412 que possui um sistema de detecção infravermelho fotoacústico (Figura 4).

Figura 4 - Monitor fotoacústico de gases

Fonte: Luma Sense Technologies (2012)

O princípio de funcionamento é baseado no método de detecção infravermelho fotoacústico, o que confere a este instrumento a capacidade de medir diversos gases que absorvem radiação infravermelha (Figura 5).

Figura 5 - Esquema do princípio geral do analisador de gás fotoacústico INNOVA 1412.

Fonte: Luma Sense Technologies (2012)

O ar é seccionado no ponto de amostragem para o interior das células de análise fechando a válvula de escape. O feixe de luz infravermelha é refletido por meio de um espelho, o feixe passa por meio de uma hélice que a distribui para todo o carrossel de filtros óticos. Ao passar pelo carrossel de filtros óticos, selecionam-se comprimentos de ondas específicos para cada um dos gases que se deseja analisar.

A luz ao chocar-se com as moléculas dos gases promove a vibração das mesmas; durante a vibração das moléculas, ocorre a emissão de sons que são detectados pelos microfones e armazenados no banco de dados do equipamento,

após a leitura o gás é expelido para fora do INNOVA dando início a uma nova leitura.

Este equipamento é considerado atualmente o mais preciso para ser utilizado neste tipo de análise, inúmeros trabalhos foram realizados utilizando o INNOVA (NGWABIE et al., 2009; HASSOUNA et al., 2010; FIEDLER; MULLER, 2011; GUINGAND et al., 2010; PHILIPPE, 2012).

2.4.4 Estimativas da vazão do ar pelo balanço térmico

A estimativa da vazão do ar que sai da edificação é fundamental para estimar o fluxo de emissão dos gases do interior para o exterior da edificação. Para ambas as metodologias, contínua e simplificada, são utilizados os valores de vazão do ar que sai da edificação.

A ventilação promove a diluição dos gases e particulados produzidos no interior da edificação para o ambiente externo, além da dissipação do calor produzido pelos animais (BAËTA; SOUZA, 2010; SOMER et al., 2011). A ventilação natural é o movimento do ar através das aberturas presentes na edificação pelas forças naturais produzidas pelo vento e pelas diferenças de temperatura (Figura 6).

Figura 6 - Exemplos de fluxo de ar através da edificação por meio da ventilação natural – corte transversal e planta baixa (vários autores).

A quantificação das emissões gasosas em edificações por meio da ventilação natural é particularmente uma tarefa difícil, pois está associado a incertezas da sua

real precisão (SOMER et al., 2011; FIDLER; MÜLLER, 2011). Dentre os principais fatores que influenciam na ventilação natural, destacamos a posição e as dimensões das aberturas laterais ou janelas, pois exercem uma grande influência na ventilação (NÄÄS, 1986).

A presença de obstáculos externos pode acarretar em importantes alterações no fluxo de ar através de uma edificação. A vegetação no entorno também é um elemento que merece atenção e deve ser considerado no momento de se determinar a vazão do ar na edificação, pois pode representar um obstáculo à passagem do vento (Figura 7).

Figura 7 - Exemplo da influência de árvores e obstáculos no entorno da edificação sobre o fluxo do ar.

De acordo com Albright (1990), existem dois importantes conceitos sobre a análise ambiental de edificações i) conservação de energia e ii) conservação de massa. O conceito de conservação de energia é aplicado ao calor sensível, envolvendo a perda de energia na forma de calor, o conceito de conservação de massa é aplicado ao calor latente, em que ocorre a evaporação da água.

O método de estimativa de vazão do ar quando baseado em suposições sobre a produção de calor e vapor de água é calculado a partir dos dados de temperatura, umidade relativa do ar, no ar interior e exterior da edificação, pelo princípio da diluição do calor a partir da troca de ar (CIGR, 1984, 2002).

O calor produzido pelos animais é dissipado para o ambiente na forma de calor sensível elevando a temperatura do ar, e na forma de calor latente, com o aumento da umidade do vapor de água no ar. A produção de calor total é calculada em função do peso vivo dos animais, bem como, das temperaturas ambientais, seguindo as equações propostas pela CIGR (2002). Ao calor produzido pelos animais, é conveniente adicionar o calor produzido pelo aquecimento, quando

utilizado, iluminação e calor liberado pela fermentação da cama e dejetos, bem como, as perdas através de paredes e cobertura (Figura 8).

Figura 8 - Representação dos ganhos e perdas de energia na forma de calor nas edificações para suínos.

Fonte: Adaptado de Ponchant et al. (2008)

De acordo com o supracitado, como os suínos produzem calor latente e sensível, o gradiente de temperatura e umidade pode ser utilizado para calcular a taxa ou fluxo de ventilação na edificação. Três estimativas podem ser utilizadas para se calcular a taxa de ventilação; pela produção de calor total, latente e sensível.

A estimativa da vazão de ar pela produção de calor latente o qual pode ser deduzido a partir da produção de vapor e da variação da umidade do ar no interior e exterior da edificação. Outra forma utilizada para estimar a vazão do ar, a qual pode ser deduzida da produção de calor total e pela variação da entalpia entre o ar interior e exterior da edificação. A vazão de ar na edificação pode também ser deduzida pela produção de calor sensível e a variação na temperatura entre o ar interno e externo da edificação (ADEME, 2010).

Isso proporciona três estimativas. Quando as diferenças entre as estimativas forem menores que 30%, isso indica que a vazão foi calculada corretamente (PONCHANT et al., 2008; ADEME, 2010). Os cálculos da vazão do ar pelo balanço

térmico são considerados muito sensíveis aos erros sobre as produções de calor pelos animais e (ou) por outra fonte de calor no interior da edificação.

2.4.5 Balanço de nutrientes

O balanço de nutrientes é utilizado para se verificar a coerências dos dados observados nas emissões gasosas. Pretende-se com o balanço de massas estimar as perdas de carbono e nitrogênio na forma gases.

Balanço de nitrogênio

A atual expansão da suinocultura tem como principal característica a concentração de animais por área, visando atender o consumo interno e externo de carne, produtos e derivados. Esta maior concentração de criações tem aumentado as demandas por alimentos e água. Observa-se, como consequência um aumento na produção de dejetos e emissões de gases; essas emissões têm sido alvo de questionamentos sobre os problemas ambientais, como a destruição dos recursos naturais renováveis, especialmente a água, contaminação dos solos e ar.

Um aspecto importante consiste na avaliação do ciclo dos nutrientes no sistema de produção, ou seja, o balanço de nutrientes na produção de suínos. O balanço de nitrogênio é a diferença entre o nitrogênio ingerido pelos animais via alimentação e a soma do nitrogênio excretado nas fezes e urina. A principal forma de entrada de nitrogênio no sistema ocorre na forma de proteína bruta contida nos alimentos, esta proteína é digerida e retida pelos animais para a formação de tecidos corpóreos, a parte da proteína não digesta é eliminada na forma de excrementos e urina.

Alguns trabalhos propõem a redução dos teores de proteína bruta na dieta dos animais e a substituição por aminoácidos sintéticos, tal prática tem se demonstrado eficiente na redução da excreção de nitrogênio pelos animais (HAYES et al., 2004; FERREIRA et al., 2005; HANSEN et al., 2007; OSADA et al., 2011).

A fração do nitrogênio que fica retida no corpo dos animais ocorre em função de dois fatores principais; a natureza do alimento consumido, principalmente pela substituição da proteína bruta por aminoácidos sintéticos possibilita que não ocorram excessos e desbalanceamentos, melhorando a eficiência de utilização dos mesmos.

Com o desenvolvimento genético, observa-se uma maior exigência de aminoácidos e uma maior capacidade de conversão em tecido muscular. O potencial de retenção do nitrogênio na forma de proteína muscular dos animais começa a ser definido ainda na fase pré-natal, influenciado por fatores genéticos e de meio ambiente durante o desenvolvimento embrionário. Esse potencial é caracterizado pelo número de fibras musculares formado na miogenese pré-natal e pelo grau de hipertrofia dessas fibras no pós-natal.

O nitrogênio excretado pelos suínos corresponde à parte do nitrogênio alimentar que não ficou retida no animal na forma de proteína corporal (suíno em crescimento). Podemos então destacar dois componentes principais. A fração de nitrogênio não digerida e eliminada nas fezes, principalmente na forma de proteínas vegetal e bacteriana. A importância relativa desta fração comparada à quantidade ingerida depende essencialmente da digestibilidade das proteínas e do tipo de alimentação, especialmente das matérias primas que a constitui.

A fração excretada pela urina, em grande parte na forma de uréia. Ela é gerada pela oxidação, principalmente nos rins, dos aminoácidos não utilizados na síntese proteica. A importância desta fração depende da boa adequação qualitativa e quantitativa do consumo de proteína em função das necessidades dos animais.

Na Figura 9 é apresentado um esquema geral do balanço de nitrogênio no sistema de criação de suínos, apresentando as entradas, a retenção e as saídas de nitrogênio nas formas de dejetos e gases para o ambiente.

Figura 9 - Esquema do princípio do balanço de massa para o nitrogênio.

Fonte: Adaptado de Kermarrec (1999)

2.4.5.1 Balanço de carbono

As dietas para suínos são constituídas para atender às necessidades nutricionais, utilizando grãos, coprodutos, vitaminas e minerais. O carbono ingerido pelo suíno está presente basicamente na proteína, na gordura, nos carboidratos e no CaCO_3 . Este carbono pode ser quantificado, considerando o carbono de cada molécula destes componentes, como os aminoácidos, glicerol e ácidos graxos, amido e demais carboidratos e no CaCO_3 .

A análise de carbono presente nos alimentos que entram nos sistemas de criação pode ser realizada em equipamentos específicos, o que confere maior precisão nos resultados, porém também podem ser estimados por meio de fórmulas propostas por Ravindran et al. (1999) e Ademe (2010).

Após a digestão dos alimentos, o carbono é absorvido pela mucosa intestinal dos suínos, na forma de aminoácidos e monoses (glicose), esses dois produtos caem na corrente sanguínea e são direcionados aos tecidos de acordo com as necessidades metabólicas do animal, são metabolizados em proteínas ou gorduras.

No balanço de carbono devemos considerar também as perdas do elemento por meio da respiração animal, a produção de CO_2 pelos animais é derivada do seu metabolismo energético, que está relacionada com o nível de alimentação e a composição da dieta. O CO_2 é liberado pela expiração dos animais como resultado do catabolismo animal (KLEIN, 2014). A saída de carbono dos sistemas ocorre pela porção do alimento não digerido que é eliminado pelas fezes.

2.4.5.2 Balanço de água

O balanço geral de água no sistema de produção de suínos é calculado pela diferença do somatório das entradas de água (ingerida nos equipamentos, na ração, e produção de água metabólica) e o somatório das saídas (água retida no corpo e a água evaporada) nos suínos (TAVARES, 2013).

A Figura 10 exibe um esquema adaptado para o balanço geral de água em suínos, na fase fisiológica de crescimento/terminação e com alojamento em piso concreto (OLIVEIRA, 2003).

Figura 10 - Esquema do balanço geral de água em suínos.

O consumo de água ingerida pelo suíno (consumo do próprio animal + desperdício) pode ser determinado diretamente pela leitura dos registros nos hidrômetros ou por cálculo direto (TAVARES, 2012).

O cálculo da quantidade de água produzida no animal por via do metabolismo oxidativo baseia-se no pressuposto de que para se produzir uma molécula de CO_2 é necessária a existência de uma molécula de água (para um volume molar de 22,41 L de CO_2 , temos um peso molecular de 18 g de água) (OLIVEIRA, 1999, 2003). A produção de CO_2 no suíno é estimada por meio da produção de calor total por suíno, com base em um coeficiente de proporcionalidade ($0,163 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ de CO_2 por Watt de calor total produzido) (COMISSION INTERNATIONALE GÉNIE RURAL, 1984).

A produção de calor total por suíno em zona de neutralidade térmica pode ser estimada através de equação específica para animais em fase de crescimento/terminação. Para tal, considera-se a soma da energia necessária para manter o animal e a fração da energia metabolizável presente na ração e que não é retida no corpo do animal, podendo esta, ser determinada a partir da energia metabolizável (líquida) presentes nas rações (NOBLET et al., 1989; NOBLET; DOURMAT; ETIENNE, 1990). Outra possibilidade de cálculo da produção de calor total na ausência dos dados da ração foi o uso da expressão apresentada em função da massa do animal (peso vivo) e das características do ambiente no edifício (COMISSION INTERNATIONALE GÉNIE RURAL, 1984; OLIVEIRA, 2003).

A quantidade de água retida no corpo pode ser estimada em função da quantidade de proteínas retidas pelos suínos no seu organismo. Dependendo da fase fisiológica, é importante considerar a quantidade de água retida nos conteúdos

uterinos em matrizes reprodutoras, bem como a quantidade presente nos leitões em lactação (DE GREEF, 1995; LANGE, 1995).

A retenção de proteína diária no corpo do suíno pode ser determinada a partir de uma relação, considerando-se o peso vivo vazio do animal (GUILLOU; DOURMAD; NOBLET, 1993). A estimativa do teor proteico pode também ser ajustada para o peso vivo vazio do suíno através da percentagem de tecido muscular (OLIVEIRA, 2003).

A água perdida por evaporação é determinada em função da quantidade de calor necessária para a passagem da água do estado líquido ao gasoso, ou seja, a produção de calor latente de vaporização (OLIVEIRA, 2003). Em média, são necessários 680,6 Watts para evaporar um quilograma de água por hora (COMISSION INTERNATIONALE GÉNIE RURAL, 1984).

A produção de calor latente é deduzida como complemento da produção de calor sensível, segundo a temperatura no bulbo seco do ambiente interno da unidade de produção (COMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL, 1984).

2.4.5.3 Balanço de minerais (P e K)

O balanço dos minerais é calculado pela diferença entre as quantidades ingeridas, as retidas nas carcaças e pelas excretadas na forma de urina e fezes.

A entrada dos minerais nos sistemas ocorre por meio da alimentação, por meio de análises bromatológicas do alimento e pesagens das quantidades consumidas é possível determinar a quantidade de minerais que entrou no sistema (CORPEN, 2003).

Para os animais em crescimento, a retenção é calculada pela diferença das quantidades corporais no final e no começo do período de engorda. A quantidade de minerais contida nos tecidos corporais é determinada a partir de equações estabelecidas pelo Corpen (2003).

A saída dos minerais ocorre pela excreção animal, por meio das fezes e urina, sendo quantificados por meio de análises químicas específicas, sendo calculada segundo as recomendações de Corpen (2003). As excreções dos minerais nos dejetos variam principalmente em função do desempenho zootécnico dos animais, da concentração e da digestibilidade das fontes minerais (DURMAD, 1999).

O balanço de minerais, elementos não voláteis, tais como, o fósforo (P) e potássio (K), indica a qualidade da amostragem da ração e do dejetos. Os valores obtidos no balanço de nutrientes para o nitrogênio e carbono deverão condizer com os valores obtidos pelas medições dos gases, admitindo-se uma diferença de até 10%.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi realizado nos meses de novembro - fevereiro de 2014, em uma granja comercial de terminação de suínos, localizada no município de Alto Bela Vista – SC (Figura 11), apresentando latitude de 27° 18'34" S, longitude de 51° 59'30" W e altitude de 548 m, ventos predominantes sudeste (SE) e nordeste (NE). O clima da região é caracterizado como subtropical mesotérmico úmido Cfa, com verão quente, a temperatura média anual é de 18 - 19°C e precipitação média anual de 1700 a 1900 mm, segundo classificação de Köppen.

Figura 11 - Representação gráfica do local onde foi realizado o experimento; Alto Bela Vista – Localização da granja, Concórdia – Unidade da EMBRAPA responsável pelo apoio técnico.

Fonte: Adaptado de Tavares (2012)

3.2 Caracterização climática da região

Os dados das variáveis climáticas locais foram obtidos na estação meteorológica automática localizada nas instalações da EMBRAPA Suínos e Aves, Concórdia - SC. As variáveis observadas foram: Temperatura; Umidade relativa; Pluviosidade.

3.3 Animais utilizados

Na edificação foram alojados 144 suínos comerciais híbridos de linhagens selecionadas para deposição de carne magra (Landrace e Large White), fêmeas e machos castrados, durante a fase de terminação. O período experimental foi de 03/11/2013 e 07/02/2014, sendo que o período de coleta de dados foi de 13/01/2014 a 07/02/2014. Todas as práticas de manejo adotadas na unidade de produção durante o período seguiram os padrões de outras unidades comerciais da região.

3.4 Caracterização da edificação

A edificação onde foi conduzido o experimento possui orientação leste oeste e as seguintes dimensões: 24,0 m de comprimento por 8.5 m de largura e 2.60 de pé-direito; cobertura em telha tipo fibrocimento em duas águas, com presença de forro de revestimento confeccionado com uma lona plástica, com peitoril de 0.90 m e o restante das laterais abertas, totalizando uma área de abertura lateral de aproximadamente 81.6 m² (Figura 12).

Figura 12 - Vista lateral externa do galpão (a) e vista interna do galpão (b).

O galpão é dividido em 12 baias coletivas com capacidade para abrigar até 144 animais (12 animais por baia), dispondo de área livre de aproximadamente 1,12 m²/para cada animal. Cada baia possui as seguintes dimensões: 4,8 m de comprimento por 2,80 m de largura e muretas de contenção de 0.90 m de altura. Possui piso concretado sem substrato ou cama disponível, e com um elemento vazado na parede, para o escoamento das fezes e urina.

O manejo do microclima no interior da edificação foi realizado com auxílio de um sistema de aspersão localizado no telhado, ou seja, ligavam-se os sistemas de climatização em dias em que a temperatura excedia os 30°C, normalmente às 12 horas permanecendo até às 15 horas.

3.5 Avaliação das variáveis físicas do ambiente

3.5.1 Temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar

As variáveis climáticas temperatura (°C) e umidade relativa (UR%) do ar externo e interno às edificações foram registradas durante todo o período experimental, por meio de microprocessadores “*data loggers*” da marca TESTO® (faixa de operação de -20°C a +50°C e 0 a 95% para temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente), instalados no interior e exterior da edificação, sendo quatro equipamentos, dois no interior instalados na altura de 1,60 m do piso e dois no exterior a 2.50 m do solo (Figura 13). Esses equipamentos foram configurados para registrarem medidas de temperatura e umidade a cada 30 minutos.

Figura 13 - Posicionamento dos microprocessadores data logger na edificação: (a) posicionamento no exterior da edificação; (b) posicionamento no interior da edificação.

A variável velocidade do ar (Var , ms^{-1}) foi registrada por meio de anemômetro portátil de fio quente da marca TESTO®, com escala de leitura para temperatura de -18 a 93 °C e resolução 0.1 °C, e velocidade do ar com amplitude de 0 a 30 $m.s^{-1}$, resolução de velocidade de 0.01 $m.s^{-1}$ e exatidão de $\pm 0.015 m.s^{-1}$. As coletas dos dados referentes à velocidade do ar foram realizadas no sentido longitudinal, em quatro pontos distintos na edificação.

Sendo, três em seu interior e dois no exterior (Figura 14), em cada ponto foram realizadas várias leituras da velocidade do ar com objetivo de obter-se a

média da velocidade no momento da medida de emissão de gases, no interior e exterior da edificação, conforme recomendação de Robin et al. (2010).

Figura 14 - Vista do anemômetro no exterior da instalação (a), vista do anemômetro no interior da instalação (b).

3.6 Medição das emissões gasosas

3.6.1 Medição pelo método contínuo

O registro das concentrações dos gases (CO_2 , CH_4 , N_2O , NH_3 e vapor de água) foi realizado continuamente durante todo o período experimental, utilizando o analisador de gases INNOVA 1412 (seu princípio de medida se baseia no método de detecção por infravermelho fotoacústico, sendo capaz de medir todos os gases que absorvem luz infravermelha). O analisador foi programado para registrar automaticamente os dados a cada 2 min.

Foram instalados dois pontos de amostragem de ar: o primeiro, posicionado a 1.2 m acima do piso, sobre uma baia central. O segundo ponto foi instalado a 15 m da instalação, posicionado a uma altura de 1,2 m do chão. Estes dois pontos de amostragem foram conectados ao analisador (INNOVA 1412) que realizou a sucção do ar por meio de dois tubos finos de Teflon (4 mm de diâmetro).

Nas entradas de cada ponto de amostragem foram instalados filtros 0,45 μm , para evitar entupimentos por água ou particulados. Com objetivo de evitar a condensação da amônia e vapor, os tubos de amostragem de ar, foram envoltos por uma espuma isolante de “Poliuretano” e também por uma mangueira sanfonada de (¾ de diâmetro), para evitar possíveis danos físicos (Figura 15).

Figura 15 - Tubos de coleta do ar envoltos pela espuma isolante térmica e mangueira sanfonada (a), vista do ponto de coleta do ar no interior da instalação (b).

Pelo fato de o analisador de gás INNOVA 1412 possuir apenas uma entrada para conexão do tubo que captura os gases, a medição foi realizada de forma alternada, semi-contínuo, aproximadamente 70% do período foi destinado ao monitoramento do ambiente interno e 30 % para o ambiente externo da instalação (Figura 16). Todos os dados foram armazenados em um microcomputador para posterior análise.

Figura 16 - Representação esquemática da distribuição dos pontos de coleta na instalação, ponto de coleta interior (P1), ponto de coleta do exterior (P2), válvula utilizada para alternar os pontos de coleta (S1) e interligá-los ao analisador INNOVA 1412 e o armazenamento dos dados no microcomputador.

Fonte: O próprio autor.

3.6.2 Medição pelo método simplificado

A produção de gases foi medida por meio de três coletas semanais na unidade de produção, onde foi amostrada a concentração (ppm) dos diferentes gases presentes no ar ambiente, no interior e exterior das edificações durante o período da manhã e tarde (8h30 e 13h00, respectivamente).

As coletas de ar foram efetuadas por meio de um dispositivo de coleta de gases, composto por uma bomba de sucção (*ELITE*[®], com fluxo de $3.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$), conectado por um tubo do tipo *PTFE*³ (4 mm de diâmetro), aosaco coletor *TEDLAR*[®] (*SKC*[®]),⁴ com capacidade de 10 litros, sendo um saco para mensuração interna e outro para externa. O tempo de coleta para ambos foram de aproximadamente 40min (Figura 17).

Figura 17 - Dispositivo utilizado para coleta de gases, composto por um filtro de ar, uma bomba, um saco do tipo Tedlar[®], tubo de Teflon (4 mm de diâmetro), uma haste de madeira e funil.

A amostragem do ar exterior (Figura 18) foi realizada circulando em torno de toda a edificação, a uma distância de aproximadamente três metros, evitando ao máximo as zonas de emissão que pudessem contaminar a amostra (fossas, máquinas agrícolas em funcionamento, fumaças, dentre outras). As coletas no ambiente externo foram realizadas em diferentes alturas, com intuito de homogeneizar o ar avaliado. O tempo de coleta foi de 40 minutos.

Quanto à amostragem do ar interior (Figura 19), foi realizada em forma de “Zigue Zague” ao longo de toda a extensão da edificação, na altura da cabeça dos

³ Politetrafluoretileno - possui propriedades de resistência à corrosão e à temperatura

⁴ Sacos de coleta compostos por polímero termoneutro – TEDLAR[®]

animais, aproximadamente 1.20 m de altura em ralação ao piso, durante 40 minutos em média, este tempo coincidia com o momento em que o saco de coleta apresentava-se inflado.

Figura 18 - Procedimento para coleta do ar no exterior da instalação (a), detalhes do dispositivo coletor (b).

Figura 19 - Procedimento para coleta do ar no interior da instalação (a), altura de coleta do ar no interior da instalação (b).

Após a coleta, os sacos TEDLAR[®] foram conectados por meio de uma válvula presente no saco de coleta na entrada de ar do analisador (INNOVA[®], modelo 1412). O analisador de gás utilizado é um espectrômetro acústico infravermelho para determinar vários gases simultaneamente (Figura 20).

Figura 20 - Procedimento de leitura dos gases contidos nos sacos coletores pelo analisador de gás INNOVA 1412.

3.7 Cálculo da concentração mássica dos gases emitidos

Os gases (NH_3 , N_2O , CH_4 e NH_3) foram medidos usando o medidor fotoacústico INNOVA 1412, sendo as concentrações destes gases registradas pelo equipamento em partes por milhão – volume (ppm-v). O manual do INNOVA 1412 não descreve com exatidão se o volume de referência para a indicação da concentração foi um volume de ar seco ou ar úmido. Sem essa informação assumimos que o volume de referência é em ar úmido a fim de não subestimar a concentração em massa, conforme recomendação de Robin et al. (2006). Dessa forma, foi usada a lei dos gases ideais considerando a temperatura do ar no momento da coleta do ar para converter o volume de gás medido em massa de gás por kg de ar úmido, utilizando a eq.(11).

$$C = C_i^v \times \frac{M_{mol}}{V_m} \quad (11)$$

Em que:

C = concentração em (mg/m^3) de (CH_4 ; CO_2 ; NH_3 ; N_2O);

C_i^v = concentração em (ppm-v) do gás considerado;

(equivalente a ml/m^3 sendo o m^3 adotado por unidade de tempo em função da vazão (m^3/h) do gás);

M_{mol} = massa molar de cada molécula de gás (Ex: $\text{CO}_2=44$, $\text{CH}_4=16$, $\text{NH}_3=17$, $\text{N}_2\text{O} = 44$).

V_m é o volume molar em L.mol^{-1} , correspondente a massa molecular de um gás ideal para uma determinada pressão (P) e temperatura do ar (T) conforme especificado na eq. (12) e (13).

$$V_m = \frac{R \times T}{P} \quad (12)$$

$$T = 273.15 + T_{\text{amb}}(^{\circ}\text{C}) \quad (13)$$

Em que:

V_m = volume molar em L. mol^{-1} ,

R = constante dos gases perfeitos ($8,3045 \cdot 10^{-2} \text{ J/K mol}^{-1}$);

P = pressão atmosférica do local: 95431 Pa;

T = temperatura do gás em Kelvin (K);

273,15 = temperatura do ponto crítico da água (273,15 Kelvin);

T_{amb} = temperatura do ar ambiente no momento da coleta, expresso em $^{\circ}\text{C}$.

As concentrações (CH_4 ; CO_2 ; NH_3 ; N_2O) obtidas foram convertidas em C- CH_4 ; C- CO_2 ; N- NH_3 ; N- N_2O (mg/m^3), por meio dos respectivos fatores de conversão (FC) para $\text{CO}_2=12/44$, $\text{CH}_4=12/16$, $\text{N}_2\text{O}=28/44$ e $\text{NH}_3=14/17$ e $\text{H}_2\text{O}=18$, eq. (14).

$$C_i^m = C \times \frac{M_m}{V_m} \times FC \quad (14)$$

Em que:

C_i^m = concentração equivalente de C ou N dos gases (mg/m^3), no instante i;

C = concentração em ppm do gás considerado;

M_m = massa molecular equivalente de nitrogênio e carbono do gás considerado (Ex. $\text{CO}_2=12$ $\text{CH}_4=12$, $\text{NH}_3=14$, $\text{N}_2\text{O}=28$ g de N.mol^{-1});

FC = fator de conversão (g/mol^{-1})

3.8 Cálculo do fluxo das emissões gasosas

Para determinar o fluxo de emissão utilizou-se o cálculo recomendado por Robin et al. (2006), no qual as emissões foram deduzidas a partir do fluxo de ar na entrada e saída da instalação, da massa volumétrica e das concentrações mássicas na forma dos gases e vapor de água. Para o cálculo foi utilizada a eq.(15).

$$\phi = Q_{ar} \times \rho_i \times (C_i^m - C_e^m) \quad (15)$$

Em que:

ϕ = emissão do gás em (mg/h. suíno) de ar seco, estimado a partir do fluxo de ar, concentração dos gases e massa volumétrica do ar seco;

Q_{ar} = vazão de ar que sai da edificação (m³/h);

C_i^m = concentração mássica do gás no interior da edificação (g/kg ar seco);

C_e^m = concentração mássica do gás no exterior da edificação (g/kg ar seco);

ρ_i = conversão do volume do fluxo de ar que passa pela instalação em m³/h para fluxo de massa em quilograma de ar seco por hora, que permite aplicar as leis de conservação de massa e energia.

Para calculá-lo, usou-se a lei do gás ideal, que estabelece uma relação entre a massa de um gás, seu volume e pressão, eq. (16).

$$\rho_i = \left[\frac{P_{vap}}{47,1 \times (T_{ref} + t_i)} + \frac{P_{atm} - P_{vap}}{29,27 \times (T_{ref} + t_i)} \right] \times \frac{1}{grav} \quad (16)$$

Em que,

ρ_i = massa volumétrica do ar, no interior da instalação, em quilograma de ar seco por metro cúbico de ar úmido (kg/m³);

$grav$ = aceleração da gravidade (9,81m/s);

47,1 e 29,27 = são as duas constantes dos gases perfeitos para o vapor de água e para o ar seco;

T_{ref} = temperatura do ponto crítico da água (273,15 K).

P_{atm} = pressão atmosférica local (Pascal);

P_{vap} = pressão de vapor de água no ar (Pascal)

O cálculo da pressão de vapor saturado, uma fórmula empírica que utilizamos para calcular eq.(17), é a *equação de Tetens*:

$$P_{sat} = 610,78 \times 10^{\left(\frac{7,5 \times t_i}{237,3 + t_i} \right)} \quad (17)$$

Em que:

P_{sat} = pressão de vapor saturado de água no ar (Pascal);

610,78 = equivale a 610,78 Pa (para resultados em Pascal);

t_i = Temperatura (em °C);

Cálculo da pressão parcial de vapor de água: eq. (18).

$$P_{vap} = P_{sat,i} \times \frac{UR_i}{100} \quad (18)$$

Em que:

P_{vap} = pressão parcial de vapor de água no ar (em Pascal);

P_{sat} = pressão do vapor saturado de água no ar (Pascal);

UR_i = umidade relativa do ar interior (em %).

Como observado nas equações, o fluxo de gás foi calculado a partir do fluxo de ar e dos níveis de concentração no interior e exterior de modo a superar os erros causados por variações da massa e do volume de ar úmido.

3.8.1 Estimativas da vazão do ar por meio do fluxo de calor

Na determinação das emissões baseadas nas concentrações do gás, no interior e exterior da instalação, esse método de cálculo necessita da determinação da vazão de ar da edificação. A precisão do método depende da estabilidade da ventilação e da variabilidade espacial do gás, pois a instalação utilizada apresenta aberturas laterais. Existem muitos métodos, diretos e indiretos, para determinação

das vazões de ar nas edificações, sendo importante escolher o método específico para cada caso avaliado.

Para este trabalho foram escolhidos três métodos para determinação da vazão do ar, produção de vapor de água, produção do calor total e pela produção do calor sensível. As utilizações destes métodos de estimativa de vazão de ar pela produção de calor têm por objetivo, validar os dados oriundos do anemômetro, visto que em edificações abertas a taxa de vazão do ar se apresenta de forma muito variável. Os métodos e as equações para o cálculo da vazão do ar são apresentados a seguir.

3.8.1.1 Produção de calor pelos animais

Existem diferentes tipos de equações utilizadas para estimar produção do calor de origem metabólica emitido pelos suínos (HOLMES; CLOSE, 1977; BRUCE; CLARK, 1979; CIGR, 1984; FEDDES et al., 1996).

Entretanto, para este trabalho optamos por utilizar as equações propostas pela Comissão Internacional de Engenharia Agrícola (CIGR, 2002), comissão formada por um grupo de trabalho sobre climatização em edificações utilizadas para produção animal. O grupo estabelece diretrizes para os cálculos de produção de calor. O relatório foi publicado em 1992 no *CIGR Handbook* (CIGR, 1999), atualizado em 2002 (CIGR, 2002).

3.8.1.1.1 Produção de calor total

As equações de predição da CIGR (2002) são baseadas nos princípios biológicos de perda de calor, e não somente nos dados de literatura. As equações poder ser divididas em duas partes. A primeira parte da equação é referente ao cálculo dos requerimentos de manutenção, a segunda compreende a dissipação de calor devido à engorda dos suínos.

Portanto, podemos utilizar para todos os suínos na fase de crescimento a mesma eq. (19):

$$\Phi_{tot} = \Phi_m + (1 - k_y)(\Phi_d - \Phi_m) \quad (19)$$

Em que,

Φ_{tot} = Calor total animal dissipado (J/s);

Φ_m = Dissipação de calor devido à manutenção (J/s);

Φ_d = Consumo de energia diária pela ração (J/s);

K_y = Coeficiente da eficiência da utilização da energia para o ganho de peso.

Para suíno em crescimento e terminação utilizaremos a seguinte eq. (20):

$$H_{\text{tot}} = 5.09m^{0.75} + [1 - (0.47 + 0.003m)][n \times 5.09m^{0.75} - 5.09m^{0.75}] \quad (20)$$

Em que:

H_{tot} = produção de calor total (W/suíno) a 20 °C;

m = massa corporal dos suínos (kg);

n = energia alimentar diária em relação aos requerimentos de manutenção do animal.

Os valores de n variam com a massa corporal do animal, na Tabela 5 são apresentados os valores utilizados para efetuar os cálculos.

Tabela 5 - Coeficientes utilizados nas equações de produção de calor da CIGR (2002)

Massa corporal suíno (kg)	$N^{[a]}$
80	3,26
90	2,99
100	2,76
110	2,57

[a] Pedersen (2002)

A eq. (20) representa o fluxo metabólico emitido por suínos em suas áreas de produção, em função de seus pesos e das características ambientais, onde a produção de calor total para suínos na fase de crescimento e terminação dentro da zona de termoneutralidade a 20 °C. Entretanto, para o cálculo da produção de calor a temperatura ambiental, utilizamos a eq. (20), proposta também pela CIGR (2002), a qual considera a produção de calor pelos suínos na temperatura ambiente.

$$H_{tot,i} = H_{tot} \times (1 + 0.012 \times (20 - t_i)) \quad (20)$$

Em que:

$H_{tot,i}$ = Produção de calor total (W/suíno) na temperatura ambiente t_i ;

t_i = Temperatura ambiente (°C).

3.8.1.1.2 Produção de calor latente e sensível

Para a partição entre calor sensível e latente, utilizamos as recomendações da CIGR (2002), como forma geral de repartição, eq. (21) e eq. (22).

$$H_{sen} = H_{tot} \times [0.62 \times (1 + 0.012 \times (20 - t_i)) - 1.15 \times 10^{-10} \times t_i^6] \quad (21)$$

$$H_{lat} = (H_{tot} - H_{sen}) \quad (22)$$

Em que:

H_{sens} = produção de calor sensível (W/animal);

H_{lat} = produção de calor latente (W/animal);

3.8.1.2 Estimativa da vazão de ar segundo a produção de calor latente

A vazão de ar que sai da edificação pode ser deduzida pela produção de vapor de água e da diferença da humidade entre o ar interior e exterior segundo eq. (23).

$$Q_{ar,lat} = \frac{\left[H_{lat} + H_{lat,cama} + \left(coll + \frac{H_2O_{metabólica}}{3600 \times 1000} \right) \times Lat \right]}{\rho_i \times (q_i - q_e) \times Lat} \times 3600 \quad (23)$$

Em que:

$Q_{ar,lat}$ = vazão de ar segundo a produção de calor total (em m³/hora. suíno);

$H_{lat,cama}$ = produção de calor total da cama (em W/ suíno), não utilizado neste experimento;

Lat = calor latente de vaporização da água ($2.45.10^6$ J).

Coll = fluxo da água no resfriamento evaporativo (kg água/s. suíno), não utilizado neste experimento;

Lat = calor latente de vaporização da água ($2,45. 10^6$ J);

q_i e q_e = umidade específica do ar (g água/kg ar seco)

$H_2O_{metabólica}$ = Produção de água metabólica em (g água/h. suíno).

A umidade específica do ar (q_i), massa de vapor numa dada região em relação à massa total do ar em um determinado local. Este valor é expresso como a razão da massa de vapor pela massa total do ar, ou seja, em (g/kg). É definido segundo eq. (24).

$$q_i = 0.622 \times \frac{P_{vap}}{P_{atm} - P_{vap}} \quad (24)$$

Em que:

q_i = umidade específica do ar (g água/kg ar seco);

0,622 = balanço das massas molares da água e do ar (em kg água/kg ar seco);

P_{vap} = pressão vapor da água (Pascal);

P_{atm} = pressão atmosférica local (Pascal).

Uma parte da água que sai da edificação é originada a partir da degradação da matéria seca dos alimentos, ou seja, água metabólica, ou seja, oriunda dos processos metabólicos. Nós assumimos o valor de 0,1 g/h por W de calor total produzido (CIGR, 2002). Isto nos dá a seguinte eq. (25).

$$H_2O_{metabólica} = 0.1 \times (H_{tot} + H_{tot,cama}) \quad (25)$$

$$H_2O_{metabólica} = 0.1 \times (H_{tot} + H_{tot,cama})$$

A $H_{2O_{metabólica}}$ é a produção de água metabólica em (g água/h. suíno).

3.8.1.3 Estimativa da vazão de ar segundo a produção de calor total

A vazão de ar que sai da instalação pode ser deduzida a partir da produção de calor total e pela diferença de entalpia entre o ar interior e exterior de acordo com a eq. (26):

$$Q_{ar,tot} = \frac{(H_{tot} + H_{tot,cama} + H_{aquecimento} - P_{parede})}{\rho_i \times (E_i - E_e)} \times 3600 \quad (26)$$

Em que:

$Q_{ar,tot}$ = vazão de ar obtido pela produção de calor total em (m³/h. suíno);

$H_{aquecimento}$ = aquecimento (em W/ animal), não utilizado neste experimento;

P_{parede} = fluxo de calor através das paredes em (5 W/animal);

E_i e E_e = entalpia do ar interno e externo (J/kg⁻¹ ar seco).

As perdas de calor condutivos através das paredes da edificação, foram estimadas utilizando o coeficiente de insolação térmica da edificação G_p (em 5 W/K. animal), eq. (27).

$$P_{parois} = G_p \times (t_i - t_e) \quad (27)$$

Em que:

P_{parois} = fluxo de calor através das paredes e coberturas em (W /suíno);

G_p = coeficiente de insolação térmica da edificação (5W/K. suíno);

t_i e t_e = temperaturas do interior e exterior em (°C).

O coeficiente de insolação térmica da edificação G_p (em W/suíno) é estimado a partir de informações sobre os materiais que compõem as paredes e cobertura. Podemos estimar a perda pelas paredes do edifício em 5 W/suíno (ADEME, 2010). Para o cálculo da entalpia do ar, utilizou-se a equação simplificada proposta por Andréieff de Notbeck (1978), eq. (28):

$$E_i = [0,24 \times t_i + q_i \times (0,47 \times t_i + 595)] \times 4,184 \times 1000 \quad (28)$$

E_i = entalpia do ar interior (em J/kg ar seco), calculado da mesma forma para o ar exterior;

t_i = temperatura do ar interior;

q_i = umidade específica do ar (g água/kg ar seco).

3.8.1.4 Estimativa da vazão de ar segundo a produção de calor sensível

A vazão do ar que sai da edificação pode ser estimada a partir da produção de calor sensível e da diferença de temperatura entre o ar interior e exterior, segundo eq. (29).

$$Q_{ar, sen} = \frac{(H_{sen} + H_{sen, cama} + H_{aquecimento} - P_{paredes} - \frac{cool}{Lat})}{\rho_i \times C_p \times (t_i - t_e)} \times 3600 \quad (29)$$

Em que:

$Q_{ar, sem}$ = vazão de ar segundo a produção de calor sensível (em m³/h. suíno);

C_p = calor específico do ar a pressão constante (1010 J/kg. ar seco).

3.8.1.5 Estimativa da vazão de ar pela ação dos ventos

A ventilação natural consiste em movimento normal do ar que ocorre em razão das diferenças de pressão causadas pela ação do vento, ou das diferenças de temperatura entre dois meios considerados. Segundo Baêta e Souza (2010), a taxa em que a ventilação natural ocorre depende da velocidade do vento e de sua direção, da proximidade e das dimensões de obstáculos, do desenho e da localização das aberturas de entrada e saída do ar. Considerando o volume construído, a pressão estática em volta das construções varia também com sua geometria, além de depender da direção dos ventos dominantes.

De acordo com Hellickson et al. (1983), considerando as forças do vento, a taxa de ventilação no interior de uma edificação pode ser determinada pela eq. (30).

$$Q_v = E \times A \times V \quad (30)$$

Em que:

Q_v = vazão de ar causado pelas forças do vento (m^3/h);

E = efetividade de abertura (0.35);

A = área livre da entrada de ar (m^2);

V = velocidade do vento (m^3/h).

3.9 Peso e curva de crescimento dos suínos

No início e fim do alojamento, os animais foram pesados. Entretanto, os pesos intermediários, bem como, a curva de crescimento dos suínos, foram estimados por meio da interpolação linear proposta por Robin et al.(2006) eq. (31).

$$PV_j = PV_{inicial} + \frac{(PV_{final} - PV_{inicial})}{(J_{final} - J_{inicial})} \times (J - J_{inicial}) \quad (31)$$

Em que:

PV_j = peso vivo dos suínos em (kg);

J = número de dias em que a estimativa desejar;

$J_{inicial}$ = dia de chegada dos animais;

J_{final} = dia de saída dos animais.

3.10 Manejo de alimentação

O arraçoamento dos animais foi realizado duas vezes ao dia nos respectivos horários (9h30 e 14h30), em comedouros de concreto contínuos, em um dos sentidos longitudinais da baia, com largura aproximada de 0,4 m. Os bebedouros do tipo chupeta localizavam no lado oposto a linha de comedouro. Os animais receberam durante todo o período uma ração granulada a base de soja e milho fornecida pela empresa integradora.

3.10.1 Consumo de ração diária dos suínos

A determinação do consumo diário de ração pelos suínos foi estimada por meio dos dados fornecidos pela agroindústria responsável pela integração. O consumo total correspondeu ao somatório dos diferentes tipos de ração fornecidos na unidade de produção, descartando-se o peso residual que ficou no silo, ao final de cada ciclo.

3.10.2 Caracterização físico-química da ração

Foram coletadas semanalmente duas amostras compostas de ração, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de análises de alimentos da Embrapa Suínos e Aves, onde as mesmas foram preparadas e analisadas seguindo os procedimentos padrões da AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS), citados por Silva e Queiroz (2002). As variáveis analisadas foram: matéria seca (MS), matéria mineral (MM), Nitrogênio Total (NT), Carbono Total (CT), Fósforo Total (PT), Potássio (K), Fósforo (P). Os procedimentos de coleta são apresentados na (Figura 21).

Figura 21 - Procedimentos para a coleta da ração (a), amostra composta que foi enviada ao laboratório para análise (b).

3.11 Modelo para estimativa da produção de dejetos

O volume de dejetos produzido pelos suínos foi estimado em função dos resultados publicados por Tavares (2012). Os resultados obtidos pelo autor na aplicação da modelagem demonstram que o modelo permite estimar com alguma segurança ($R^2=0.993$), o volume de dejetos produzido eq. (32).

$$y = 4,9676 \times e^{-0,3589(r-0,0579)} \quad (32)$$

Em que, y é a produção de dejetos em semanas (kg. suíno⁻¹. Dia⁻¹), e t = semanas.

3.11.1 Caracterização físico-química dos dejetos produzidos

As amostras dos dejetos produzidos na unidade foram coletadas semanalmente, durante todo o período experimental (4 semanas). Procedeu-se com uma homogeneização dos dejetos ainda nas canaletas, foram retiradas subamostras ao longo das canaletas, totalizando um volume de 20 litros. Após nova homogeneização, retirou-se uma alíquota de aproximadamente um litro, em um frasco de amostragem específico (TAVARES, 2012). A (Figura 22) exhibe o procedimento de amostragem dos dejetos nas canaletas das unidades de produção.

Figura 22 - Vista da canaleta presente na instalação (a), procedimento de homogeneização dos dejetos nas canaletas da instalação (b), procedimentos de amostragem do dejetos (c), alíquota enviada para as análises laboratoriais (d).

As amostras foram encaminhadas para o laboratório de análises físico-químicas da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia - SC, onde foram processadas e analisadas de acordo com as metodologias oficiais (AOAC, 1995). A caracterização dos dejetos suínos foi realizada com base nos parâmetros descritos na (Tabela 6).

Tabela 6 - Variáveis físico-químicas analisadas e método analítico

Análises Físico-químicas	Método Analítico
Sólidos Totais (ST)	Gravimétrico
Sólidos Voláteis (SV)	
Sólidos Fixos (SF)	
Carbono Total (mg/kg)	Oxidação da matéria orgânica
Nitrogênio Kjeldahl (N-Total)	Kjeldahl – Titulométrico
Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+)	Espectrofotométrico baseado na reação de Griess
Fósforo Total (P) (mg/kg)	Espectrometria de absorção no ultravioleta/visível (UV-Vis)
Potássio (K) (mg/kg)	Fotometria de chama
pH	Potenciometria

3.12 Verificações pelos balanços de massa

Para validar as estimativas das emissões gasosas obtidas, os cálculos do balanço de massa para água, carbono, nitrogênio, fósforo e potássio são realizados para a totalidade do período experimental.

3.12.1 Balanço de água

O balanço hídrico é utilizado para validar a medição das emissões, bem como, quantificar o erro das mesmas. O balanço geral de água no sistema de produção de suínos foi calculado pela diferença do consumo total de água (ingerida nos equipamentos, na ração, e produção de água metabólica) e o somatório das saídas (água retida no corpo e a água evaporada e no dejetos) nos suínos.

A eq. (33) exemplifica a forma de cálculo do balanço geral de água nos suínos.

$$H_2O_{Bal} = H_2O_{Ing} + H_2O_{Ra\grave{c}} + H_2O_{Met} - H_2O_{Cor} - H_2O_{Evap} \quad (33)$$

Em que:

H_2O_{Bal} = quantidade de água do balanço dos suínos (kg. suíno⁻¹);

H_2O_{Ing} = água ingerida no bebedouro pelos suínos (kg. suíno⁻¹);

$H_2O_{Ra\grave{c}}$ = quantidade de água ingerida na ração (kg. suíno⁻¹);

H_2O_{Met} = produção de água metabólica (kg. suíno⁻¹);

H_2O_{Cor} = quantidade de água retida no corpo (kg. suíno⁻¹);

H_2O_{Evap} = quantidade de água evaporada do corpo dos animais (kg. suíno⁻¹).

A Figura 23 exibe um esquema adaptado para o balanço geral de água em suínos, na fase fisiológica de crescimento/terminação e com alojamento em piso concreto (OLIVEIRA, 2003).

Figura 23 - Esquema do balanço geral de água em suínos

3.12.1.1 Estimativa da água ingerida no equipamento e na ração

O consumo de água ingerida pelo suíno (consumo do próprio animal mais o desperdício) foi estimado pelo modelo proposto por Tavares (2012). É apresentada na eq. (34) a expressão utilizada para o cálculo da quantidade de água ingerida pelos suínos.

$$y = 10 \times 1443 \times e^{-e^{-0.2857(t - (-0.9008))}} \quad (34)$$

Em que:

y = consumo de água (kg. suínos⁻¹)

t = semanas

Os valores são dados em consumo médio por semana de alojamento.

A Equação eq. (35), adaptada de Tavares (2012) apresenta a expressão para o cálculo da quantidade de água ingerida pelos suínos considerando a ração ingerida, em função do teor de matéria seca.

$$H_2O_{Ra\grave{c}} = Ra\grave{c}\tilde{a}o \times \left(1 - \left(\frac{MS_{Ra\grave{c}}}{100} \right) \right) \quad (35)$$

Em que:

$H_2O_{Ra\grave{c}}$ = água ingerida via ração (kg. suíno⁻¹);

Ração = alimento ingerido pelo suíno (kg.d⁻¹);

$MS_{Ra\grave{c}}$ = teor de matéria seca na ração (%).

3.12.1.2 Estimativa da produção de água metabólica

O cálculo da quantidade de água produzida no animal por via do metabolismo oxidativo baseou-se no pressuposto em que para se produzir uma molécula de CO₂ é necessária à existência de uma molécula de água (para um volume molar de 22,41 L de CO₂ temos um peso molecular de 18 g de água) (OLIVEIRA, 2003).

A expressão usada para o cálculo da produção de água por via metabólica no animal eq. (36).

$$H_2O_{Met} = \left[\frac{ProdCO_2}{VmolCO_2} \right] \times MmolH_2O \quad (36)$$

Em que:

H_2O_{Met} = produção de água metabólica (g. h. suíno⁻¹);

$V_{mol}CO_2$ = volume molar de CO₂ (22.41L. mol);

$M_{mol}H_2O$ = massa molar da água (18g. mol);

$ProdCO_2$ = produção de CO₂ (litros por hora).

A produção de CO₂ no suíno foi estimada por meio da produção de calor total por suíno, com base em um coeficiente de proporcionalidade (0,163 L.h⁻¹ de CO₂ por

Watt de calor total produzido) (COMISSION INTERNATIONALE GÉNIE RURAL, 1984).

A eq. (37) indica a expressão de cálculo da produção de CO₂.

$$Prod_{CO_2} = 0,163 Q_{tot_{sui}} \quad (37)$$

Em que:

Prod_{CO₂} = produção de CO₂ por suíno (L.h⁻¹);

Q_{tot_{sui}} = produção de calor total por suíno (W.suíno⁻¹).

3.12.1.3 Estimativa de água retida no corpo do suíno

A quantidade de água retida no corpo ser estimada em função da quantidade de proteínas retidas pelos suínos no seu organismo (DE GREEF, 1995; LANGE, 1995). O cálculo para estimar a quantidade de água retida no corpo dos suínos é obtido pela equação proposta por De-Greef (1995), eq. (39).

$$H_2O_{Corpo} = 1,10 \times 4,889 \times (R_{Prot})^{0,885} \quad (39)$$

Em que:

H₂O_{Corpo} = água no corpo do suíno (kg.suíno⁻¹);

R_{Prot} = retenção de proteína diária (kg.suíno⁻¹).

A retenção de proteína diária no corpo do suíno pode ser determinada a partir de uma relação, considerando-se o peso vivo vazio do animal (GUILLOU; DOURMAD; NOBLET, 1993). A estimativa do teor proteico pode também ser ajustada para o peso vivo vazio do suíno através da percentagem de tecido muscular (OLIVEIRA, 2003). Para este trabalho a porcentagem de tecido muscular (MUS) assumida foi de 59% (BERTOL et al., 2013).

As eq. (40) e eq. (41) são utilizadas, respectivamente, para o cálculo da retenção de proteína diária e para a determinação do peso vivo vazio em função da massa corporal do suíno.

$$R_{\text{Prot}} = e^a \times (PVV)^b \quad (40)$$

$$P_{vv} = 0,915 \times (m)^{1,009} \quad (41)$$

Em que:

R_{prot} = retenção de proteína diária (kg.suíno^{-1});

e = base do logaritmo neperiano (2,7182);

a = $-0,982 - 0,0145 \times (\text{MUS})$;

b = $0,7518 + 0,0044 \times (\text{MUS})$;

P_{vv} = peso vivo vazio do suíno (kg);

m = massa corporal do suíno (kg).

3.12.1.4 Estimativa da água de evaporação

A água perdida por evaporação foi determinada em função da quantidade de calor necessária para a passagem da água do estado líquido ao gasoso, ou seja, a produção de calor latente de vaporização (SOULOUMIAC, 1995 apud OLIVEIRA, 2003). Em média, são necessários 680,6 Watts para evaporar um quilograma de água por hora (COMMISSION INTERNATIONALE GÉNIE RURAL, 1984).

Equação utilizada para o cálculo do vapor de água produzido pelos suínos eq. (42).

$$P_{\text{vap}} = (Q_{\text{lat}_{\text{sui}}} / L_v) \times 24 \quad (42)$$

Em que:

P_{vap} = vapor de água produzido pelo suíno (kg.d^{-1})

$Q_{\text{lat}_{\text{sui}}}$ = produção de calor latente (W.suíno^{-1})

L_v = calor latente de vaporização [$680.6 \text{ Watts (kg H}_2\text{O. h}^{-1})$];

24 = em horas para obter o valor diário.

A produção de calor latente foi deduzida como complemento da produção de calor sensível, segundo a temperatura no bulbo seco do ambiente interno da unidade de produção (COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL, 1984).

As equações seguintes são utilizadas para o cálculo do calor sensível eq. (43) e para calor latente eq. (44).

$$Q_{lat_{sui}} = Q_{tot_{sui}} - Q_{sen_{sui}} \quad (43)$$

$$Q_{sen_{sui}} = Q_{tot_{sui}} \left(0.8 - 1.85 \times 10^{-7} \times (Ta + 10)^4 \right) \quad (44)$$

Em que:

$Q_{lat_{sui}}$ = produção de calor latente por suíno (W. suíno⁻¹);

$Q_{tot_{sui}}$ = produção de calor total por suíno (W. suíno⁻¹);

$Q_{sen_{sui}}$ = produção de calor sensível por suíno (W. suíno⁻¹);

Ta = temperatura de bulbo seco no interior do edifício (°C).

A água que sai na forma de vapor da edificação é calculada pela diferença da umidade específica do ar onde ($qs - qe$) representam a diferença de umidade do ar que entra e que sai da edificação, pela vazão do ar que sai e o volume específico do ar não saturado. A estimativa da água perdida por vapor é calculada pela eq. (45).

$$H_2O_{vapor} = (qs - qe) \times \left(\frac{D}{V_{esp}} \right) \quad (45)$$

Em que,

H_2O_{vapor} = vapor de água que sai da edificação (kg. água. suíno);

qs = umidade específica do ar que sai (kg. água/kg. ar . seco);

qe = umidade específica do ar que entra (kg. água/ kg. ar. seco);

D = vazão do ar que sai (m³. hora. suíno);

V_{esp} = volume específico do ar não saturado (kg. m³. de ar).

3.12.1.5 Estimativa da água contida no dejetos

O volume de água contida nos dejetos líquidos produzidos pelos suínos pode ser estimado pelas equações recomendadas no relatório final ADEME, (2010), eq. (46).

$$H_{Dej} = M_{Eflu} - (M_{Eflu} * MS_{Dejeto}) \quad (46)$$

Em que:

H_{dej} = água contida no dejetos (kg);

M_{eflu} = massa do efluente produzido (kg);

$MS_{dejetos}$ = matéria seca do dejetos (%)

3.12.2 Balanço do nitrogênio

É o nitrogênio (N) que entra no sistema por meio da alimentação. A quantidade de nitrogênio que entra no sistema via alimentação foi calculado pela seguinte eq. (47).

$$N_{alim} = Ração \times N_{Ração} \quad (47)$$

Em que:

N_{alim} = nitrogênio ingerido pela alimentação (kg. suíno⁻¹);

Ração = alimento ingerido (kg.suíno⁻¹);

$N_{Ração}$ = nitrogênio do alimento (g/kg.alimento⁻¹).

3.12.2.1 Nitrogênio retido no corpo dos animais

É a fração de nitrogênio que constitui os tecidos corporais dos suínos. A retenção corporal de nitrogênio nos suínos foi calculada utilizando as referências de Corpen (2003), eq. (48).

$$N_{Retido} = \frac{e^{(-0,9385-0,0145 \times TVM)} \times (0,915 \times PV^{1,009})^{(0,7364+0,0044 \times TVM)}}{6,25} \quad (48)$$

Em que:

N_{retido} = nitrogênio retido nas carcaças dos animais (kg/suíno);

PV = peso vivo médio dos animais (kg.suíno⁻¹);

TVM = teor de carne magra na carcaça (59%).

3.12.2.2 Nitrogênio acumulado nos dejetos

O nitrogênio presente nos dejetos de suínos é o resultado da desanimação dos aminoácidos não utilizados para a síntese proteica dos animais, descamação do epitélio do trato digestivo, resíduos de ração, entre outros componentes de menor proporção. O nitrogênio contido no dejetos é estimado pela seguinte eq. (49).

$$N_{dejeta} = Dejeta \times N \quad (49)$$

Em que:

N_{dejeta} = nitrogênio contido no dejetos (kg);

$Dejeta$ = quantidade de dejetos produzido (kg);

N = teor de nitrogênio do dejetos (%).

3.12.2.3 Balanço do carbono

O carbono (C) ingerido via alimentação é calculado pela seguinte equação eq. (50).

$$C_{alim} = A \times C \quad (50)$$

Em que:

C_{alim} = carbono ingerido via alimentação (kg);

A = alimento ingerido em (kg)

C = carbono presente no alimento (calculado a partir de MS/2).

3.12.2.3.1 Carbono retido no corpo dos animais

O carbono contido nos animais no início do lote (Kg) foi calculado de acordo com a equação seguinte eq. (51).

$$C_{animal} = PV_{animal} \times C \quad (51)$$

Em que:

C_{animal} = quantidade de carbono retido no corpo dos animais (kg);

PV_{animal} = peso vivo do animal em (Kg);

C = teor de carbono presente nos tecidos de suínos (calculado a partir da $MS/2 = 200g$ C por Kg PV).

3.12.2.3.2 Carbono acumulado no dejetos

Carbono presente nos dejetos ao final do lote (kg) é obtido pela seguinte eq. (52).

$$C_{dejetos} = Dejetos \times C \quad (52)$$

Em que:

$C_{dejetos}$ = carbono acumulado no dejetos (kg);

C = carbono no dejetos (%).

Dejetos = massa de dejetos (kg)

3.12.3 Balanço dos elementos estáveis (Fósforo e Potássio)

3.12.3.1 Entrada via alimentação

A entrada de fósforo (P) e potássio (K) no sistema via alimentação foi estimada de acordo com as equações seguintes eq. (53) e eq. (54).

$$P_{Ração} = Ração \times P \quad (53)$$

$$K_{Ração} = Ração \times K \quad (54)$$

Em que:

$P_{ração}$ = quantidade de fósforo que entra via ração (g/kg);

$K_{ração}$ = quantidade de potássio que entra via ração (g/kg)

Ração = quantidade de ração consumida (kg);

P = teor de fósforo (mg/kg);

K = teor de potássio (mg/kg).

3.12.3.2 Estimativa do Fósforo e Potássio contido no dejetto

O fósforo e potássio contido no dejetto foram estimados de acordo com as equações seguintes eq. (55) e eq. (56).

$$P_{Dejeto} = Dejeto \times P \quad (55)$$

$$K_{Dejeto} = Dejeto \times K \quad (56)$$

Em que:

P_{dejeto} = quantidade de fósforo acumulado no dejetto (g/kg);

K_{dejeto} = quantidade de potássio acumulado no dejetto (g/kg)

Dejeto = quantidade de dejetto produzido (kg);

P = teor de fósforo (mg/kg);

K = teor de fósforo (mg/kg).

3.12.3.3 Retenção corporal dos elementos Fósforo e Potássio

A retenção corporal dos elementos fósforo eq. (57) e potássio eq. (58) foram estimados segundo as recomendações de Corpen (2003). Equações para o cálculo da retenção corporal dos minerais (Tabela 2).

$$P = 5.3 \times PV \quad (57)$$

$$K = -0,0034 \times PV^2 + 2,53 \times PV \quad (58)$$

Em que:

PV = peso vivo animal (kg);

P = teor de fósforo retido na carcaça (g/kg)

K = teor de potássio retido na carcaça (g/kg).

O balanço de massa para cada elemento foi determinado a partir da quantidade que ingressou no sistema de criação, o que ficou retido na carcaça dos suínos, o que foi excretado no dejetto e o que foi perdido na forma de gás.

Em relação aos elementos fixos (potássio, fósforo), elementos nos quais não há perdas por volatilização, as determinações foram realizadas para validar o balanço de massas, ao seja, diferenças maiores que 10% no balanço destes elementos, pode indicar algum erro com as amostragens realizadas durante o experimento.

Em função da falta de representatividade na amostragem, nas medições de volume dos dejetos suínos, e nas incertezas analíticas, atribuiu-se um valor para o erro de entre 10% e 30% que é o somatório dos erros que podem ocorrer nas variáveis apontadas acima. Estes valores atribuídos ao erro foram recomendados por Robin et al. (2007).

3.13 Análise estatística dos resultados

Os resultados obtidos na pesquisa foram sujeitos a uma análise preliminar através do Software Microsoft Excel[®].

O desdobramento da análise para o efeito de tipo de tipo de vazão e metodologia por meio do teste de médias Tukey e t , sempre que o teste F foi significativo a 0,05.

Para a avaliação dos resultados obtidos para o efeito da vazão e metodologias os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o procedimento PROC MIXED do pacote estatístico SAS[®] e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.

Para apresentação dos resultados foi realizada uma análise estatística descritiva para exploração dos dados, a elaboração gráfica dos resultados foi realizada com recurso ao software Sigma Plot[®].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização climática da região

As médias dos dados climáticos no período de 13/01/2014 a 10/02/2014 podem ser avaliadas de acordo com os dados obtidos na estação meteorológica da EMBRAPA – Suínos e Aves, Concórdia – SC, situada próxima ao município de Alto Bela Vista – SC, na qual foi realizado o experimento. Estes dados estão sintetizados na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados climáticos da microrregião de Concórdia – SC, observados durante o período de coleta dos dados (13/01/14 a 10/02/14).

Data	Temperatura (°C)			Umidade (UR%)			Precipitação (mm)
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	
13/01/14	26,0	18,0	23,2	91	71	81	20
14/1/14	27,5	18,0	24,9	70	65	67	0
15/1/14	28,0	18,0	23,7	85	77	81	8
16/1/14	28,0	17,0	24,3	92	72	82	0
17/1/14	30,5	17,5	26,9	77	57	67	0
18/1/14	31,0	18,0	27,8	71	51	61	0
19/1/14	32,0	17,0	28,2	78	52	65	0
20/1/14	33,0	18,0	28,8	71	43	57	0
21/1/14	33,5	17,0	28,6	77	43	60	0
22/1/14	34,0	18,5	29,9	85	54	69	0
23/1/14	34,0	20,0	30,3	72	54	63	2
24/1/14	34,0	21,0	27,1	85	73	79	7
25/1/14	27,5	20,5	25,4	78	78	78	1
26/1/14	31,5	17,0	27,6	85	52	68	8
27/1/14	32,5	19,0	28,5	85	57	71	3
28/1/14	32,5	19,0	27,7	92	62	77	8
29/1/14	33,0	19,5	27,3	85	67	76	0
30/1/14	33,0	19,0	28,7	85	43	64	27
31/1/14	33,0	18,0	27,2	84	61	72	0
01/2/14	32,5	19,5	28,4	85	63	74	0
02/2/14	32,5	19,0	28,4	78	63	70	1
03/2/14	34,0	22,0	31,1	73	49	61	0
04/2/14	34,0	19,0	29,7	92	49	70	5
05/2/14	34,0	19,0	26,1	85	78	81	2
06/2/14	33,5	19,0	25,6	85	85	85	4
07/2/14	35,0	20,0	29,4	78	49	63	0
08/2/14	36,0	20,0	30,4	78	40	59	0
09/2/14	35,0	18,0	30,4	78	50	64	0
10/2/14	36,0	18,0	31,0	71	42	56	0

Fonte: EMBRAPA (2014)

As médias históricas entre os anos de 1997 a 2003 obtidas na estação meteorológica da EMBRAPA demonstram que as variáveis climáticas obtidas durante o período de coleta dos dados, são consideradas normais para a região nesta época do ano, o verão.

Valores semelhantes de temperatura, umidade relativa do ar para este mesmo período foram observados por outros autores (SANTOS, 2001; ABREU et al., 2007; TAVARES, 2012). O período foi marcado por acentuada variação das amplitudes térmicas ao longo do dia. Observou-se durante o período experimental a ocorrência de chuvas isoladas, principalmente no final da tarde, e em alguns dias no momento da coleta dos gases.

Acredita-se que a presença de água excessiva – chuva - possa ter influenciado nos valores reais das medições, devido ao excesso de umidade, entretanto não há relatos sobre tal influencia na literatura consultada.

4.2 Avaliação das variáveis físicas do ambiente

O conhecimento das variáveis físicas do ambiente e suas inter-relações possibilitam o entendimento de alguns resultados observados durante o desenvolvimento da pesquisa, uma vez que os cálculos seguintes são baseados nos gradientes de temperatura e umidade do ar do ambiente interno e externo da edificação.

4.2.1 Temperatura máxima, mínima e média do ar

Na Figura 24 pode-se observar a variação da temperatura média do ar ao longo do período do experimento. A temperatura média do ar para todo o período do experimento no interior e exterior da edificação está representada no gráfico abaixo:

Figura 24 - Valores médios de temperatura do ar no interior e exterior da edificação ao longo do período de coleta dos dados.

As temperaturas observadas são características da região no período de verão, porém a média está acima da faixa de conforto térmico dos animais na fase de crescimento e terminação para animais acima de 25 kg (entre 18 e 24 °C) (OLIVEIRA, 1999; PAIANO et al., 2007; KIEFER et al., 2010).

Para os valores mínimos, a diferença observada pode ser explicada pelo fato de que no intervalo entre 19h00 e 9h00, verifica-se que a temperatura no interior da edificação é superior à exterior e esta diferença de temperatura é atribuída à produção de calor pelos animais. A produção de calor se exprime sob duas formas: calor sensível e calor latente. O calor sensível contribui para a elevação da temperatura ambiental e o calor latente contribui para a elevação do vapor de água (OLIVEIRA, 1999).

Para os valores máximos, a diferença entre o interior e exterior mais acentuada, quando ocorrem os picos de calor (11h00 e 17h00), podemos observar o efeito da cobertura da edificação na redução da carga térmica de radiação incidente, minimizando o fluxo de calor no interior da edificação (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores médios, máximos e mínimos de temperatura do ar no interior e exterior da edificação ao longo do experimento.

Temperatura do ar (°C)					
Valores médios		Valores máximos		Valores mínimos	
Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo
27	26,8	33,80	35,30	22	21

4.2.2 Umidade relativa do ar (máxima, mínima e média)

Quanto à umidade relativa do ar, obteve-se a média de 90,26% (máxima 96,2 e mínima de 50,7 %) no exterior da edificação e 72,47% (máxima 90,29 e mínima de 48,473 %) em seu interior. A umidade relativa do ar no interior da edificação, na maior parte dos dias de produção esteve abaixo de 80%, o que é um bom indicador para o ambiente térmico da edificação segundo Oliveira (1999).

A Figura 25 apresenta a variação da umidade relativa do ar no interior e exterior da edificação. As médias internas e externas observadas foram 72,47 e 74,29%, respectivamente. A umidade relativa do ar no interior da edificação na maior parte dos dias de produção esteve abaixo de 80%, representando um bom indicador para o ambiente interno da edificação, segundo Oliveira (1999).

Figura 25 - Valores médios de umidade relativa do ar no ambiente interno e externo da edificação ao longo do período de coleta.

Na Figura 26 são apresentadas as condições de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (UR%) no interior e exterior da edificação durante todo o período de coleta, às 07h00, 09h00, 11h00, 13h00, 15h00, 17h00, 19h00, 21h00 e 23h00.

Figura 26 - Valores das médias horárias diárias observadas durante o período de coleta (13/01/2014 a 10/02/2014); para temperatura °C (a) e umidade relativa do ar UR% (b). No interior e exterior da edificação.

4.3 Desempenho zootécnico dos animais

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados do desempenho zootécnico dos animais durante o período experimental (verão).

Tabela 9 - Médias de desempenho zootécnico e consumo alimentar dos animais durante o período experimental

Alojamento	Abate	PMI	PMF	GPD	CR	CA
------(data)-----		------(kg)-----			(kg/suíno)	(kg/kg)
05/11/2013	07/02/2014	25.78	115	0.897	195	2.26

PMI – peso médio inicial; PMF – peso médio final; GPD – ganho médio diário; CR – consumo de ração; CA – conversão alimentar

Estes dados zootécnicos obtidos são considerados normais para suínos em fase de crescimento e terminação, e estão de acordo com os obtidos na literatura (RUIZ et al., 2008; BERTOL et al., 2010; SANCHES et al., 2010; GUINGAND et al., 2011).

O período experimental iniciou-se em 05/11/2013 com o alojamento dos leitões na granja e término em 07/02/2014. Entretanto o período de coleta dos dados foi concentrado nas fases de crescimento e terminação que corresponde ao período entre 13/01/2014 até 07/02/2014 com a saída dos animais.

As fases de crescimento e terminação foram as escolhidas para serem realizadas as coletas, pois nestas duas fases, ocorre o maior consumo de alimentos pelos animais e consequentemente maior excreção e emissão de gases (ROBIN et al., 2004; ADEME, 2010).

Os animais foram pesados no início do alojamento e no final no momento de abate. O peso dos animais durante o período de criação foi estimado por interpolação linear entre o primeiro e último dia de acordo com equação seguinte eq. (59), Robin et al. (2005).

$$PV_j = PV_{j_{inicial}} + \frac{(PV_{j_{final}} - PV_{j_{inicial}})}{(J_{final} - J_{inicial})} \times (J - J_{inicial}) \quad (59)$$

Em que PV_j é o peso vivo dos animais em (kg), J é o número do dia que se deseja estimar, $J_{inicial}$ é o dia de chegada dos animais na edificação, J_{final} é o dia de abate dos animais.

Como já era esperada, a curva de crescimento dos animais apresentou-se crescente. Os dados são semelhantes aos obtidos por Freitas (2005) (Figura 27).

Figura 27 - Peso dos animais (kg), durante os períodos de crescimento e engorda.

4.4 Consumo de alimentos

O consumo de ração foi fornecido pela empresa integradora no momento de abate dos animais. Além do consumo total de ração do lote, a empresa forneceu dados de consumo médio diário de outras granjas da região com características semelhantes à granja utilizada neste experimento.

—[A (Figura 28) apresenta o volume de ração consumida pelos suínos alojados na edificação ($\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), durante o manejo no ciclo de produção em função do tempo (semanas) de alojamento.

Figura 28 - Consumo médio de ração (kg de ração/suíno/dia), em função do tempo de alojamento.

Os valores de consumo de ração obtidos são semelhantes aos divulgados na literatura para suínos criados em condições similares (SOBESTIANSKY et al., 1998; KIEFER et al., 2011).

4.4.1 Caracterização bromatológica da ração consumida

Os resultados das análises bromatológicas da ração consumida pelos animais durante o período de criação são apresentados na Tabela 10. Foram tomadas duas amostras por semana para a realização das análises. Apresentamos as médias desses resultados:

Tabela 10 - Composição bromatológica da ração em função do tempo de alojamento.

Variável	Alojamento (semanas)	Média (g. kg⁻¹. ração)
Carbono	11	403
	12	418
	13	407
	14	400
Nitrogênio	11	32
	12	40.4
	13	34.4
	14	34.5
Fósforo	11	5.0
	12	5.9
	13	5.49
	14	5.89
Potássio	11	6.59
	12	7.29
	13	7.45
	14	7.47
Matéria seca (%)	11	88.23 %
	12	88.27 %
	13	88.53 %
	14	88.52 %

O carbono é um dos principais constituintes da ração, pois está presente na proteína, carboidratos e lipídios. Os teores de carbono mantiveram-se constantes ao longo do período analisado. Os valores obtidos são semelhantes aos de outros trabalhos (GALASSI et al., 2010; JARRET et al., 2012). O conhecimento do teor de carbono presente na ração é fundamental para a realização do balanço de massas, bem como estimar as perdas gasosas do elemento.

A ração consumida pelos animais na unidade de produção apresentaram médias de nitrogênio de 32, 40.4, 34.4 e 34.5 g. kg⁻¹. Os valores médios obtidos para o nitrogênio mostraram-se concordantes, quando comparados com os resultados

apresentados na literatura (MOREIRA et al., 2002; MARINHO et al., 2007). Segundo Philippe (2013), o conhecimento das concentrações de nitrogênio é fundamental para se compreender as emissões gasosas.

Para o elemento fósforo, as concentrações médias na ração foram de 5.0, 5.9, 5.49 e 5.89 g. kg⁻¹, respectivamente, para t=11, t=12, t=13 e t=14 semanas. Os valores obtidos para as concentrações médias de fósforo foram superiores, em geral, aos apresentados na literatura por diversos autores (MOREIRA et al., 2002; AMORIM et al., 2006, 2013; WESENDONCK et al., 2013).

Em relação ao potássio, as concentrações médias na ração foram de 6.59, 7.29, 7.45 e 7.47 g. kg⁻¹, para as semanas t=11, t=12, t=13 e t=14 respectivamente. Os valores obtidos para as concentrações médias de potássio também foram superiores aos dados apresentados por alguns autores (BRÊTAS et al., 2011; MYRIE et al., 2014).

Os valores médios obtidos para a matéria seca na ração foram de 88.23, 88.27, 88.53 e 88.52 %, para as semanas t=11, t=12, t=13 e t=14, respectivamente. O teor de matéria seca na ração indica a parte seca da ração. A partir do valor de matéria seca é possível determinar o volume de água que entra na edificação via ração. Os valores obtidos são concordantes com alguns autores (MOREIRA et al., 2002; MARINHO et al., 2007; BRÊTAS et al., 2011; AMORIM et al., 2013; MYRIE et al., 2014).

4.5 Produção de dejetos

O volume de dejetos produzidos na edificação foi estimado pela equação proposta por Tavares (2012). Os resultados médios obtidos são apresentados na Figura 29, para a produção de dejetos em função do tempo de alojamento (semanas).

Figura 29 - Evolução das produções médias de dejetos por semana

Os resultados apresentados mostram que os suínos produziram em média, 4,59, 4,83 e 4,94 $\text{L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ de dejeito, respectivamente, para $t=7$, $t=10$ e $t=14$ semanas. Os resultados obtidos para a produção média de dejetos foram inferiores quando comparados com os apresentados por outras pesquisas realizadas no Brasil (PERDOMO et al., 1999; NAGAE; DAMASCENO; OLIVEIRA, 2005; RICHARD, 2005; SINOTTI, 2005; GUSMÃO, 2008; DAL MAGO, 2009; GOMES et al., 2009; NARDI, 2009).

Ao analisar a Figura 29, é possível aferir que a produção de dejetos aumenta ao longo do ciclo de produção, apresentando a mesma tendência do consumo de água dos animais e do aumento de peso vivo (OLIVEIRA, 2002; GOULART, 1997; BRUMM, 2006; BABOT et al., 2011), o que é condizente com os resultados apresentados em pesquisas anteriores cujos valores variaram entre 1,83 e 4,8 $\text{L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ($t=2$ a $t=12$ semanas) (DALLA COSTA et al., 2004).

4.5.1 Caracterização Físico-Química dos dejetos

4.5.1.1 Sólidos Totais (ST), Voláteis (SV) e Fixos (SF)

A determinação das concentrações de sólidos é um dos principais indicadores da poluição que pode ser provocada pelos dejetos, assim como o seu grau de diluição. Tais concentrações apresentam, em geral, correlações diretas com os teores de material orgânico e dos principais nutrientes. Estes dados são muito

importantes para a determinação do balanço de massas (OLIVEIRA, 1993, 2004; SILVA, 1996; MEDRI, 1997; TAVARES, 2012; ANGNES, 2012).

Os dejetos produzidos apresentaram concentrações médias de ST de 75.14, 85.46, 91.38 e 100.58 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente, para $t=11$, $t=12$, $t=13$ e $t=14$ semanas. As concentrações crescentes observadas em função do tempo de alojamento foram também verificadas nos SV (48.58, 56.47, 60.56 e 71.37 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) e SF (26.56, 28.98, 30.82 e 29.2 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). Do total de ST presentes nos dejetos, aproximadamente, 70% eram SV, o que denota a elevada fração orgânica destes efluentes em relação à fração mineral. A Tabela 11 exibe as concentrações médias de Sólidos Totais, Voláteis e Fixos nos dejetos, em função do tempo de alojamento dos suínos.

Tabela 11 - Concentrações médias de Sólidos Totais (ST), Voláteis (SV) e Fixos (SF) nos dejetos em função do tempo de alojamento dos suínos

Variável	Alojamento (semanas) *	Média ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
ST	11	75.14
	12	85.46
	13	91.38
	14	100.58
SV	11	48.58
	12	56.47
	13	60.56
	14	71.37
SF	11	26.56
	12	28.98
	13	30.82
	14	29.2

* Semanas: T 11 compreende o período entre os dias 13/01 – 18/01/14; T12 período entre 19-01 – 25/01/14; T13 26/01 – 01/02/14 e T14 02/01 – 07/02/14

Os valores médios obtidos para as concentrações de ST e SV mostraram-se, em geral, superiores aos apresentados em outras pesquisas (PERDOMO, 1996; SILVA, 1996; MEDRI, 1997; SINOTTI, 2005; GOMES et al., 2009). No entanto, resultados apresentados na literatura (KONZEN, 1980; FERREIRA et al., 2006; DAL MAGO, 2009; NARDI, 2009; BABOT et al., 2011) apresentam-se concordantes e mesmo superiores às concentrações obtidas na presente pesquisa.

4.5.1.2 Nitrogênio total e Amoniacal (N-NH_4^+)

O conhecimento dos valores médios de nitrogênio total (NT) presentes nos dejetos é fundamental para o correto manejo dos efluentes nas unidades de produção, tanto na valorização agronômica como num potencial risco de poluição e eutrofização dos mananciais de água e perdas por volatilização (OLIVEIRA, 2004). Na Europa, por exemplo, o nitrogênio é fator limitante para a valorização agronômica dos dejetos através da aplicação no solo, com um limite máximo de $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (EUROPEAN UNION, 1991).

A Tabela 12 apresenta as concentrações médias do Nitrogênio Total e Amoniacal nos dejetos, em função do equipamento instalado e do tempo de alojamento dos suínos.

Tabela 12 - Concentrações médias do nitrogênio total (NT) e nitrogênio amoniacal (NH_4^+) dos dejetos, na matéria original, em função do tempo de alojamento dos suínos

Variável	Alojamento (semanas)	Média (mg. L^{-1})
NT (mg. L^{-1})	11	7.082
	12	5.365
	13	5.358
	14	6.781
N-NH₄⁺	11	3.596
	12	2.479
	13	2.518
	14	2.849

Assim como para todas as variáveis físico-químicas já apresentadas, os valores médios das concentrações de NT e N-NH₄⁺ apresentaram, também, uma tendência de aumento ao longo do tempo de alojamento. Os resultados obtidos em função do tempo de alojamento foram semelhantes aos obtidos em pesquisas de Konzen (1980) e alguns resultados apresentados por Ferreira et al. (2006) e Nardi (2009).

Embora o teor de proteína bruta fornecida na ração dos suínos tenha apresentado uma tendência decrescente ao longo do ciclo de produção, as

concentrações de NT apresentaram uma tendência inversa. Este comportamento pode ser justificado pelo fato dos suínos perderem a capacidade de assimilação deste nutriente (crescimento muscular menor) e aumentarem a taxa de excreção pelas fezes e urina.

4.5.1.3 Fósforo total

Na Tabela 13 são apresentadas as concentrações médias do Fósforo Total nos dejetos, em função do tempo de alojamento dos suínos.

Tabela 13 - Concentrações médias do Fósforo Total nos dejetos, em função do tempo de alojamento dos suínos

Alojamento (semanas)	Média (mg. L ⁻¹)
11	2.460
12	4.000
13	4.160
14	4.040

Os valores obtidos para as concentrações médias de fósforo total (PT) foram superiores, em geral, aos apresentados na literatura por diversos autores (PERDOMO, 1996; MEDRI, 1997; NAGAE; DAMASCENO; RICHARD, 2005; SINOTTI, 2005).

Tal como foi referido para o nitrogênio, o conhecimento das concentrações de fósforo total nas unidades de produção é fundamental para o correto manejo dos efluentes nas unidades de produção, tanto na valorização agronômica como num potencial risco de poluição e eutrofização dos mananciais de água.

4.5.1.4 Potássio (K)

Os dejetos produzidos nas unidades de produção avaliadas apresentaram concentrações médias de K de 2.308, 2.409, 2.680 e 3.180 mg·L⁻¹ para t=11, t=12, t=13 e t=14 semanas, respectivamente.

Os valores médios obtidos para o potássio (K) mostraram-se concordantes ou superiores, respectivamente, quando comparados com os resultados apresentados na literatura (Tabela 20) (PERDOMO, 1996; FERREIRA et al., 2006). Destacam-se

os resultados dos autores anteriores evidenciando os problemas associados às amostragens pontuais dos dejetos nas unidades de produção de suínos e aos desvios que poderão ser observados.

Na Tabela 14 são apresentadas as concentrações médias de potássio nos dejetos, em função do tempo de alojamento dos suínos.

Tabela 14 - Concentrações médias de potássio nos dejetos em função do tempo de alojamento de suínos

Alojamento (semanas)	Média (mg. L⁻¹)
11	2.308
12	2.409
13	2.680
14	3.180

O potássio mostrou uma tendência crescente nas suas concentrações médias no período avaliado. O comportamento referido pode estar relacionado ao aumento de temperatura observado nas últimas semanas de coleta. O estresse térmico provoca um aumento na excreção do potássio (BELAY; TEETER, 1996) e, conseqüentemente pode haver uma redução na retenção corporal de K, afetando assim as concentrações deste elemento nos dejetos (SMITH; TEETER, 1987; SALVADOR et al., 1998).

4.6 Balanço de massa

Com base nos dados das composições químicas da ração e dejetos juntamente à estimativa de retenção corporal dos nutrientes e elementos nos corpos dos suínos, o balanço de massa foi realizado considerando o período de coleta de dados 13/01/2014 até 07/02/2014.

4.6.1 Balanço da massa da água

Os resultados apresentados mostram que os suínos consumiram em média, 9.81, 9.89, 9.95 e 10.0 litros de água por suíno dia, nas semanas t=11, t=12, t=13 e t=14, respectivamente. A fórmula utilizada para estimar o consumo de água proposta

por Tavares (2012) fornece os dados em consumo médio de água por semana (Tabela 15).

O consumo total de água corresponde ao volume de água ingerida pelos animais além dos desperdícios nos bebedouros, água utilizada para limpeza e água utilizada para resfriamento dos animais nos horários de picos de calor.

Tabela 15 - Consumo médio de água em função do período de alojamento

Alojamento (semanas)	Consumo total de água (L·suíno⁻¹·d⁻¹)
11	8.34
12	8.41
13	8.46
14	8.50

Os resultados obtidos para o consumo médio de água quando comparados com os valores de pesquisas, mostram-se superiores à maioria dos dados indicados para pesquisas realizadas em salas com ambiente controlado (CORDEIRO, 2003; PALHARES; GAVA; LIMA, 2009) e inferiores ou semelhantes para consumos avaliados em unidades comerciais (NAGAE; DAMASCENO; RICHARD, 2005; OLIVEIRA et al., 2006; GOMES et al., 2009; NARDI, 2009).

A diferença observada pode ser explicada, principalmente, pelo manejo adotado pelos produtores, pelo tipo de equipamento instalado para a dessedentação animal e seu desperdício e pelas condições ambientais na região da produção (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; THACKER, 2001; BRUMM, 2006; PALHARES, 2011).

Na Tabela 16 são apresentados os dados referentes ao balanço de massa realizado para a água.

Tabela 16 - Balanço geral da água estimado na edificação referente ao período experimental

Água	Entrada (kg)	Saída (kg)
Água ingerida	37.114.00	-----
Água do alimento	1.157.00	-----
Água metabólica	2.352.00	-----
Água corporal retida	7.734.00	-----
Água no dejetto	-----	17.260.00
Água evaporada	-----	26.154.00
Água corporal retida	-----	10.223.00
Balanço de água (Entrada – Saída)		Déficit: ≠ 5.280.00

O resultado médio obtido para a água evaporada é inferior aos resultados apresentados por Oliveira (1999). A entrada de água na edificação se mostrou inferior às saídas, isso pode ser um indicativo de erros de amostragem, da ração, dejetto, das variáveis físicas do ambiente entre outras. A metodologia simplificada admite um erro máximo para o balanço de água de até 10%. Os resultados indicam que houve uma maior emissão, ou seja, saída de água da edificação na forma de vapor, quando comparado com a entrada. Podemos considerar um déficit de 5, 280,00 kg de água.

Na Figura 30 estão apresentados os dados do balanço de massa da água em porcentagem e o erro amostral.

Figura 30 - Balanço de massa da água realizado durante o período experimental em (%).

4.6.2 Balanço geral do nitrogênio

Na Tabela 17 estão apresentados os valores médios obtidos para o balanço de nitrogênio.

Tabela 17 - Balanço do nitrogênio

Nitrogênio	Entrada	Saída
Nitrogênio do alimento	355	-----
Nitrogênio retido no corpo dos animais	296	-----
Nitrogênio no dejetos	-----	112.95
Nitrogênio retido no corpo dos suínos	-----	405
Perdas gasosas (NH ₃ , N ₂ O)	-----	-----
Volatilização do N ₂ (molecular)	-----	-----
Balanço geral do nitrogênio (Entrada – Saída)		Déficit: ≠ 133.05 (kg)

O nitrogênio é um elemento volátil nas formas moleculares N₂, N₂O e NH₃, essas formas do nitrogênio correspondem às maiores perdas do elemento para a atmosfera. O balanço de massa do nitrogênio carbono foi realizado para verificar a coerência dos dados obtidos pelos métodos contínuos e simplificados e se os valores de emissão são condizentes.

O nitrogênio que entrou na unidade de produção contido no alimento e retido no corpo dos animais corresponde a 651 kg. Enquanto que as saídas de nitrogênio ocorreram nas formas de dejetos e carbono retido no corpo dos animais totalizando 517.95 kg. O balanço geral de nitrogênio (entrada – saída) indicou uma diferença de 133,5 kg de nitrogênio; essa diferença corresponde ao nitrogênio perdido para a atmosfera na forma gasosa. Pelo exposto, podemos considerar que as emissões gasosas de nitrogênio na forma de N₂, N₂O e NH₃ foram de 133,5 kg. Na Figura 31 estão apresentados os dados do balanço de massa do elemento nitrogênio em porcentagem e o erro amostral.

Figura 31 - Balanço de massa do nitrogênio realizado durante o período experimental em (%).

O erro representa as perdas de nitrogênio na forma gasosa (NH_3 , N_2O e N_2), com atenção especial ao nitrogênio molecular N_2 , que representa aproximadamente 50% de todo o nitrogênio volátil. A forma de nitrogênio molecular não é detectada pelo equipamento de análise.

4.6.3 Balanço geral do carbono

Na Tabela 18 estão apresentados os valores médios obtidos para o balanço de carbono.

Tabela 18 - Balanço do carbono

Carbono	Entrada	Saída
Carbono do alimento	4.103.00	-----
Carbono retido no corpo do suíno	2.464.00	-----
Carbono no dejetos	-----	616.52
Carbono retido no corpo dos suínos	-----	3.082.00
Perdas gasosas (CO_2 , CH_4)	-----	-----
Balanço geral do carbono (Entrada – Saída)		Déficit: ≠ 2868.48 (kg)

O carbono é considerado um elemento volátil quando nas formas de CH_4 e CO_2 , desta forma boa parte do carbono que entra na unidade de produção é perdida para a atmosfera na forma de gases.

O balanço de massa de carbono foi realizado para verificar a coerência dos dados obtidos pelos métodos contínuos e simplificados, se os valores de emissão são condizentes. O carbono que entrou na unidade de produção na forma de alimento e retido no corpo dos animais totalizou 6,567 kg de carbono durante todo o período experimental. Enquanto que as saídas de carbono ocorreram nas formas de dejetos e carbono retido no corpo dos animais totalizando 3,698.58 kg.

O balanço geral de carbono (entrada – saída) indicou uma diferença de 2,868.48 kg de carbono; essa diferença, corresponde ao carbono perdido para a atmosfera sob a forma gasosa. Pelo exposto, podemos considerar que as emissões gasosas de carbono na forma de CH_4 e CO_2 foram de 2,868.48 kg.

Na Figura 32 estão apresentados os dados do balanço de massa do elemento carbono em porcentagem e o erro amostral.

Figura 32 - Balanço de massa do carbono realizado durante o período experimental em (%).

O erro representa as perdas de carbono na forma gasosa (CO_2 , CH_4), obteve-se uma perda de 35% de carbono na forma gasosa. Estas perdas são validadas por meio da comparação com as medições dos gases, obtidas pelo equipamento INNOVA.

4.6.3 Balanço do potássio

Na Tabela 19 estão apresentados os valores médios obtidos para o potássio, os quais se mostraram concordantes ou superiores, respectivamente, quando comparados com os resultados apresentados na literatura (PERDOMO, 1996; FERREIRA et al., 2006).

Tabela 19 - Balanço do potássio

Potássio	Entrada	Saída
Potássio no alimento	64.17	-----
Potássio retido no corpo do suíno	27.58	-----
Potássio no dejetos	-----	62.05
Potássio retido no corpo dos suínos	-----	33.38
Balanço geral do potássio (Entrada – Saída)		Déficit: ≠ 3.68(kg)

O elemento potássio é considerado um elemento fixo, ou seja, se mantém constante desde sua entrada até a saída do processo. O balanço de massa realizado para o potássio tem por objetivo avaliar se há perdas de líquido por meio da percolação e se a composição da ração é bem conhecida. Os resultados mostram que houve uma diferença de 3.68 kg de na saída em relação à entrada de potássio, a diferença foi de 3,85%, valor considerado aceito devido aos erros de amostragem considerados aceitáveis. O balanço de massa para o elemento potássio considera aceitável uma diferença de até 5%.

Na Figura 33 estão apresentados os dados do balanço de massa do elemento potássio em porcentagem e o erro amostral.

Figura 33 - Balanço de massa do potássio realizado durante o período experimental em (%).

Pelo exposto, podemos considerar que o balanço de massa “fechou”, ou seja, a massa de potássio que entrou na edificação foi à mesma que saiu, com pequenas perdas, indicando algum erro na amostragem do dejetos e ração, bem como, possíveis perdas do elemento por percolação dos líquidos.

4.6.4 Balanço do fósforo

Na Tabela 20 estão apresentados os valores médios obtidos para o fósforo mostraram-se concordantes ou superiores, respectivamente, quando comparados com os resultados apresentados na literatura (PERDOMO, 1996; FERREIRA et al., 2006).

Tabela 20 - Balanço do fósforo

Fósforo	Entrada	Saída
Fósforo do alimento	56.22	-----
Fósforo retido no corpo do suíno	65.30	-----
Fósforo no dejetos	-----	45.21
Fósforo retido no corpo dos suínos	-----	81.66
Balanço geral do fósforo (Entrada – Saída)		Déficit: ≠ 5.35 (kg)

O elemento potássio é considerado um elemento fixo, ou seja, não é volátil e se mantém constante desde sua entrada até a saída do processo. O balanço de massa realizado para o potássio tem por objetivo avaliar se as amostragens da ração e dejetos foram realizadas de forma representativa e se a sua composição é bem conhecida.

Os resultados obtidos demonstram que houve uma diferença no balanço de potássio de 6.35 kg indicando que saiu mais potássio do que entrou, neste caso, dizemos que o balanço de massa para o potássio não fechou. Entretanto, quando consideramos que durante o processo de amostragem, transporte e análise das amostras de dejetos e ração existem erros, que somados podem ao final do processo com uma margem de erro aceitável.

De acordo com os químicos responsáveis pelo laboratório que realizou as análises, o erro laboratorial é estimado em até 14% dependendo do tipo de amostra, esse percentual também é citado e referido por Oliveira et al. (2010). Este erro é decorrente de vários fatores, desde a incorreta homogeneização da amostra até erros na calibração dos equipamentos utilizados na análise.

Pelo supracitado consideramos um erro admissível para o potássio de até 10 %, entre a entrada e a saída do balanço de massa. Desta forma podemos dizer que o balanço para potássio fechou, porém com uma diferença de aproximadamente 4%. Isso indica algumas falhas no processo de amostragem do dejetos, ração ou ambos. Estas falhas estão relacionadas principalmente ao número de subamostras coletadas, número insuficiente de dias de coleta, uma possível contaminação das amostras, dentre outros.

Na Figura 34 estão apresentados os dados do balanço de massa do elemento fósforo em porcentagem e o erro amostral.

Figura 34 – Balanço de massa do fósforo realizado durante o período experimental em (%).

4.7 Produção de gases na unidade estudada

4.7.1 Concentração dos gases pelo método simplificado

Na Tabela 21 estão apresentados os dados médios das concentrações de CO₂, CH₄, NO₂, NH₃ e H₂O (ppm) no interior e exterior da edificação no período da manhã (09h00 – 10h00).

Tabela 21 - Dados médios, máximos, mínimos e desvios-padrões das concentrações de gases (ppm) e vapor de água (mg.h⁻¹) na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação em (suíno/h), pelo método simplificado, no período matutino (09h00 – 10h00).

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NH ₃	H ₂ O (g/m ³)
	------(ppm)-----				
	Interno				
Média	847.07 ^a	25.83 ^a	0.44 ^a	7.26 ^a	19.68 ^b
Máximo	891.72	32.47	0.52	9.33	21.04
Mínimo	809.56	21.15	0.40	6.42	18.28
DP (±)	26.16	3.61	0.03	0.82	0.90
CV (%)	3.09	13.99	8.45	11.31	4.60
	Externo				
Média	601.09 ^b	26.67 ^a	0.46 ^a	4.33 ^b	19.61 ^a
Máximo	632.20	32.34	0.53	4.78	21.40
Mínimo	563.44	22.66	0.41	3.82	17.57
DP (±)	23.56	3.27	0.04	0.34	1.16
CV (%)	3.92	12.29	9.32	7.97	5.92

CO₂ – dióxido de carbono; CH₄ – metano; N₂O – óxido nitroso; NH₃ – amônia; H₂O – vapor de água; DP – desvio padrão; CV (%) – coeficiente de variação

Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste T - Student (P>0,05)

No ambiente interno, a concentração média observada de CO₂ foi de 847.07 ± 26.16 ppm, apresentando uma diferença significativa (P<0.05) em relação ao ambiente externo onde foi observada uma média de 601.19 ± 23.56 ppm. Esses valores estão de acordo com os encontrados por Robin et al. (2010) e Guingand et al. (2011).

A produção de dióxido de carbono é resultado do metabolismo energético dos animais que é expelido via respiração, pelo fato de o dióxido de carbono ser um gás mais denso que os demais, tende a permanecer por mais tempo no interior da

edificação, principalmente ao nível da cabeça dos animais. Por isso as concentrações internas de dióxido de carbono são mais elevadas no interior da edificação quando comparado com o exterior.

Observa-se também que as concentrações de CO₂ no interior e exterior da edificação não ultrapassaram a 900 ppm durante o período de produção dos suínos. Este gás pode ser usado como padrão de comparação, e também como parâmetro determinante nas taxas mínimas de ventilação. Segundo recomendações de diferentes autores, a máxima concentração de CO₂ no interior das edificações deve se situar abaixo de 3.000 ppm (ROBIN et al., 2006).

Quanto ao gás metano, a concentração média foi de 25.83 ± 3.61 e 26.67 ± 3.27 ppm no ambiente interno e externo, respectivamente. Os valores encontrados são superiores aos obtidos por Robin et al. (2010) e Guingand et al. (2011), encontrados em sistemas de produção de suínos. Os resultados indicam uma maior concentração do CH₄ no exterior da edificação, fato que pode estar relacionado à presença das canaletas de escoamento dos dejetos, localizadas no lado externo da edificação e abertas. Durante as coletas foi observado um forte odor de matéria orgânica em decomposição devido ao acúmulo de dejetos nas mesmas. Esse dejetos quando permanece por um tempo prolongado pode ocasionar uma condição de anaerobiose e conseqüentemente a emissão de metano.

Os valores para o óxido nitroso observados foram de $0,44 \pm 0,03$ ppm no ambiente interno e $0,46 \pm 0,04$ no ambiente externo. Os baixos valores encontrados para este gás devem-se à edificação suinícola estudada localizar-se distante da área de lavouras ou pastagem, na qual o produtor utiliza adubação orgânica, ou seja, as contribuições de N₂O geradas não interferem no ambiente interno de criação dos suínos, podendo ser considerado baixo.

Para a amônia observou-se diferenças significativas ($P < 0,05$) no interior e exterior da edificação, com valores médios de $7.26 \pm 0,82$ e 4.33 ± 0.34 ppm para o ambiente interno e externo, respectivamente. Isso ocorre pelo fato de que nos dejetos líquidos (urina e fezes) o nitrogênio presente na urina é rapidamente convertido em nitrogênio amoniacal (OLIVEIRA, 1999) e, como no interior da instalação ocorre acúmulo de dejetos, é esperado que as concentrações de amônia sejam superiores ao ambiente externo. Os resultados encontrados para o NH₃ (menores que 5 ppm) por Sampaio e Nääs (2012), para a fase de verão, são semelhantes aos encontrados neste trabalho.

As diferenças entre as concentrações de H_2O no interior e exterior da edificação foram significativas ($P < 0,05$) com valores médios de concentração de 19.68 ± 0.90 e 19.61 ± 1.16 g. m^3 no ambiente interno e externo, respectivamente. A proximidade entre esses valores está relacionada com o tipo de edificação estudada, que por ser aberta permite maior influência das características das concentrações de umidade nas massas de ar do meio externo sobre o ambiente interno. Na Tabela 22 são apresentadas as concentrações médias em ppm no período da tarde (13h00 – 14h00).

Tabela 22 - Dados médios, máximos, mínimos, desvio-padrão e coeficiente de variação das concentrações de gases (ppm) e vapor de água (g/m^3), obtidos pelo método simplificado no período vespertino (13h00 – 14h00).

	CO_2	CH_4	N_2O	NH_3	H_2O (g/m^3)
	----- (ppm) -----				
	Interno				
Média	808.61 ^a	29.17 ^a	0.48 ^a	7.59 ^a	19.70 ^a
Máximo	867.60	36.67	0.59	8.62	21.67
Mínimo	745.04	17.51	0.38	6.00	17.27
DP ($\pm$)	43.19	5.84	0.07	0.94	1.31
CV (%)	5.34	20.04	14.31	12.44	6.70
	Externo				
Média	577.85 ^b	29.16 ^b	0.50 ^a	4.45 ^b	19.05 ^b
Máximo	604.62	37.52	0.61	5.12	20.78
Mínimo	535.18	19.72	0.39	3.19	15.13
DP ($\pm$)	23.47	5.71	0.07	0.57	1.56
CV (%)	4.06	19.60	15.58	12.88	8.20

CO_2 – dióxido de carbono; CH_4 – metano; N_2O – óxido nitroso; NH_3 – amônia; H_2O – vapor de água; DP – desvio padrão; CV (%) – coeficiente de variação. Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste T - Student ($P > 0,05$)

Entretanto, estes valores são inferiores quando comparados às médias obtidas no período da manhã, no interior e exterior da edificação.

A concentração de água no ar também se mostrou inferior em relação ao período da manhã, com médias de 19.70 ± 1.31 e 19.05 ± 1.56 g. m^3 para o ambiente interno e externo, respectivamente.

Quanto às concentrações de metano, o período vespertino se apresentou superior ao matutino com concentrações médias de 29.14 ± 5.84 e 29.16 ± 5.71 ppm no interior e exterior da edificação e superiores aos dados apresentados por Lagadec et al. (2013).

As médias para o óxido nitroso no período vespertino também foi superior ao matutino, com médias de 0.48 ± 0.07 e 0.50 ± 0.07 ppm no interior e exterior respectivamente. A concentração de amônia no período vespertino também foi superior, com médias de 7.59 ± 0.94 e 4.45 ± 0.57 ppm no interior e exterior, respectivamente.

Os resultados obtidos para a produção de gases na unidade de produção estudada são apresentados em seguida, em função da concentração obtida em (ppm) durante o período observado. Os gráficos a seguir mostram os resultados médios encontrados para as concentrações de gases observadas nos ambientes interno e externo da edificação nos períodos matutino e vespertino.

Na Figura 35 são apresentados os valores médios diários das concentrações médias de CO₂ observadas no ambiente interno e externo da edificação, no período da manhã e tarde.

Figura 35 - Concentrações médias de CO₂ em (ppm) no ambiente interno e externo da edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).

Pode-se observar pelos gráficos anteriores que as maiores concentrações de CO₂ foram registradas no ambiente interno durante todo o período de coleta. Essa condição está diretamente relacionada ao metabolismo dos suínos, que libera

dióxido de carbono proveniente da respiração. Os dados obtidos são superiores aos trabalhos desenvolvidos por Kermarrec (2000), Robin et al. (2011)

Este gás pode ser usado como parâmetro para determinar as taxas mínimas de ventilação. Algumas recomendações para a segurança de trabalhadores propostas por alguns autores é que a máxima concentração de CO_2 no interior das edificações, não ultrapasse níveis de 3.000 ppm (NI et al., 2000). Os valores obtidos encontram-se bem abaixo dos valores recomendados.

Na Figura 36 são apresentadas as concentrações médias do CH_4 observadas no interior e exterior da edificação.

Figura 36 - Concentrações médias do CH_4 observadas no ambiente interno e externo da edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).

As maiores concentrações de CH_4 observadas no exterior da edificação se deve ao fato das canaletas de escoamento dos dejetos, localizadas no lado externo, propiciarem uma condição de anaerobiose, desta forma pode ocorrer maior formação de CH_4 pela decomposição dos dejetos presente nas mesmas. Concentrações acima de 1.000 ppm de CH_4 podem provocar cefaleias nos seres humanos (LIMA; NONES; PERDOMO, 2001; FELIX; CARDOSO, 2004) porém as médias observadas estão bem abaixo dos níveis supracitados.

Na Figura 37 são apresentadas as concentrações médias do NH_3 observadas no ambiente interno e externo da edificação.

Figura 37 - Concentrações médias do NH_3 observadas no ambiente interno e externo da edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).

A amônia é formada a partir da decomposição microbiana de compostos nitrogenados presentes nos dejetos animais, principalmente na presença de ventilação. A proporção de nitrogênio orgânico e amoniacal nos dejetos suínos varia em função do seu estado de decomposição, encontrando-se na forma de 1:1 para um dejetos logo após a sua excreção, de 1:3 em dejetos com mais de 3 dias de estocagem. Entretanto, após a mistura entre fezes e urinas (dejetos líquidos), o nitrogênio presente na urina é transformado rapidamente em nitrogênio amoniacal (OLIVEIRA, 2002). Essa rápida degradação da ureia presente na urina dos animais pode explicar a maior concentração de amônia no interior da edificação quando comparada com o exterior.

A amônia é perceptível ao ser humano em concentrações superiores a 5 ppm; em concentrações acima de 25 ppm podem ser irritantes aos olhos humanos e dos animais, pele e trato respiratório (PHILIPPE, 2012).

Na Figura 38 são apresentadas as concentrações médias de N_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação.

Figura 38 - Concentrações médias do N_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).

O N_2O é gerado durante as transformações biológicas de nitrogênio mineral: nitrificação, que converte amônio (NH_4^+) em nitrato (NO_3^-), e a desnitrificação que reduz o NO_3^- a nitrogênio molecular (N_2) (VERGÉ et al., 2009).

Na Figura 39 são apresentadas as concentrações médias de H_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação.

Figura 39 - Concentrações médias do H_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação; a) manhã (9h00 – 10h00), b) tarde (13h00 – 14h00).

Em relação às concentrações de água houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre o interior e exterior apenas no período vespertino. A concentração de H_2O no

ar interior da edificação pode ser explicada pela presença dos animais e o efeito da respiração que ocasiona a liberação de vapor de água, além da evaporação da água presente no chão, oriunda dos bebedouros além de urina e fezes dos animais. Em relação às concentrações de água no ar, nota-se um aumento linear ao longo do período experimental.

4.7.2 Concentração dos gases pelo método contínuo

Na Tabela 23 são apresentados os valores médios da concentração de gases (ppm) e o vapor de água (mg. h^{-1}) observados no interior e exterior da edificação pelo método contínuo, durante a fase de crescimento e terminação de suínos.

Tabela 23 - Dados médios, máximos, mínimos e desvios-padrões das concentrações de gases (ppm) e vapor d'água (mg.h^{-1}) na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação em (suíno/h), pelo método contínuo.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NH ₃	H ₂ O
	----- (ppm) -----				(mg/hora)
Interno					
Média	771,19 ^a	17,42 ^a	0,46 ^a	5,37 ^a	17,90 ^b
Máximo	813,37	22,20	0.53	5,66	20,30
Mínimo	675,97	16,95	0.42	5,08	14,00
DP (±)	54,84	2,22	0,03	0,19	1,57
Externo					
Média	538,41 ^b	12,95 ^b	0,40 ^b	0,44 ^b	19,34 ^a
Máximo	560,24	17,19	0.48	0,64	20,50
Mínimo	522,31	7,91	0.35	0.32	17,25
DP (±)	19,49	4,42	0.05	0,11	1,32

CO₂ – dióxido de carbono; CH₄ – metano; N₂O – óxido nitroso; NH₃ – amônia; H₂O – vapor de água; DP – desvio padrão

Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste T - Student ($P>0,05$)

No ambiente interno a concentração média observada de CO₂ foi de 800 ± 46 ppm e no ambiente externo a média encontrada foi de 570 ± 30 ppm (Tabela 3).

Estes valores estão de acordo com os encontrados por Robin et al. (2010) e Guingand et al. 2011.

Observa-se também que as concentrações de CO_2 no interior e exterior da edificação não ultrapassaram a 900 ppm durante o período de produção dos suínos. Este gás pode ser usado como padrão de comparação, e também como parâmetro determinante nas taxas mínimas de ventilação. Segundo recomendações de diferentes autores, a máxima concentração de CO_2 no interior das edificações deve situar-se abaixo de 3.000 ppm (ROBIN et al., 2006).

Com os dados de concentração de gases observados e as características psicrométricas do ar, interno e externo, determinou-se o fluxo de gás no interior da edificação estudada, com intuito de obter esta variável produtiva em gramas de gás geradas por suíno diariamente em função do ganho de peso destes animais. Tais valores foram gerados a partir da modelagem matemática usando os modelos propostos por ROBIN et al. (2010).

Nas Figuras 40 a 44 são apresentados os valores médios obtidos em ppm para o CO_2 , CH_4 , NH_3 , N_2O e H_2O pelo método contínuo, no interioração.

Figura 40 - Variação das concentrações médias diárias de CO_2 observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo.

Figura 41 - Concentrações médias diárias do CH_4 observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo de medição.

Figura 42 - Concentrações médias diárias do NH_3 observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo de medição.

Figura 43 - Concentrações médias diárias do N_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo de medição.

Figura 44 - Concentrações médias diárias do H_2O observadas no ambiente interno e externo da edificação pelo método contínuo de medição.

4.7.3 Estimativa da vazão do ar pelo calor total, latente e velocidade do ar

Baseado no princípio de dissipação do calor do corpo dos animais pelos processos convectivos, algumas metodologias para estimar a vazão de ar pela perda de calor foram criadas. Utilizamos para este trabalho as duas metodologias para estimativa da vazão do ar por meio da produção de calor total e latente, além disso, utilizamos a vazão pelo anemômetro.

Na Figura 45 são apresentadas as vazões do ar obtidas por modelos teóricos de calor total e latente e medidos pelo anemômetro. Os resultados apresentados são referentes às médias diárias do período da manhã (09h00 – 10h00).

Figura 45 - Estimativa da vazão de ar na edificação pelo calor total, latente e pelo anemômetro no período da manhã (09h00 – 10h00).

Em relação aos valores de vazão do ar obtidos pelo calor total e latente, estes não apresentam diferenças estatísticas significativas entre si, entretanto há diferenças em percentagem entre as vazões calculadas pelas duas formas de calor, as quais apresentaram diferenças médias de 25 a 58%. Os dados são semelhantes aos obtidos por Pedersen et al. (1998).

Na Figura 46 são apresentadas as vazões do ar obtidas pelos modelos teóricos de calor total e latente e medidas pelo anemômetro. Os resultados apresentados são referentes às médias diárias do período da tarde (13h00 – 14h00).

Figura 46 - Estimativa da vazão de ar na edificação pelo calor total, latente e pelo anemômetro no período da manhã (13h00 – 14h00).

Na Figura 42 são apresentadas as vazões do ar obtidas por modelos teóricos de calor total e latente e medidas pelo anemômetro. Os resultados apresentados são referentes às médias diárias do período experimental.

Figura 47 - Estimativa da vazão de ar na edificação pelo calor total, latente e pelo anemômetro, os dados são as médias diárias de todo o período experimental.

4.7.4 Emissão de amônia e gases de efeito estufa

Com os dados de concentração de gases observados e as características psicrométricas do ar, interno e externo, determinou-se o fluxo de gás no interior da edificação estudada, com intuito de obter esta variável em gramas de gás geradas por suíno diariamente em função do ganho de peso destes animais. Tais valores foram gerados a partir da modelagem matemática usando o método de medições contínuo e modelo simplificado proposto por Robin et al. (2010).

4.7.4.1 Fluxo de emissão pelo método simplificado

Na Tabela 24 são apresentados os fluxos médios de C-CO₂, C-CH₄, N-NH₃, N-N₂O e H₂O (g. suíno. hora), estimados pelo calor total, latente e anemômetro.

Tabela 24 - Dados médios, máximos, mínimos e desvios-padrões do fluxo de gases e vapor d'água em (g. suíno. dia⁻¹) na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação, pelo método simplificado.

Número de Observações	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	NH ₃	H ₂ O
	----- (g/suíno/dia) -----				
13/01/14	1.908	0.18	4.67	8.00	386
15/01/14	3.533	0.24	10.80	16.00	5.040
17/01/14	2.523	0.23	3.69	16.00	907
20/01/14	1.563	0.05	6.65	9.00	5.806
22/01/14	1.670	0.10	1.87	7.65	427
24/01/14	1.999	0.23	0.90	8.57	1.879
27/01/14	5.467	0.50	2.83	28.67	11.637
29/01/14	1.229	0.13	2.03	4.26	748
31/01/14	1.385	0.08	4.75	8.49	2.205
03/01/14	4.284	0.76	2.55	24.49	1.881
05/02/14	2.954	0.45	6.20	16.04	900
07/02/14	3.755	0.56	5.63	14.22	7.460
Média	2.689	0.30	4.39	13.55	3.273
Máximo	5.467	0.76	10.82	28.67	11.637
Mínimo	1.229	0.05	0.9	4.26	386
DP (±)	1.328	0.22	2.72	7.35	3.517

A emissão de dióxido de carbono média observada foi de 2,689 g suíno dia, as principais origens do dióxido de carbono na edificação consideradas são a respiração dos animais e a fermentação dos dejetos presentes no chão.

A média das emissões de amônia obtida pelo método simplificado foi de 13,55 g. suíno⁻¹. dia⁻¹, dados semelhantes foram obtidos por (ROBIN et al., 1998; FERNANDEZ et al., 1999; NICHOLSON et al., 2000; GUINGAND, 2003).

A média de emissão para o N₂O foi de 0,30 g. suíno⁻¹. dia⁻¹, estes dados foram inferiores aos encontrados por Robin et al. (1999) com emissões de 8 gramas por suíno. Em sistemas com piso ripado, os valores de óxido nitroso variaram entre 0,17 a 2,26 g por suíno or dia (OSADA et al., 1998; ROBIN et al., 1998). Em relação ao metano, o valor médio obtido foi de 4,39 g por suíno por dia. Os dados apresentados na literatura apresentam consideráveis variações, a partir de 2 a 30g por suíno dia (GALLMANN et al., 2003; GUARINO et al., 2003; HAEUSSERMANN et al., 2006).

O vapor de água produzido por suíno foi de 3,273 g, valor considerado alto, quando comparados a obtidos por outros autores (CIGR, 2002). O período experimental teve como características elevadas médias diárias para temperatura, isso favoreceu a perda de água pela respiração dos animais, bem como, a evaporação da água presente nos dejetos.

Os dados obtidos para a emissão da fração C e N de cada uma das espécies químicas gasosas são descritas na Tabela 25 em valores médios de C-CO₂, C-CH₄, N-NH₃, N-N₂O e H₂O (g. suíno. hora), estimados pelo calor total, latente e anemômetro.

Tabela 25 - Comparação dos fluxos médios de C-CO₂, C-CH₄, N-NH₃, N-N₂O e H₂O (g. suíno. hora), estimados pelo calor total, latente e anemômetro para o método simplificado.

Calor	C-CO₂	C-CH₄	N-NH₃	N-N₂O	H₂O
Calor total	32.00 ^a	0.13 ^a	0.49 ^a	0.007 ^a	136.40 ^a
Calor latente	26.81 ^a	0.10 ^a	0.41 ^a	0.007 ^a	119.11 ^a
Anemômetro	47.41 ^a	0.22 ^a	0.41 ^a	0.01 ^a	214 ^a

Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

Não houve diferença estatística significativa ($P>0.05$) entre as médias dos fluxos dos gases calculados pelos três métodos de vazão. Neste caso poderíamos utilizar para os cálculos, o calor total, latente ou anemômetro para o cálculo do fluxo de emissão dos gases. Entretanto, Robin (2010) recomenda que a escolha do valor para vazão do ar deverá considerar os métodos que apresentarem diferenças entre si inferiores a 30%. Para os cálculos realizados neste trabalho foram utilizados os dados de vazão por calor total.

Na Figura 48 estão apresentados os fluxos de C-CO₂, C-CH₄, N-NH₃ e N-N₂O estimados pelo calor total, latente e pelo anemômetro, durante o período experimental. A emissão de C-CO₂ apresentou considerável variação ao longo dos dias. As emissões pelo calor latente e total apresentam uma boa aproximação; em alguns pontos apresentaram os mesmos valores de emissão.

Figura 48 - Médias dos fluxos das emissões calculadas por meio da vazão por calor total, sensível e anemômetro: a) C-CO₂, b) N-N₂O, c) N-NH₃ e d) C-CH₄.

Em relação ao fluxo de N-N₂O, os valores de emissões calculados por ambos os métodos apresentaram-se bastante coerentes entre si, indicando um aumento nas taxas de emissão do óxido nitroso quanto mais próximo à saída dos animais da granja, data de abate. Para a amônia a amplitude dos valores de emissão foram maiores quando comparado aos demais gases, entretanto, os valores calculados entre métodos apresentou uma boa aproximação.

Na Tabela 26 estão apresentados os valores estimados para o fluxo dos gases do interior da edificação utilizando a vazão pelo calor total. Os valores representam as médias diárias de emissão por suíno.

Tabela 26 - Observações, médias e desvios-padrões do fluxo de gases, vapor d'água e amônia na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação, pelo método simplificado.

Número de Observações	C – CO ₂	N – N ₂ O	C – CH ₄	N – NH ₃	H ₂ O
	------(g/suíno/dia)-----				
13/01/14	520.82	0.04	6.60	3.50	390
15/01/14	963.51	0.12	13.87	8.10	4.673
17/01/14	690.23	0.15	13.36	2.78	1.191
20/01/14	426.32	0.03	7.47	4.98	6.454
22/01/14	455.50	0.07	6.30	1.40	504
24/01/14	539.52	0.15	6.98	0.67	1.940
27/01/14	437.00	0.40	30.90	2.25	7.717
29/01/14	335.26	0.09	3.70	1.53	739
31/01/14	377.65	0.06	6.99	3.56	1.954
03/01/14	1.166.00	0.49	20.14	1.91	2.113
05/02/14	805.61	0.29	13.19	4.65	1.112
07/02/14	1.023.00	0.36	11.70	4.22	6.940
Média	645.11	0.18	11.76	3.29	2.977
Máximo	1.666.00	0.40	30.89	8.10	7.717
Mínimo	335.26	0.03	3.70	0.67	390
DP (±)	280.49	0.15	7.57	2.03	2705.08

CO₂ – dióxido de carbono; CH₄ – metano; N₂O – óxido nitroso; NH₃ – amônia; H₂O – vapor de água; DP – desvio padrão.

O fluxo médio obtido para o C-CO₂ foi de 645,11 g por suíno e por dia, com desvio padrão ± 280,07. O valor obtido está de acordo com os resultados obtidos por Guingand et al. (2010, 2011) que observou valores médios entre 637 e 676 g por

suíno por dia. A emissão de CO_2 em edificações de suínos tem duas principais origens; a respiração animal e a fermentação dos dejetos. Alguns trabalhos demonstram que a emissão de CO_2 é estimada como sendo entre 1,5 e 1,7 kg por dia para um suíno de peso médio de 65 a 90 kg (NI et al., 1999; CIGR, 2002).

Em relação a N-NH_3 amônia a média obtida foi de $3,29 \pm 2,03$ g por animal por dia, próximo aos valores citados na literatura, que variam de 4 a 6 g até 14 g (KOERKAMP GROOT et al., 1998; ROBIN et al., 1998; FERNANDEZ et al., 1999; NICHOLSON et al., 2000; BALSDON et al., 2001; GUINGAND; GRANIER, 2001; KERMARREC; ROBIN, 2002; CORPEN, 2003). As variações nas concentrações de amônia estão relacionadas às diversidades nas condições encontradas nas edificações de criação de animais, bem como, no manejo adotado. Alguns fatores importantes podem ser destacados, são eles: alta densidade animal, peso inicial e final dos suínos, manejo alimentar, manejo de remoção dos dejetos, ventilação no interior da edificação, presença ou ausência de cama, entre outros (KOERKAMP et al., 1998; MØLLER et al., 2000; ROBIN et al., 2004; HASSOUNA et al., 2005; NICKS, 2006).

O fluxo médio obtido para o $\text{N-N}_2\text{O}$ foi de $0,18 \pm 0,15$ g por suíno por dia. O óxido nitroso é um subproduto de processos de nitrificação e desnitrificação, processo que requer condições anaeróbicas. Dados obtidos na literatura indicam uma grande amplitude na variação das emissões de $\text{N-N}_2\text{O}$ em edificações de suínos, as emissões variam de 0,03 g até 8 g por suíno dia (ROBIN et al., 1999; HASSOUNA et al., 2005). Em sistemas com chão ripado pode haver maior amplitude na variação dos dados, os dados variam de 0,17 g até aproximadamente 2,26 g por suíno dia (OSADA et al., 1998; ROBIN et al., 1998).

O fluxo de C-CH_4 médio observado foi de $11,76 \pm 7,57$ g por suíno dia. O metano tem origem na fermentação entérica dos animais e da degradação anaeróbica dos compostos orgânicos presentes no dejetos. No momento das coletas foi observado que nas canaletas de escoamento dos dejetos havia um acúmulo de matéria orgânica; este acúmulo pode desenvolver características de anaerobiose devido à lâmina dura e compacta que se forma sobre a lâmina do dejetos nas canaletas impedindo a entrada de oxigênio. Esse fenômeno pode acarretar em maiores emissões do gás metano, sendo reforçada pelas altas temperaturas observadas no período experimental (SOMMER; MØLLER, 2000). Os dados da literatura indicam que os fluxos de C-CH_4 apresentam variações consideráveis,

variando de 2 a 30 g por suíno dia em granjas com piso ripado (GALLMANN et al., 2003; GODBOUT et al., 2003; GUARINO et al., 2003; HAEUSSERMANN et al., 2006).

4.7.4.2 Emissão pelo método contínuo

Na Tabela 26 são apresentados os dados médios das emissões gasosas obtidos pela metodologia contínua.

Tabela 26. Observações, médias e desvios-padrões do fluxo de gases, vapor d'água e amônia na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação, pelo método contínuo.

Número de Observações	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	NH ₃	H ₂ O
	------(g/suíno/dia)-----				
13/01/14	1.420	0.34	20.24	12.96	2.863
14/01/14	2.955	0.73	32.22	28.77	17.116
15/01/14	1.567	0.34	16.94	16.71	10.129
16/01/14	1.109	0.20	1.11	10.16	2.046
17/01/14	716	0.51	12.18	6.48	5.808
18/01/14	222	0.27	6.69	2.58	1.699
20/01/14	179	0.54	12.73	2.81	11.899
21/01/14	256	0.45	10.25	1.87	8.448
22/01/14	592	1.04	34.45	6.33	1.210
23/01/14	430	1.27	34.73	7.65	4.193
24/01/14	87	0.27	7.49	3.85	2.164
25/01/14	105	0.24	5.19	2.02	6.592
26/01/14	343	0.94	25.34	3.25	6.720
27/01/14	2.103	3.53	98.25	9.36	21.935
28/01/14	403	0.78	22.46	2.18	7.114
29/01/14	148	0.44	8.31	1.67	13.333
30/01/14	257	0.77	15.89	2.95	18.864
31/01/14	161	0.63	20.12	2.45	570
01/02/14	78	0.79	24.91	4.22	1.693
02/02/14	202	0.62	17.80	2.84	907
03/02/14	251	0.00	1.33	4.77	9.575
04/02/14	99	0.06	0.02	1.10	4.008
05/02/14	290	1.16	28.94	3.22	8.578
06/02/14	102	0.98	25.42	2.84	970
07/02/14	297	0.00	4.54	3.05	12.555
Média	574	0.67	19.50	5.84	7.239
Máximo	2.955	3.53	98.25	28.77	21.935
Mínimo	78.00	0.00	0.02	1.10	570
DP (±)	721	0.69	19.50	6.12	6.016

Os valores apresentados na tabela anterior são semelhante aos obtidos Philippe, (2012).

O fluxo dos gases foi calculado pelas formas de calor latente, total e velocidade do vento. Na Tabela 27 podem ser conferidos os fluxos médios de C-CO₂, C-CH₄, N-NH₃, N-N₂O e H₂O (g. suíno. hora⁻¹), estimados pelo calor total, latente e anemômetro.

Tabela 27 - Comparação dos fluxos médios de C-CO₂, C-CH₄, N-NH₃, N-N₂O e H₂O (g. suíno. hora), estimados pelo calor total, latente e anemômetro para o método contínuo.

Calor	C-CO₂	C-CH₄	N-NH₃	N-N₂O	H₂O
Calor total	6.54 ^a	0.61 ^a	0.20 ^a	0.02 ^a	301.65 ^a
Calor latente	6.29 ^a	0.51 ^a	0.19 ^a	0.01 ^a	254.46 ^a
Anemômetro	5.47 ^a	0.49 ^a	0.18 ^a	0.01 ^a	278 ^a

Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

Não houve diferença estatística significativa (P>0.05) entre as médias dos fluxos dos gases calculados pelos três métodos de vazão. Neste caso poderíamos utilizar para os cálculos, o calor total, latente ou anemômetro para o cálculo do fluxo de emissão dos gases. Entretanto, da mesma forma que para com a metodologia simplificada, nós utilizamos a vazão calculada pela produção de calor total.

Os gases são convertidos em emissões de C e N de cada espécie química, ou seja, a massa do carbono presente no CO₂ e CH₄, e a massa do nitrogênio contido no NH₃ e N₂O. Na Figura 49 são apresentados os fluxos de C-CO₂, C-CH₄, N-NH₃ e N-N₂O estimados pelo calor total, latente e pelo anemômetro, durante o período experimental pela metodologia contínua.

Figura 49 - Médias dos fluxos das emissões calculadas por meio da vazão por calor total, sensível e anemômetro: a) C-CO₂, b) N-N₂O, c) N-NH₃ e d) C-CH₄.

A emissão de C-CO₂ apresentou-se decrescente ao decorrer do período experimental, este comportamento de emissão pode ser explicado pelo fato de que a atividade dos animais diminui de acordo com a idade. De acordo com Zong et al. (2014), a produção de C-CO₂ é correlacionada com a atividade animal: quando os animais estão próximo a 80 kg de peso vivo, as atividades são reduzidas devido ao seu elevado peso.

Em relação ao N-N₂O e C-CH₄, estes se mantiveram constantes durante todo o período experimental. A produção de amônia apresentou uma tendência decrescente em função dos dias observados.

Na Tabela 28 são apresentados os valores médios da emissão dos gases e vapor de água estimada pelo método contínuo.

Tabela 28 - Observações, médias e desvios-padrões do fluxo de gases, vapor d'água e amônia na produção comercial de suínos, nas fases de crescimento e terminação, pelo método contínuo.

Número de Observações	C – CO ₂	N – N ₂ O	C – CH ₄	N – NH ₃	H ₂ O
	----- (g/suíno/dia) -----				
13/01/14	388	0.22	15.16	10.67	2.863
14/01/14	807	0.46	24.14	23.68	17.116
15/01/14	428	0.22	12.69	13.75	10.129
16/01/14	303	0.12	0.83	8.36	2.046
17/01/14	196	0.33	9.12	5.33	5.808
18/01/14	61	0.17	5.01	2.12	1.699
20/01/14	49	0.34	9.54	2.31	11.899
21/01/14	70	0.28	7.68	1.54	8.448
22/01/14	162	0.66	25.8	5.21	1.210
23/01/14	117	0.81	26.01	6.30	4.193
24/01/14	24	0.17	5.61	3.17	2.164
25/01/14	29	0.15	3.88	1.66	6.592
26/01/14	94	0.60	18.98	2.67	6.720
27/01/14	574	2.25	73.59	7.70	21.935
28/01/14	110	0.50	16.83	1.79	7.114
29/01/14	40	0.28	6.23	1.37	13.333
30/01/14	70	0.49	11.91	2.43	18.864
31/01/14	44	0.40	15.07	2.02	570
01/02/14	21	0.50	18.66	3.48	1.693
02/02/14	55	0.39	13.33	2.34	907
03/02/14	68	0.00	10.56	3.92	9.575
04/02/14	27	0.04	17.25	0.91	4.008
05/02/14	79	0.74	21.68	2.65	8.578
06/02/14	28	0.62	19.04	2.34	970
07/02/14	81.18	0.00	3.39	2.51	81.18
Média	157	0.43	14.6	4.80	7.239
Máximo	807	2.25	73.59	23.68	21.935
Mínimo	21	0.00	0.01	0.91	570
DP (±)	197	0.44	14.61	5.04	6.016

CO₂ – dióxido de carbono; CH₄ – metano; N₂O – óxido nitroso; NH₃ – amônia; H₂O – vapor de água; DP – desvio padrão

Em relação ao fluxo médio de C-CO₂ foi obtido um valor médio de 157 ± 197 g. por suíno dia. Este resultado concorda com o trabalho Costa e Guarino (2008), que observaram valores entre 65.75 e 188 g.suíno⁻¹. dia⁻¹. Valores semelhantes para emissão de CO₂ foram encontrados por (PHILIPPE et al., 2007).

Para a emissão de metano, observou-se uma média de 4.80 ± 5.04 g suíno dia. O metano origina-se da fermentação entérica do animal e da degradação anaeróbica dos componentes orgânicos presentes no dejetos, sendo intensificada

pelo aumento da temperatura (SOMMER; MOLLER, 2000). Dados da literatura apresentam consideráveis variações, entre 2 a 30 g. suíno dia em edificações de criação (KOERKAMP; UENK, 1997; GODBOUT et al., 2003; FABRI et al., 2004; HAEUSSERMANN et al., 2006).

Para o fluxo médio de óxido nitroso, observou-se que a emissão é de 0,42 g por suíno dia. O óxido nitroso é um produto do processo de nitrificação e desnitrificação, que normalmente converte amônia em nitrogênio gás. A nitrificação requer condições aeróbicas, enquanto a desnitrificação exige condições anaeróbicas. Os dados disponíveis na literatura confirmam a grande variação na emissão de N_2O , os dados apresentam-se entre 0,007 até 0,09 g. suíno⁻¹hora⁻¹ (OSADA et al., 1998; ROBIN et al., 1998; EUROPEAN COMMISSION, 2003). O fluxo médio encontrado para a amônia foi de 14,60 ± 14,61 g suínos por dia. Guingand et al. (2010) encontraram fluxos médios de $N-NH_3$ semelhantes.

4.7.5 Comparação dos resultados da metodologia simplificada e contínua

Na Tabela 29 estão apresentados os dados médios das emissões gasosas em (g. suíno. dia⁻¹), obtidos por meio das metodologias; simplificada e contínua.

Tabela 29 – Emissão gasosa por dia e por suíno obtidos pelas metodologias contínua e simplificada

	Método contínuo	Método simplificado	Significância
Emissões			
CO ₂ (g)	574,8 ^b	2,680 ^a	(P<0,05)
NH ₃ (g)	5,89 ^b	13,5 ^a	(P<0,05)
N ₂ O (g)	0,68 ^a	0,29 ^b	(P<0,05)
CH ₄ (g)	19,50 ^a	4,38 ^b	(P<0,05)
Emissões			
C-CO ₂ (g)	157 ^b	768 ^a	(P<0,05)
N-NH ₃ (g)	4,81 ^b	11,76 ^a	(P<0,05)
N-N ₂ O (g)	0,43 ^a	0,19 ^b	(P<0,05)
C-CH ₄ (g)	14,60 ^a	3,3 ^b	(P<0,05)

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Em relação aos dados apresentados na (Tabela 29), na média, houve diferença estatística significativa (P<0,05) entre as metodologias para todos os

gases observados. Na Figura 50 estão demonstrados as emissões de dióxido de carbono, obtidos pelos métodos simplificado e contínuo.

Figura 50 - Comparação das emissões de CO₂ obtidas pela metodologia contínua (MC) e simplificada (MS). Os valores estão em (g/suíno/dia) em função do tempo de alojamento dos suínos.

Na Figura 51 são apresentados os valores referentes à emissão de óxido nitroso.

Figura 51 - Comparação das emissões de N₂O obtidas pela metodologia contínua (MC) e simplificada (MS). Os valores estão em (g/suíno) em função do tempo de alojamento dos suínos.

Na Figura 52 são apresentados os valores médios obtidos para a emissão de CH_4 em gramas suíno dia.

Figura 52 - Comparação das emissões de CH_4 obtidas pela metodologia contínua (MC) e simplificada (MS). Os valores estão em (g/suíno) em função do tempo de alojamento dos suínos.

Na Figura 53 são apresentados os valores de NH_3 obtidos pelas duas metodologias.

Figura 53 - Comparação das emissões de NH_3 obtidas pela metodologia contínua (MC) e simplificada (MS). Os valores estão em (g/suíno) em função do tempo de alojamento dos suínos.

Em relação aos valores obtidos pelas duas metodologias estudadas podemos observar que houve uma disposição semelhante dos dados em função tempo.

Entretanto, estatisticamente há diferença significativa ($P < 0.05$) entre as metodologias. Foi observado também que há diferenças em percentagem de até 80% entre os valores obtidos. Essas diferenças são superiores as obtidas por (ROBIN et al., 2010; GUINGAND et al., 2011).

Em relação ao óxido nitroso houve diferenças significativas entre os valores de emissão obtidos pelas duas metodologias, entretanto a diferença em percentagem ficou entre 30 e 50%. Segundo Robin et al. (2010) as diferenças aceitáveis entre as metodologias é de 30%, desta forma podemos considerar que a metodologia simplificada pode substituir a contínua para a quantificação da emissão de N_2O .

Em relação ao CH_4 observa-se que houve uma grande variação entre os valores obtidos pela metodologia contínua. A análise estatística revela que existem diferenças significativas ($P < 0.05$), além disso, as diferenças em percentagem são consideráveis.

As concentrações de NH_3 obtidas indicam que existe diferença estatística ($P > 0.05$) entre os métodos. Com objetivo de verificar as possíveis relações entre os gases emitidos, foi realizada uma análise de correlação. Na Tabela 30 são apresentados os coeficientes de correlação (Pearson), entre os gases observados segundo as metodologias contínua e simplificada.

Tabela 30 - Coeficiente de correlação de *Pearson* entre médias das emissões de amônia, óxido nitroso, metano, dióxido de carbono e vapor de água durante o período experimental pelo método contínuo e simplificado.

	Método contínuo				Método simplificado			
	NH_3	N_2O	CH_4	CO_2	NH_3	N_2O	CH_4	CO_2
N_2O	0,10	/	/	/	0,78	/	/	/
CH_4	0,28	0,96	/	/	0,04	-0,07	/	/
CO_2	0,92	0,37	0,51	/	0,96	0,81	0,07	/
H_2O	0,29	0,40	0,39	0,46	0,74	0,45	0,15	0,80

Esse resultado indica que, com o aumento da emissão de dióxido de carbono, a emissão de amônia também aumentou na metodologia simplificada e contínua. Essa relação pode ocorrer devido ao aumento da frequência respiratória do animal na tentativa de expirar o excesso de amônia no ambiente.

Foi observada uma alta correlação entre metano e óxido nitroso pela metodologia contínua, essa relação pode ser consequência da decomposição orgânica presente nas canaletas de escoamento dos dejetos, observou-se que havia grande quantidade de dejetos acumulados no local.

Na Figura 54 pode ser conferida a variação diurna das emissões de CO_2 , NH_3 , N_2O e CH_4 além da temperatura e umidade relativa da edificação durante o período experimental.

Figura 54 - Variação diurna da temperatura (c), umidade relativa do ar (f), e das emissões gasosas de CO_2 (a), CH_4 (e), N_2O (b) e NH_3 (d), obtidos pela metodologia contínua.

Pelo exposto podemos observar que a emissão de amônia aumenta com o aumento da temperatura do ar. A emissão de amônia apresenta uma alta correlação com a temperatura do ar, esta relação tem sido investigada por diversos pesquisadores (ANDERSSON, 1996; NI et al., 1999; JEPPSSON, 2002).

Pela Figura 50 observa-se que para as emissões de CO₂, houve dois picos de produção do gás, o primeiro ocorreu entre as 07h00 - 09h00 e o segundo entre 15h00 – 16h00. Esses eram os horários em que os animais recebiam a alimentação, entretanto, sesses períodos foi observado que os animais apresentavam elevada agitação e competição para conseguir o alimento, essa agitação provoca a ativação do metabolismo e consequentemente a liberação de CO₂ por meio da respiração para a atmosfera.

De acordo com trabalhos desenvolvidos por Aarnick et al. (1995) e Oliveira (1999) encontraram relações diretas sobre o nível de atividades dos animais e emissão de CO₂. De acordo com Oliveira, (1999) os suínos apresentam uma diminuição de suas atividades conforme avança no período de engorda.

Em relação às emissões de metano, óxido nitroso observa-se que existe uma alta relação entre a emissão e temperatura ambiente. Essa relação pode ser decorrente da fermentação observada nas canaletas.

Pela Figura 55 pode ser verificado que a emissão de amônia é influenciada ($P < 0,05$) pelo aumento na temperatura, com um coeficiente de correlação considerado alto ($R^2 = 0,86$).

Figura 55 - Relação entre a emissão de amônia e temperatura do ar.

Para os demais gases, não foi observado uma forte relação entre emissão e temperatura, entretanto houve uma tendência de aumento em detrimento das horas mais quentes do dia.

Na Figura 56 podem ser conferidos os valores médios de emissão para os gases CO_2 , CH_4 , NH_3 e N_2O obtidos pela metodologia simplificada, nos períodos da manhã e tarde.

Figura 56 - Emissões gasosas obtidas pelo método contínuo no período da manhã (09h00) e tarde (13h00). Emissões de dióxido de carbono (a), amônia (b), óxido nitroso (c) e metano (d).

Em relação ao método simplificado não houve grandes variações nas emissões entre o período da manhã e da tarde, com exceção para alguns valores discrepantes observados.

4.7.6 Validação das metodologias

A validação ou verificação das metodologias utilizadas (MC e MS) é realizada mediante a comparação com os dados obtidos pelo balanço de massas. O déficit encontrado no balanço representam as perdas gasosas ocorridas na unidade de produção. Na Figura 31 são apresentadas as emissões totais de carbono e nitrogênio mensurados pela metodologia contínua e simplificada em comparação com o balanço de massa.

Tabela 31 – Comparação das emissões totais de carbono, nitrogênio e água pelas metodologias simplificada (MS) e contínua (MC) e validação dos dados pelo balanço de massas.

Elemento	MC emissões [kg]	MS emissões [kg]	Balanço de massa [Déficit, kg]
Carbono	617.59	2.919	2.869
Nitrogênio	18.86	45.72	133.05*

*30-60% deste valor correspondem ao nitrogênio molecular

As emissões totais de carbono (C) obtidas pela metodologia simplificada corresponde a 2,919 kg este valor é referente ao período experimental total, bem como, o lote de animais. Quando comparado ao total de carbono obtido pelo balanço de massa encontramos uma diferença de aproximadamente 2%, esse valor indica que para a emissão de carbono em sistemas de produção de suínos, a metodologia simplificada mostrou-se eficiente (PONCHANT et al., 2008; ADEME, 2010).

Em relação ao nitrogênio devemos nos atentar para o fato de que o valor obtido pelo balanço de massa considera também o nitrogênio molecular (N₂), essa forma de nitrogênio não é detectada pelos sensores do analisador de gás INNOVA. Segundo Ponchant et al. (2008) o nitrogênio molecular pode corresponder de 30 até 60% do nitrogênio volatilizado.

As emissões totais de nitrogênio (N) obtidas pela metodologia simplificada correspondem a 45,72 kg referentes ao período de criação dos animais. Comparado aos valores obtidos pelo balanço de massas, encontramos uma diferença de aproximadamente 14%. Essa diferença é considerada aceitável por Ponchant et al. (2008), Hassouna et al. (2010), Guingand et al. (2010). Em relação à metodologia

contínua observa-se que seus dados apresentaram maior distanciamento do balanço de massa, as diferenças foram superiores a 50%, valor acima do aceitável (PONCHANT et al., 2008; ADEME, 2010; ROBIN, 2011).

4.7.7 Quantificação das emissões

Na tabela 32 estão apresentados os dados de emissão de CO₂, N₂O, CH₄ e NH₄ referente à produção de um suíno com peso médio de 115 kg.

Tabela 27 – Emissões gasosas decorrentes da produção de um suíno com peso médio de 115 kg.

Gás	Emissão gasosa (kg gás/suíno*)
Dióxido de carbono (CO ₂)	252.8
Óxido nitroso (N ₂ O)	0.030
Metano (CH ₄)	0.413
Amônia (NH ₃)	1.3

*Peso médio de 115 kg

*Dados oriundos da metodologia simplificada

De acordo com o supracitado, pode-se notar que para se produzir um suíno com peso médio de 115 kg, são emitidos em média 252.8, 0.030, 0.413 e 1.3 kg de CO₂, N₂O, CH₄ e NH₃ respectivamente.

Entretanto, considerando a emissão gasosa em relação à produção de carne, pode-se dizer que para se produzir um quilograma de carne suína, é emitido para a atmosfera um determinado volume de gases poluentes.

Na tabela 28 são apresentadas as relações entre produção de carne suína e emissão de gases.

Tabela 28 – Emissões gasosas decorrente da produção de 1 kg de carne suína.

Gás	Emissão em (kg gás/kg carne)
Dióxido de carbono (CO ₂)	2.2
Óxido nitroso (N ₂ O)	0.0002
Metano (CH ₄)	0.004
Amônia (NH ₃)	0.012

Pelo exposto, pode-se observar que para a produção de um quilograma de carne suína produzida nestas condições, são emitidos em média, 2.2, 0.0002, 0.004 e 0.012 kg de CO₂, N₂O, CH₄ e NH₃ respectivamente. Estes dados são semelhantes aos obtidos por Ponchant et al. (2008), Robin, (2011).

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizada, a metodologia simplificada demonstrou ser mais coerente em seus resultados quando comparada a metodologia contínua, sendo inclusive, verificado pelo balanço de massa.

REFERÊNCIAS

- AARNICK, A.; KEEN, A.; METZ, J.; SPEELMAN, L.; VERSTEGEN, M. Ammonia emission patterns during the growth periods of pigs housed on partially slatted floors. **Journal of Agricultural Engineering**, Flórida, v. 65, p. 105-116, 1995.
- AARNINK, A.J.A.; WAGEMANS, M.J.M. Ammonia volatilization and dust concentration as affected by ventilation systems in houses for fattening pigs. **Transactions of the ASAE**, Quebec, v. 40, p. 1161-1170, 1997.
- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N.; COLDEBELLA, A.; JAENISCH, F.R.F.; PAIVA, D.P. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem uso de forro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p. 1014-1020, 2007.
- AMARAL, M.F.P. **Avaliação de sistemas para monitoramento de gás amônia em galpões avícolas com ventilação forçada**. 2007. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Viçosa, Viçosa, MG. 2007.
- AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, T.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. **Agriculture Ecosystems & Environment**, London, v. 112, p. 153-162, 2006.
- AMORIM, A.B.; THOMAZ, M.C.; CASTRO, F.F.; MARTINEZ, J.F.; RUIZ, U.S.; PASCOAL, L.A.F.; WATANABE, P.H.; HUAYNATE, R.A.R. Determinação do valor nutricional da polpa cítrica para suínos em crescimento. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 11, n. 4, p. 443-451, 2013.
- AMORIM, E.B. **Gases de efeito estufa produzidos pela queima de biomassa**. 2012. 145 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, SP, 2012.
- ANDERSSON, M. Performance of bedding materials in affecting ammonia emissions from pig manure. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 65, p. 213-222, 1996.
- ANGNES, G. **Emissões de gases no processo de compostagem de dejetos suínos**. 2012. 141 p. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- ANGONESE, A.R.; CAMPOS, A.T.; WELTER, R.A. Potencial de redução de emissão de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.3, p. 27-32, 2007.
- ARCHER, E.R. Mito da motivação. In: BERGAMINI, C.; CODA, R. (Org.). **Psicodinâmica da vida organizacional: motivação e liderança**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1997. p. 23-46.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **Carne suína brasileira em 2013**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/pt/estatisticas/mercado-externo/destinos.html>>. Acesso em: 12 fev. 2014.

_____. **Avaliação dos resultados de 2010 e perspectivas para 2011**. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/news/257/101/Carne-Suina-avaliacao-dos-resultados-de>>. Acesso em: 12 fev. 2013.

_____. **Estatísticas**. 2013. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/pt/estatisticas/mercado-interno.html>>. Acesso em: 24 jun. 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 16th ed. Arlington, 1995. v. 1: Agricultural chemicals and contaminants, drugs, 684p.

AVALÁ, P.C.; KIRCHHOFF, V.W.J.F.; PAVÃO, H.G. Produção de metano em regiões de queimada e áreas alagadas. **Revista Biotecnologia: Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, v. 7, p.40-43, 1999.

BABOT, D.G.; HERMIDA, B.; BALCELLS, J.; CALVET, S.; RODRÍGUEZ, J.A. Farm technological innovations on swine manure in Southern Europe. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, p. 334-343, 2011.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais**. 2. ed. Viçosa: UFV Ed., 2010. 269 p.

BALSDON, S.L.; WILLIAMS, J.R.; SOUTHWOOD, N.J.; CHADWICK, D.R.; PAIN, B.F.; CHAMBERS, B.J. Ammonia fluxes from solid and liquid manure management systems for beef cattle and pigs. In: Sangiorgi, F. (Ed.), Proceedings of the 9th International Conference on the FAO ESCORENA Network on recycling of agricultural, municipal and industrial residues in agriculture. Gargano. **Proceedings...** Gargano: Academic Press, 2001. P. 115-120.

BANHAZI, T.M.; SEEDORF, J.; RUTLEY, D.L.; PITCHFORD, W.S. Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 1. Study justification and design. **Journal of Agricultural Safety and Health**, Manchester, v. 14, p. 5-20, 2008.

BARNES, D.; BLISS, P.J. **Biological control nitrogen in wastewater treatment**. New York: E&F, Spon. 1983. 146 p.

BARTHOLOMEU, D.B.; BARTHOLOMEU, M.B.; MIRANDA, S.G.H.; CARVALHO, T.B. Legislação de recursos hídricos e o tratamento de dejetos na suinocultura paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER), 44, 2006, Fortaleza. 1 CD-ROM.

BELAY, T.; TEETER, R.G. Effects of ambient temperature on broiler mineral balance partitioned into urinary and faecal loss. **British Poultry Science**, Abingdon, v. 37, p. 423-433, 1996.

BERNDT, A: Impacto da pecuária de corte sobre a produção de gases do efeito estufa. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 7., 2011, Viçosa. **Anais...** Visconde do Rio Branco: Suprema Ed., 2011. p. 111-122.

BERTOL, T.M.; CAMPOS, R.M.L.; COLDEBELLA, A.; SANTOS FILHO, J.I.S.; FIGUEIREDO, E.A.P.; TERRA, N.N.; AGNES, B.L. Qualidade da carne e desempenho de genótipos de suínos alimentados com dois níveis de aminoácidos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 621-629, 2010.

BERTOL, T.M.; CAMPOS, R.M.L.; LUDKE, J.V.; TERRA, N.N.; FIGUEIREDO, E.A.P.; COLDEBELLA, A.; SANTOS FILHO, J.I.; KAWSKI, V.L.; LERH, N.M. Effects of genotype and dietary oil supplementation on performance, carcass traits, pork quality and fatty acid composition of backfat and intramuscular fat. **Meat Science**, London, v. 93, p. 507-516, 2013.

BISAILLON, R.; BEAUDET, M.; SYLVESTRE, M.; ISHAQUE, A.; MORIN, A.; DIFRANCO, A.; GUERIN, M. Aspects microbiologiques du lisier de porc. **Science Technology De l'Eau**, Rennes, v. 17, p. 397-400, 1984.

BLANES-VIDAL, V.; HANSEN, M.N.; PEDERSEN, S.; ROM, H.B. Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. **Agriculture Ecosystems & Environment**, London, v. 124, p. 237-244, 2008.

BLUMMEL, M.; GIVENS, D.I.; MOSS, A.R. Comparison of methane produced by straw fed sheep in open-circuit respiration with methane predicted by fermentation characteristics measured by an in vitro gas procedure. **Animal Feed Science and Technology**, Stuttgart, v. 123, p. 379-390, 2005.

BLUNDEN, J.; ANEJA, V.P.; WESTERMAN, P.W. Measurement and analysis of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a mechanically ventilated swine confinement building in North Carolina. **Atmospheric Environment**, London, v. 42, p. 3315-3331, 2008.

BOCK, E.; KOOPS, H.P.; AHLERS, B.; HARMS, H. Oxidation of inorganic nitrogen compounds as energy source. In: BALLOWS, A.; TRUPER, H.G.; DWORKIN, M.; HARDER, M.; SCHLEIFER, K.H. **The prokaryotes**. New York: Springer Verlag. Cap. 17, p.414-430, 1991.

BOCK, E.; SCHMIDT, I.; STUVEN, R.; ZART, D. Nitrogen loss caused by denitrifying nitrosomonas cells using ammonium or hydrogen as electron donors and nitrite as electron acceptor. **Archives of Microbiology**. New York, v. 5, p.16-20, 1995.

BORSARI, V. **Caracterização das emissões de gases de efeito estufa por veículos automotores leves do estado de São Paulo**. 2009. 96 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BOTTCHER, R.W.; KEENER, K.M.; MUNILLA, R.D.; WILLIAMS, C.M.; SCHIFFMAN, S.S. Dust and door emissions from tunnel ventilated swine buildings in North Carolina and comparison of different door evaluation methods. **Applied Engineering in Agriculture**, Quebec, v. 20, n. 3, p. 343-347, 2004.

BRASIL. **Geografia da suinocultura no Brasil**. 2011. Disponível em <http://www.cnpas.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=59> Acesso em: 10 fev. 2013

_____. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão Suínos. 2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/suínos>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

BRÊTAS, A.A.; FERREIRA, R.A.; AMARANTE JÚNIOR, V.S.; PEREIRA, W.E.; FONSECA, J.B.; CALDAS, F.R.L. Balanço eletrolítico para suínos machos castrados em crescimento mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 86-94, 2011.

BRIDI, A.M.; OLIVEIRA, A.R.; NICOLAU, N.A.; SHIMOKOMAKI, M.; COUTINHO, L.L.; SILVA, C.A. Efeito do genótipo halotano, da ractopamina e do sexo do animal na qualidade da carne suína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 2027-2033, 2006.

BROCK T.D.; MADIGAN, M.T. **Biology of microorganisms**. 6th ed. New York: Prentice Hall, 1991. 232 p.

BROTO, V.C.; BULKELEY, H. A survey of urban climate change experiments in 100 cities. **Global Environmental Change**, London, v. 23, p. 92-102, 2013.

BRUCE, J.M.; CLARK, J. J. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. **Animal Production**, London, v. 28, p. 363 – 369, 1979.

BRUMM, M. Patterns of drinking water use in pork production facilities. In: INSTITUTE OF AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES. **Nebraska swine report**. Nebraska. 2006. p. 10-13.

BRUMM, M.; DAHLQUIST, J.; HEEMSRTA, J. Impact of feeders and drinker devices on pig performance, water use and manure volume. **Swine Health and Production**, New York, v. 8, n. 2, p.51-57, 2000.

BRUNO, H.V. **Avaliação técnico-econômica de suínos machos imuno e cirurgicamente castrados**. 2012. 37 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Faculdade de Medicina Veterinária de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2012.

BRUNSCH, R. Methodical aspects relating the results of multigas monitoring. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AMMONIA AND ODOUR CONTROL FROM ANIMAL PRODUCTION FACILITIES, 3., 1997, Vinkeloord. **Proceedings...** Amsterdam: Academic Press, 1997. v. 1, p. 185-191.

CABARAUX, J.F.; PHILIPPE, F.X.; LAITAT, M.; CANART, B.; VANDENHEEDE, M.; NICKS, B. Gaseous emissions from weaned pigs raised on different floor systems. **Agriculture Ecosystems & Environment**, London, v. 130, p. 86-92, 2009.

CANH, T.T.; AARNINK, A.J.A.; SCHUTTE, J.B.; SUTTON, A.; LANGHOUT, D.J.; VERSTEGEN, M.W.A. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. **Livestock Production Science**, London, v. 56, p. 181–191, 1998.

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

CARTY, J.M.; EPPLEY, R. A comparaison of chemical isotopic and enzymatic methods for measuring nitrogen assimilation of marine phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, London, v.17, p. 371-382, 1972.

CASTRO, A.C. **Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas**. 2012. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biosistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CENAMO, M.C. **Mudanças climáticas, o protocolo de Quioto e mercado de carbono**. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/protocolo_quioto.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2014.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; MAIA, S.M.F.; CERRI, C.E.P.; COSTA JÚNIOR, C.; FEIGL, B.J.; FRAZÃO, L.A.; MELLO, F.F.C.; GALDOS, M.V.; MOREIRA, C.S.; CARVALHO, J.L.N. Greenhouse gas mitigations in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 1, p. 67 – 75, 2010.

COMISSION INTERNATIONALE GÈNIE RURAL. **Report of working group on climatization of animal houses**. Aberdeen, 1984. 72 p.

_____. **Climatization of animal houses**. Aberdeen: Scottish Farm Buildings Investigation Unit, 1989. 64 p. (Report of Working Group, 2).

CORASSA, A.; KIEFER, C.; NIETO, V.M.O.S. Níveis de lisina digestível em dietas contendo ractopamina para suínos em terminação. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 485-489, 2013.

CORDEIRO, M.B. **Avaliação de sistemas de camas sobrepostas quanto ao conforto térmico e ambiental e ao desempenho zootécnico para suínos nas fases de crescimento e terminação**. 2003. 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2003.

CORTUS, E.L.; LEMAY, S.P.; BARBER, E.M.; HILL, G.A.; GODBOUT, S. A dynamic model of ammonia emission from urine puddles. **Biosystems Engineering**, v. 99, p. 390-402, 2008.

COSER, F. Potencialidade do Brasil como produtor de carne suína. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA CARNE, 2., 2011, Campo Grande. Disponível em <<http://www.cnpc.org.br/arquivos/fabianocoser.pdf>> Acesso em: 04 abr. 2013.

COSTA, A.; GUARINO, M. Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry. **Atmospheric Environment**, Ottawa, v. 43, p. 1548–1556, 2009.

CRUTZEN, P.J.; ASELMANN, I.; SEILER, W. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. **Tellus**, Estocolmo, v. 38, p. 271-284, 1986.

DAL MAGO, A. **Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos, em Braço do Norte e em Concórdia**. 2009. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

DALLA COSTA, O.; AMARAL, A.L.; LUDKE, J.V.; COLDEBELLA, A.; FUGUEIREDO, E.A.P. Demanda de água dos suínos em crescimento e terminação criados em cama sobreposta e piso ripado. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 2.; CONGRESSO DE SUINOCULTURA DO MERCOSUL, 4., 2004, Foz do Iguaçu. **Anais...** Campinas: Ed. Animal World, 2004. p. 272-273.

DÄMMGEN, U.; BERK, A.; OTTEN, C.; BRADE, W.; HUTCHINGS, N.J.; HAENEL, H.D.; RÖSEMANN, C.; DÄNICKE, S.; LANDBAUFORSCH, M.S. Anticipated changes in the emissions of greenhouses gases and ammonia from pork production due to shifts from fattening of barrows towards fattening of boars. **Applied Agricultural Forestry**, Hannover, v. 63, n. 1, p. 47-60, 2013.

DEGRÉ, A.; VERHÈVE, D.; DEBOUCHE, C. Emissions gazeuses en élevage porcin et modes de réduction: revue bibliographique. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*. Los Angeles, v. 5, p. 135- 143, 2001.

DE GREEF, K.H. **Modeling growth in the pig**. Wageningen: Wageningen Press, 1995. 98 p. (EAAP. Publication, 78).

DEMMERS, T.G.M.; BURGESS, L.R.; PHILLIPS, V.R.; CLARK, J.A.; WATHES, C.M. Assessment of techniques for measuring the ventilation rate, using an experimental building section. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Nottingham, v. 79, n. 1, p. 107-116, 2001.

DENEGA, G.L. **Emissão de óxido nitroso e dióxido de carbono após aplicação de dejetos de suínos e bovinos em um Argissolo**. 2009. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DINUCCIO, E.; BERG, W.; BALSARI, P. Gaseous emissions from storage of untreated slurries and the fractions obtained after mechanical separation. **Atmospheric Environment**, Ottawa, v. 42, p. 2448-2459, 2008.

DONHAM, K. J. The concentration of swine production - Effects on swine health, productivity, human health, and the environment. **Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice**, Wisconsin, v. 16, p. 559-597, 2000.

DORE, C.J.; JONES, B.M.R.; SCHOLTENS, R.; VELD, J.W.H.H.I.T.; BURGESS, L.R.; PHILLIPS V.R. Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores, part 2: Comparative demonstrations of three methods on the farm. **Atmospheric Environment**, Ottawa, v. 38, n. 19, p. 3017-3024, 2004.

DOURMAD, J.-Y. Comment concilier production porcine et protection de l'environnement. Maîtrise des pollutions de l'eau: réduction à la source par une meilleure alimentation des porcs. Paris, p. 75-84, 1999.

DOURMAD, J.-Y.; GUILLOU, D.; NOBLET, J. Development of a calculation model for predicting the amount of N excreted by the pig: effect of feeding, physiological stage and performance. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 31, p. 95-107, 1992.

_____. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France. **Livestock Production Science**, London, v. 58, p. 199-211, 1999.

DOURMAD, J.-Y.; POMAR, C.; MASSÉ, D.. Modélisation du flux de composés à risque pour l'environnement dans un élevage porcin. **Journées de la Recherche Porcine en France**, Rennes, v. 34, p. 183-194, 2002.

DOURMAD, J.-Y.; ÉTIENNE, M.; NOBLET, J.; VALANCOGNE, A.; DUBOIS, S.; VAN MILGEN, J. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of sows. **Animal Feed Science and Technology**, Rennes, v. 143, p. 372-386, 2005.

ESCOBAR, F.L. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto Médio do rio grande do sul**. 2008. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/Disserta%E7%E3o%20Luisa%20Fernanda%20Escobar.pdf>> Acesso em: 16 jan. 2013.

ESTELLÉS, F.; CALVET, S.; BLUMETTO, O.; RODRÍGUEZ-LATORRE, A.R.; TORRES, A. G. Technical note: a flux chamber for measuring gas emissions from rabbits. **World Rabbit Science**, Valencia, v. 17, n. 3, p. 169-179, 2009.

ETCHEBEHERE, C. Microbiologia, ecologia e bioquímica. In: CURSO DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS, 5., 2005, Florianópolis. Florianópolis: UFSC, 2005. p. 32-36.

EUROPEAN UNION. **Council directive 91/676/EEC**: concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. 1991. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/index_en.html>. Acesso em: 20 fev. 2014.

FAO. **FAO satatocal databases**. Rome, 2006. Disponível em: <http://faostat.fao.org/default.aspx>. Acesso em: 10 jan. 2014.

_____. **Livestock in food security**. Rome, 2011. Disponível em: <http://faostat.fao.org/default.aspx>. Acesso em: 10 jan. 2014.

FÁVERO, J.A.; BELLAVER, C. Produção de carne de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE CARNES, 3., 2001, São Pedro. Anais... Campinas: ITAL, 2001. p. 23-29.

FEDDES, J. J. R.; PARKHURST, A. M.; DESHAZER, J. A.; BLECHA, A. Factor analysis of growing pigs responses to high cyclic and constant temperatures.

Transactions of the ASAE, v. 39, p. 1847 – 1851, 1996.

FELIX, E.P.; CARDOSO, A.A. Amônia (NH₃) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. **Química Nova**, Araraquara, v. 27, p. 123-130, 2004.

FERNANDEZ, J.A.; POULSEN, H.D.; BOISEN, S.; ROM, H.B. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: **Denmark Livestock Production Science**. Copenhagen, v. 58, p. 225-242, 1999.

FERREIRA, L.; DUARTE, E.; TAVARES, J.; ALMEIDA, R. Uso da água em explorações suinícolas intensivas, no contexto da diretiva PCIP – Implicações associadas à produção de chorumes. In: CONFERÊNCIA NACIONAL SOBRE A QUALIDADE DO AMBIENTE, 8., 2004, Lisboa. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2004. v. 1, p. 349-350.

FERREIRA, R.A.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ARAÚJO, C.V.; SILVA, F.C.O.; FONTES, D.O.; SARAIVA, E.P. Redução do nível de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para suínos machos castrados mantidos em ambiente termoneutro dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 584-556, 2005.

FERRETTI, E. C. **Estudo da Influência da Relação S0/X0 na Determinação da Atividade Específica de Bactérias Nitrificantes**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FIEDLER, A.M.; MULLER, H.J. Emissions of ammonia and methane from a livestock building natural cross ventilation. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 20, n. 1, p. 59-65, 2011.

FIRESTONE, M.K.; FIRESTONE, R.B.; TIEDJE, J.M. Nitrous oxide from soil denitrification: factors controlling its biological production. **Science**, New York, v. 208 p. 749–751, 1980.

FREITAS, A.R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 786-795, 2005.

FULLER, M.F.; FRANKLIN, M.F.; McWILLIAM, R.; PENNIE, K. The responses of growing pigs, of different sex and genotype, to dietary energy and protein. **Animal Science**, Cambridge, v. 60, n. 2, p. 291-298, 1995.

GALASSI, G.; MALAGUTTI, C.L.; CROVETTO, G.M.; RAPETTI, L. Effects of high fibre and low protein diets on performance, digestibility, nitrogen excretion and ammonia emission in the heavy pig. **Animal Feed Science and Technology**, Milão, v. 161, p. 140-148, 2010.

GALLMANN, E.; HARTUNG, E.; JUNGBLUTH, T. Long-term study regarding the emission rates of ammonia and greenhouse gases from different housing systems for fattening pigs – final results. In: CIGR (Ed.), Proceedings of the International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities. Danish Institute for Agricultural Sciences, 2003, Foulum. **Proceedings...** Foulum: Academic Press, 2003. P. 122-130.

GALLOWAY, J. N.; DENTENER, F. J.; CAPONE, D. G.; BOYER, E. W.; HOWARTH, R. W.; SEITZINGER, S. P.; ASNER, G. P.; CLEVELAND, C. C.; GREEN, P. A.; HOLLAND, E. A.; KARL, D. M.; MICHAELS, A. F.; PORTER, J. H.; TOWNSEND, A. R.; VOROSMARTY, C. J. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, Cambridge, v. 70, p. 153-226, 2004.

GATTÁS, G.; SILVA, F.C.O.; BORBOSA, F.F.; DONZELE, J.L.; FERREIRA, A.S.; OLIVEIRA, R.F.M. Níveis de lisina digestível em dietas para suínos machos castrados dos 60 aos 100 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 1, p. 91-97, 2012.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C. Emissão de dióxido de carbono após aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 2307-2313, 2008.

GODBOUT, S.; LAGUE, C.; LEMAY, S. P.; MARQUIS, A.; FONSTAD, T. A. **Greenhouse gas and odour emissions from pig production buildings and manure storage and treatment facilities**. 2003. Disponível em: <<http://www.prairieswine.com/pdf/2960.pdf>>. Acesso em: 23 nov 2014.

GOLLEHON, N. R. et al. **Confined animal production and manure nutrientes**. 2001. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/p/ags/uersab/33763.html>>. Acesso em: 23 nov 2014.

GOMES, S.D. Efeito do manejo da lâmina d'água na minimização do volume de efluentes gerados na produção de suínos. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 233-242, 2009.

GOULART, R.M. **Processo de compostagem: alternativa complementar para tratamento de amas biológicas de dejetos suínos**. 1997. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

GRANDERSON, A. A. Making sense of climate change risks and responses at the community level: a cultural-political lens. *Climate Risk Management*, New York, v. 3, p.55-64, 2014.

GRANIER, R.; GUINGAND, N.; MASSABIE, P. Influence of hygrometry, temperature and air flow rate on the evolution of ammonia levels. **Journées de la Recherche Porcine**, Rennes, v. 28, p. 209-216, 1996.

GROOT KOERKAMP, P.W.G.; METZ, J.H. M.; UENK, G.H, PHILIPS, V.R.; HOLDEN, M.R.; SNEATH, R.W.; SHORT, J.L.; WHITE, R.P.; HARTUNG, J.; SEEDORF, J.; SCHRÖDER, M.; LINKERT, K.H.; PEDERSEN, S.; TAKAI, H.; JOHNSON, J.O.; WATHES, C.M. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. **Journal of Agricultural Engineer**, Michigan, v. 70, p. 79 - 95, 1998.

GUARINO, M.; FABBRI, C.; NAVAROTTO, P.; VALLI, L.; MASCATELLI, G.; ROSSETTI, M.; MAZZOTTA, V. Ammonia, methane and nitrous oxide emissions and particulate matter concentrations in two different buildings for fattening pig. In: CIGR (Ed.), *Proceedings of the international Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities*, 2003, Foulum. *Proceedings...* Foulum: Academic Press, 2003. p. 140-149.

GUILLOU, D.; DOURMAD, J.; NOBLET, J. Influence de l'alimentation, du stade physiologique et des performances sur les rejets azotés du porc à l'engrais, de la truie et du porcelet. **Journées de la recherche porcine en France**, Rennes, v. 25, p. 307-314, 1993.

GUINGAND, N. Incidence de la vidange des prefosses sur l'émission d'ammoniac et d'odeurs par les porcheries d'engraissement : resultats preliminaires. **Journées de la Recherche Porcine en France**, Paris, v. 32, p. 83-88, 2000.

GUINGAND N.; GRANIER R. Comparaison caillebotis partiel et caillebotis integral em engraissement: effets sur les performances zootechniques et sur l'émission d'ammoniac. **Journées de la Recherche Porcine en France**, Rennes, v. 33, p. 31-36, 2001.

GUINGAND, N. 2003. Qualité de l'air en bâtiment et stades physiologiques. **Techni-Porc**, Rennes, v. 26, p. 17-24, 2003.

GUINGAND, N.; QUINIOU, N.; COURBOULAV, V. Emissions comparées d'ammoniac et de gaz à effet de serre par des porcs charcutiers élevés au froid ser aillebotis partiel ou à la thermoneutralité sur caillebotis integral. **Journées Recherche Porcine**, Rennes, v. 42, p. 277-283, 2010.

GUINGAND, N.; LAGADEC, S.; ROBIN, P.; HASSOUNA, M. Mise au point d'une méthode de mesure simplifiée des émissions d'ammoniac et des gaz à effet de serre des bâtiments d'élevage de porcs en engraissement. **Journées Recherche Porcine**, Rennes, v. 4, n. 1, p. 99-203, 2011.

_____. A simplified method to assess greenhouse gas and ammonia emission factors so fattening pigs reared on fully slatted. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AIR QUALITY AND MANURE MANAGEMENT FOR AGRICULTURE, 2010, Texas. Disponível em <<https://elibrary.asabe.org/azdez.asp?JID=1&AID=32626&CID=isaq2010&T=2>> Acesso em: 08 jan. 2013.

GUSMÃO, M.M.F.C.C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 2008. 170 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

HAEUSSERMANN, A.; COSTA, A.; AERTS, J.M.; HARTUNG, E.; JUNGBLUTH, T.; GUARINO, M.; BERCKMANS, D. Development of a dynamic model to predict PM10 emissions from swine houses. **Journal of Environmental Quality**, Kiel, v. 37, n. 2, p. 557–564, 2008.

HANSEN, C.F.; SORENSEN, G.; LYNGBYE, M. Reduced diet crude protein level, benzoic acid and inulin reduced ammonia, but failed to influence odour emission from finishing pigs. **Livestock Science**, Cambridge, v. 109, p. 228-231, 2007.

HARPER, L.A.; SHARPE, R.R.; SIMMONS, J.D. Ammonia emissions from swine houses in the southeastern United States. **Journal of Environmental Quality**, Kiel, v. 33, p. 449–457, 2004.

HARRISON, R.; WEBB, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. *Advances in Agronomy*, 73, p. 65-108, 2001. **Housing: concentrations in and emissions from farm buildings**. Dublin, 1994. 116p.

HASSOUNA, M.; ROBIN, P.; CHARPIOT, A.; EDOUARD, N.; MÉDA, B. Infrared photoacoustic spectroscopy in animal houses: Effect of non-compensated interferences on ammonia, nitrous oxide and methane concentrations. **Biosystems Engineering**, Rennes, v. 114, p. 318 – 326, 2011.

HASSOUNA, M.; ROBIN, P.; TEXIER, C. N₂O and CH₄ emissions in French straw-based pigon- litter breeding systems. In: CONFERENCE ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM AGRICULTURE, 2004, Leipzig. **Proceedings...** Leipzig: University Press, 2004. p. 10-12.

HASSOUNA, M.; ROBIN, P.; BRACHET, A.; PAILLAT, J.M.; DOLLÉ, J.B.; FAVERDIN, P. Development and validation of a simplified method to quantify gaseous emissions from cattle buildings. In: WORLD CONGRESS OF THE INTERNATIONAL COMMISSION OF AGRICULTURAL AND BIOSYSTEMS ENGINEERING, 26., 2010, Québec. **Proceedings...** Québec: Canada, 2010. p. 13-17.

HAYDON, K.D.; HARRISON, M.D.; DOVE, C.R. Effect of varying ideal protein level on the performance of growing-finishing swine. **Nutrition Reports International**, New York, v. 40, p. 939-947, 1989.

HAYES, E.T.; LEEK, A.B.G.; CURRAN, T.P.; DODD, V.A.; CARTON, O.T.; BEATTIE, V.E.; O'DOHERTY, J.V. The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses. **Bioresource Technology**, Michigan, v. 91, p. 309-315, 2004.

HAYES, E.T.; CURRAN, T.P.; DODD, V.A. Odour and ammonia emissions from intensive pig units in Ireland. **Bioresource Technology**, Michigan, v. 97, p. 940–948, 2006.

HOGAN, K.B.; HOFFMAN, J.S.; THOMPSON, A.M. Methane on the greenhouse agenda. **Nature**, London, v. 354, p. 181–188, 1991.

HOLMES, C.W.; CLOSE, W. H. The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. **Nutrition and the climatic environments**, London, v. 5, p. 51-73, 1977.

HSU, J.H.; LO, S.L. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. **Environmental Pollution**, London, v. 114, n. 1, p. 119–127, 2000.

HYDE, B.P.; CARTON, O.T.; O'TOOLE, P.; MISSELBROOK, T.H. A new inventory of ammonia emissions from Irish agriculture. **Atmospheric Environment**, Ottawa, v. 37, p. 55–62, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário**, 2006. Rio de Janeiro, 2009. 123 p.

_____. **Efetivo dos rebanhos de médio porte por unidades da federação**. 2012. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2012/tabelas_pdf/tab04.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2014.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change, 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific- technical analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 878 p.

_____. Emissions from livestock and manure management. In: EGGLESSON, H.S.; BUENDIA, P.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **IPCC Guidelines for national greenhouses gases inventories**. Hayama: IGES, 2006. chap. 10, p. 747-846.

_____. **Climate change synthesis report**. Geneva, 2007a. 104 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/>. Acesso em: 20 nov. 2013.

_____. **Fourth assessment report: climate change 2007; the synthesis report**. 2007b. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

JACOBSON, L.D.; HETCHLER, B.P.; JOHNSON, V.J. Particulate emissions from pig, poultry, and dairy facilities located in Minnesota. In: AGENG2004, 2004, Leuven. **Proceedings...** Belgium: Asabe Editora, 2004. p. 45-51.

JACOBSON, L.D; HEBER, A.J; HOFF, S.J; ZHANG, Y; BEASLEY, DB; KOZIEL, J.A; HETCHLER, B.P. Aerial pollutants emissions from confined animal buildings. In: WORKSHOP ON AGRICULTURAL AIR QUALITY, 2006, Washington. **Proceedings...**Washington: Asae, 2006. p. 56-61.

JARRET, G.; CERISUELO, A.; PEU, P.; DOURMAD, J.Y. Impact of pig diets with different fibre contents on the composition of excreta and their gaseous emissions and anaerobic digestion. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Saint Gilles, v. 160, p. 51-58, 2012.

JEPPSSON, K. H. Structures and Environment: Diurnal Variation in Ammonia, Carbon Dioxide and Water Vapour Emission from an Uninsulated, Deep Litter Building for Growing/Finishing Pigs. **Biosystems Engineering**, London, v. 81, p. 213-223, 2002.

KAO, M.M. The evaluation of sawdust swine waste compost on the soil ecosystem, pollution and vegetable production. **Water Science and Technology**, London, v. 27, n. 1, p. 123-131, 1993.

KEBREAB, E.; CLARK, K.; WAGNER-RIDDLE, C.; FRANCE, J. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, Montreal, v. 86, p. 135-158, 2006.

KERMARREC, C. **Bilan et transformations de l'azote en élevage intensif de porcs sur litière**. 1999. 186 p. Thèse (Docteur) – Université de Rennes, 1999.

KHALIL, M.A.K.; RASMUSSEN, R.A. The global sources of nitrous oxide, **Journal of Geophysical Research**, New York, v. 97, n. D13/14, p. 651–714, 1992.

KICH, J.D.; COLDEBELLA, A.; MORÉS, N.; NOGUEIRA, M.G.; CARDOSO, M.; FRATAMICO, P.M.; CALL, J.E.; FEDORKA-CRAY, P.; LUCHANSKY, J.B. Prevalence, distribution and molecular characterization of Salmonella recovered from swine finishing herds and a slaughter facility in Santa Catarina. **Journal of Food Microbiology**, Florianópolis, v. 151, p. 307-313, 2011.

KIEFER, C.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M. Planos nutricionais de lisina digestível para suínos machos imunocastrados em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 40, n. 9, p. 366-381, 2011.

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

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Ed. Ceres, 1985. 492 p.

_____. **Manual de compostagem**. Piracicaba: Ed. Ceres, 1998. 72 p.

KIM, K.Y.; JONG KO, H.; TAE KIM, H.; SHIN KIM, Y.; MAN ROH, Y.; MIN LEE, C.; NYON KIM, C. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. **Journal of Environmental Management**, London, v. 88, p. 195-202, 2008.

KLEIN, B.G. **Cunningham tratado de fisiologia veterinária**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 576 p.

KOKIC, P.; CRIMP, S.; HOWDEN, M. A probabilistic analysis of human influence on recent record global mean temperature matter from swine finish barns in Texas. In: PROCEEDINGS OF THE AGEN2004, 2004, Leuven, **Procedeedings...** Leuven: ASA, 2004. 100P.

KOZIEL, J.A.; BAEK, B.H.; BUSH, K.J.; BALOTA, A.; BAYLEY, C.L.; SWEETEN, J.M. Emissions of particulate matter from swine finish barns in Texas. In: PROCEEDINGS OF THE AGENG2004, 2004, Leuven, **Proceedings...** Leuven: ASA, 2004. 100 p.

KRUPA, S.V. Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. **Environmental Pollution**, New York, v. 124, p. 179-221, 2003.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M.M.; OLIVEIRA, P.A. Redução da carga de poluente a questão dos nutrientes. In: SEGANFREDO, A.M. **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: EMBRAPA, 2007. p. 87-92.

LAGADEC, S.; LANDRAIN, P.; LANDRAIN, B.; ROBIN, P.; HASSOUNA, M. Incidence du point de prélèvement de l'air sur la mesure des émissions gazeuses en porcherie d'engraissement avec extraction basse selon deux modes de gestion des déjections. **Journées Recherche Porcine**, Rennes, v. 45, p. 139-140, 2013.

LANGE, C.F.M. **Modeling growth in the pig**. Wageningen: Wageningen Pers, 1995. 78 p. (EAAP Publication, 78).

LATORRE, M.A.; LÁZARO, R.; VALENCIA, D.G.; MATEOS, G.G. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 82, p. 526-533, 2004.

Li, Y.; DELSANTE, A. Natural ventilation induced by combined wind and thermal forces. **Building and Environment**, Victória, v. 36, n. 1, p. 59-71, 2001.

Li, Y.; DELSANTE, A.; SYMONS, J. Prediction of natural ventilation in buidings with large openings. **Building and Environment**, Victória, v. 35, n. 3, p. 191-206, 2000.

LIMA, M.A. Emissão de gases de efeito estufa. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 3, n. 17, p. 654-660, 2000.

LUMA SENSE TECHNOLOGIES. 2012. Disponível em: <<http://lumasenseinc.com/BR/products/gas-monitoring/gas-monitoring-instruments/monitor-de-gas-fotoacustico-innova-1412i.html>> Acesso em: 05 abr. 2013.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; PARKER, J. **BROCK: Biology of microorganisms**. 8th ed. Upper Saddle River, USA: Prentice Hall, 1996.

MANCINELLI, R.L. Nitrogen cycle. **Encyclopedia of Microbiology**, New York, v. 3, p. 229-237, 1992.

MARINHO, P.C.; FONTES, D.O.; SILVA, F.C.O.; PEREIRA, F.A.; AROUCA, C.L.C. Efeito dos níveis de lisina digestível e da ractopamina sobre o desempenho e as características de carcaça de suínos machos castrados em terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1791-1798, 2007.

MEDA, B.; FLECHARD, C.R.; GERMAIN, K.; ROBIN, P.; WALTER, C.; HASSOUNA, M. Greenhouse gas emissions from the grassy outdoor run of organic broilers. **Biogeosciences**, Rennes, v. 9, n. 4, p. 1493–1508, 2012.

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

METCALF E EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3rd ed. New York: McGraw Hill International, 1991. 243 p.

MILLER, F.C. Composting as a process base on the control of ecologically selective factors. In: METTING JR.; DEKKER, M.. **Soil microbial ecology: application in agricultural and environmental management**. New York: CRC Press, 1993. p. 515-541.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2008. 120 p.

MIRANDA, C.R. **Avaliação de estratégias para sustentabilidade da suinocultura em Santa Catarina**. 2005. 114 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MIRANDA, R.C. Aspectos ambientais da suinocultura brasileira. In: SEGANFREDO, A.M. **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: EMBRAPA, 2007. p. 23-29.

MOBLEY, H.L.T.; HAUSINGER, R.P. Microbial ureases - Significance, regulation, and molecular characterisation. **Microbiological Reviews**, Bethesda, v. 53, p. 85-108, 1989.

MOEHN, S.; BERTOLO, R.; PENCHARZ, P.; BALL, R. Pattern of carbon dioxide production and retention is similar in adult pigs when fed hourly, but not when fed a single meal. **BMC Physiology**, Louisiana, v. 4, p. 11 – 16, 2004.

MOLLER, H.B.; SOMMER, S.G.; AHRING, B. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass & Bioenergy**, London, v. 26, p. 485-495, 2004.

MOLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. **Journal of Environmental Quality**, Illinois, v. 33, p. 27-36, 2004.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MOREIRA, H.M. **A atuação do Brasil no regime internacional de mudanças climáticas de 1995 a 2004**. 2009. 158 p. Dissertação (Mestrado em Relações Internacionais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2009.

MOREIRA, I.; GASPAROTTO, L.F.; FURLAN, A.C.; PATRÍCIO, V.M.I.; OLIVIERA, G.C. Exigência de lisina para machos castrados de dois grupos genéticos de suínos na fase de terminação, com base no conceito de proteína ideal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 96-103, 2002.

MOSQUERA, J.; MONTENY, G.J.; ERISMAN, J.W. Overview and assessment of techniques to measure emissions from animal houses: the case of the Netherlands. **Environmental Pollution**, Wageningen, v. 135, p. 381-388, 2005.

MYRIE, S.B.; BERTOLO, R.F.; MOEHN, S.; BALL, R.O. Barley does not change threonine requirement in growing pigs fed a barley–casein-based diet compared to a casein-based diet, as determined by the indicator amino acid oxidation method. **Journal of Livestock Science**, Winnipeg, v. 170, n. 6, p. 108-115, 2014.

NÄÄS, I. **Estudo de ventilação natural em edificações de abrigo a suínos**. 1986. 156 p. Tese (Livre – Docência em construções rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1986.

NAGAE, R.; DAMASCENO, S.; RICHARD, A. Caracterização do dejetos de suínos em crescimento e terminação criados no sistema de lâmina d'água submetido a dois manejos de higienização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. p. 1-6.

NARDI, V.K. **Produção de efluente e balanço de nutrientes em granjas de terminação de suínos no oeste do estado do Paraná**. 2009. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

NGWABIE, N.M.; JEPPEPERSON, K.; NIMMERMARK, S.; SWENSSON, C.; GUSTAFFSON, G. Multi location measurements of greenhouse gases and emission rates of methane and ammonia from a naturally-ventilated barn for dairy cows, **Biosystems Engineering**, Cambridge, v. 103, p. 68-77, 2009.

NI, J. Q.; VINCKIER, C.; HENDRIKS, J.; COENEGRACHTS, J. Production of carbon dioxide in a fattening pig house under field conditions. II. Release from the manure. **Atmospheric Environment**, Ottawa, v. 33, p. 3697-3703, 1999.

NI, J. Q.; HEBER, A.J.; DIEHL, C.A.; LIM, T.T. Ammonia, hydrogen sulphide and carbon dioxide release from pig manure in under-floor deep pits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Pardue, v. 77, p. 53-63, 2000.

NICHOLSON, F.A.; WILLIAMS, J.R.; CHAMBERS, B.J. Ammonia losses from straw and slurry based pig manure management systems. Air pollution from agricultural operations. In: Proceedings of the Second International Conference of the American Society of Agricultural Engineers, 9., 2000, Des Moines, USA, **Proceedings...** Des Moines: 200. v.9, p. 18-24.

NICKS, B. Ammonia reduction in pigs. **Livestock Production and Society**. Wageningen, v. 10, p. 179-190, 2006.

NOBLET, J. **Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette pour le porc**. Paris: INRA, 1989. 106 p.

NOBLET, J.; DOURMAD, J.; ÉTIENNE, M. Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. **Journal of Animal Science**, London, v. 68, n.2, p. 562-572. 1990.

NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1992. 93 p.

NONES, K.; LIMA, J.M.M.; BELLAVER, C.; RUTZ, F. Formulação das dietas, desempenho e qualidade da carcaça, produção e composição de dejetos de suínos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 635-644, out./dez. 2002.

OLIVEIRA, M. de. Pastagem contra o aquecimento global. **Pesquisa FAPESP Online**, São Paulo, n. 158, 2010. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2009/04/Pastagem-contra-o-aquecimento-global.pdf>www.revistapesquisa.fapesp.br>. Acesso em: 23 fev. 2014.

OLIVEIRA, M.C.; ALMEIDA, C.V.; ANDRADE, D.O.; RODRIGUES, S.M.M. Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 951-954, 2003.

OLIVEIRA, P.A.V. de. **Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis integral**. 1999. 272 p. Thèse (Docteur) - L'ENSAR, Université de Rennes, Rennes, 1999.

_____. Qualidade do ambiente para a produção de leitões. **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. In: SILVA, I.J.O. (Ed.). Piracicaba: FEALQ, 1999b. p. 43-49.

_____. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 398-626, 2003.

OLIVEIRA, P.A. de; HIGARASHI, M. **Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 212 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 114).

OLIVEIRA, P.A.V. de; SILVA, A. **As edificações e os detalhes construtivos voltados para o manejo de dejetos na suinocultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; PNMA II – Programa Nacional do Meio Ambiente, 2006. 40 p

_____. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P.A.V. de et al. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: Manual de boas praticas. Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, 2004. cap. 4, p. 42-55.

OLIVEIRA, P.A.V. de; HIGARASHI, M.M.; NUNES, M.L. **Emissão de gases, na suinocultura, que provocam efeito estufa**: sustentabilidade ambiental da suinocultura. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. Disponível em: www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_artigos/artigos_t763q2u.pdf. 21 Out. 2007. Acesso em: 15 nov. 2013.

OLIVEIRA, P.A.V. de; SANTOS FILHO, J.I.S.; BELLAVER, P.; SCHEUERMANN, G.N.; CARON, L. **Estimativa da emissão de gases de efeito estufa na produção de frangos de corte nos sistemas convencional e dark house**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012. (Comunicado Técnico, 2). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/78905/1/Comunicado-504.pdf>. Acesso em: 14 set. 2014.

OLIVIER, J.G.J.; BOUWMAN, A.F.; VAN DER HOEK, K.W.; BERDOWSKI, J.J.M. Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO_x, NH₃ and N₂O in 1990. **Environmental Pollution**, Wageningen, v. 102, p. 135-148, 1998.

OSADA, T.; ROM, H.B.; DALH, P. Continuous measurements of nitrous oxide and methane emission in pig units by infrared photoacoustic detection. **Transactions of the ASAE**, Miami, v. 41, p. 1109-1114, 1998.

OSADA, T.; TAKADA, R.; SHINZATO, I. Potential reduction of greenhouses gas from swine manure by using a low-protein diet supplement with synthetic amino acids. **Animal Feed Science and Technology**, London, v. 10, p. 562-574, 2011.

OTTE, S.; GROBBEN, N.; ROBERTSON, L.; JETTEN, M. KUENEN J. Nitrous oxide production by *alcaligenes faecalis* under transient and dynamic aerobic and anaerobic conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 62, n. 7, p. 2421-2426, 1996.

OTTO, E.R.; YOKOYAMA, M.; HENGEMUEHLE, S.; VON BERMUTH, R.D.; VAN KEMPEN, T.; TROTTIER, N.L. Ammonia, volatile fatty acids, phenolics, and odor offensiveness in manure from growing pigs fed diets reduced in protein concentration. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. 1754–1763, 2003.

PAIANO, D.; BARBOSA, O.R.; MOREIRA, I.; QUADROS, A.R.B.; SILVA, M.A.A.; OLIVEIRA, C.A.L. Comportamento de suínos alojados em baias de piso parcialmente ripado ou com lâmina d'água. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 345-351, 2007.

PAILLAT, J.M.P.; ROBIN, M.; HASSOUNA, J.C.; TOULARASTEL, P. Environmental assessment of composting pig slurry with wheat straw based on the Guernévez process. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON GREEN PORK PRODUCTION, 2., 2005, Paris. **Proceedings...** Paris: Guernévez® Process, 2005. p. 49-54 .

PALHARES, J.C. **O manejo hídrico na produção de suínos**. 2011. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/905188/1/Aguasuiños.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2014.

PALHARES, J.C.; GAVA, D.; LIMA, G. Influência da estratégia nutricional sobre o consumo de água de suínos em crescimento e terminação. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS, 1., 2009, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: UDAS, 2009. p. 566-571.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAN, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 2002. 1 CD-ROM.

PANDORFI, H. **Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e o uso de sistemas inteligentes na caracterização do ambiente produtivo: suinocultura de precisão**. 2005. 119 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PEDERSEN, S.; BLANES-VIDAL, V.; JØRGENSEN, H.; CHWALIBOG, A.; HAEUSSERMANN, A.; HEETKAMP, M.; AARNINK, A. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. **BMC Physiology**, Louisiana, v. 8, p. 23 – 50, 2008.

PEDERSEN, S.; TAKAI, H.; JOHNSEN, J.O.; METZ, J.H.M.; KOERKAMP, P.W.G.; UENK, G.H.; PHILLIPS, V.R.; HOLDEN, M.R.; SNEATH, R.W.; SHORT, J.L.; WHITE, R.P.; HARTUNG, J.; SEEDORF, J.; SCHRODER, M.; LINKERT, K.H.; WATHES, C.M. A comparison of three balance methods for calculating ventilation rates in livestock buildings. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Hannover, v. 70, p. 25-37, 1988.

PERDOMO, C.C. Uso racional da água no manejo de dejetos suínos. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1., 1995, Ponte Nova. **Anais ...** Ponte Nova: EPAMIG, 1995, p. 8-23.

PETERSEN, S.O.; SOMMER, S.G. Fermentation of animal slurry may reduce greenhouse gas emission. **Dansk Bioenergi**, Cambridge, n. 46, p. 5–7, 1999.

PHILIPPE, F. X.; LAITAT, M.; CANART, B.; VANDENHEEDE, M.; NICKS, B. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. **Livestock Science**, Cambridge, v. 111, p.144-152, 2007.

PHILIPPE, F.X.; CANART, B.; LAILAT, M.; WAVREILLE, J.; VANDENHEEDE, M.; BARTIAUX-THILL, N.; NICKS, B.; CABARAUX, J.F. Gaseous emissions from group-housed gestating sows kept on deep litter and offered an ad libitum high-fibre diet. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, Liège, v. 132, p. 66-73, 2009.

PHILIPPE, F. X. Emission d'ammoniac et de gaz a effect de serre associees a l'hebergement de porcs charcutiers et de truies gestantes sur caillebotis et sur litiere paille. 2012. 318 p. Tese (Doutorado em ciências veterinárias) – Université de Liège, Liège, 2012.

PHILIPPE, F.X.; LAITAT, M.; VANDENHEEDE, M.; CANART, B.; NICKS, B. Comparison of zootechnical performances and nitrogen contents of effluent for fattening pigs kept either on slatted floor or on straw-based deep litter. **Annales de Médecine Vétérinaire**, Paris, v. 150, p. 137–144, 2006.

PHILLIPS, V.R.; LEE, D.S.; SCHOLTENS, R.; GARLAND, J.A.; SNEATH, R.W. A review of methods for measuring emission rates of ammonia from livestock buildings and slurry or manure stores. Part 2: monitoring flux rates, concentrations and airflow rates. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Nottingham, v. 78, n. 1, p. 1-14, 2001.

PHILLIPS, V.R.; SCHOLTENS, R.; LEE, D.S.; GARLAND, J.A.; SNEATH, R.W. A review of methods for measuring emission rates of ammonia from livestock buildings and slurry or manure stores, part 1: assessment of basic approaches. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Nottingham, v. 77, n. 4, p. 355-364, 2000.

PONCHANT, P.; HASSOUNA, M.; EHRLACHER, A.; AUBERT, C.; AMAND, G.; LELEU, C.; ROBIN, P. Application et validation d'une méthode de mesures simplifiées des émissions gazeuses dans les bâtiments d'élevage à ventilation naturelle. **TEMA**, Rennes, v. 6, p. 4 – 10, 2008.

PRATES, K.V.M. **Cerificação da produção biológica de nitrogênio a partir de lodos anaeróbios granulados cultivados em meio contendo nitrogênio amoniacal e baixas concentrações de compostos gânicos**. 1997. publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm>. Acesso em: 25 ago. 2011.

PRATT, S.E.; LAWRENCE, L.M.; BARNES, T.; POWELL, D.; WARREN, L.K. Measurement of ammonia concentrations in horse stalls. **Journal of Equine Veterinary Science**, London, v. 20, n. 3, p.197, 2000.

RAMONET, Y.; ROBIN, P. L'engraissement de porcs sur litière de particules de bois ou de sciure en couche fine. **Journées de la Recherche Porcine**, Rennes, v. 34, p. 143–148, 2002.

REECE, W.O. **Fisiologia veterinária**. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 942 p.

REIDY, B.; WEBB, J.; MISSELBROOK, T.H.; MENZI, H.; LUESINK, H.H.; HUTCHINGS, N.J.; EURICH- MENDEN, B.; DOHER, H.; DAMMGEN, U. Comparison of models used for national agricultural ammonia emission inventories in Europe: Litter-based manure systems. **Atmospheric Environment**, Ottawa, v. 43, p. 1632-1640, 2009.

REY, S.R.; JONDREVILLE, C.; DOURMAD, J-Y. Le zinc dans l'alimentation du porc: oligoélément essentiel et risqué potentiel pour l'environnement. **INRA Productions Animales**, Paris, v. 16, p. 3-18, 2003.

RIGOLOT, C.; ESPGNOL, S.; ROBIN, P.; BÉLINE, F.; PAILLAT, J.M. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions – Part II: Effect of animal housing, manure storage and treatment practices. **Animal Cambridge Journals**, Cambridge, v. 35, n. 738, p. 1413-1424, Aug. 2010.

ROBIN, P. Emissão de gases de efeito estufa. **Suinocultura Industrial**, São Paulo, v. 239, n. 2, p. 50-57, fev. 2011.

_____. **Emissão de gases de efeito estufa (GEE) na produção de suínos e aves e em sistemas de armazenamento de dejetos**. 2010. Disponível em: <<http://www6.rennes.inra.fr/umrsas/A-votre-service/Annuaire/ROBIN-Paul>>. Acesso em: 25 jul. 2011.

ROBIN, P.; HASSOUNA, M.; TEXIER, C. Emission d'ammoniac et de protoxyde d'azote des porcs engraisés sur litière de paille. **Journées de la recherche porcine**, Rennes, v. 36, p. 63-70, 2004.

ROBIN, P.; HASSOUNA, M.; LELEU, C.; RAMONET, Y.; PAILLAT, J.-M. **Protocole de mesure simplifiée des émissions gazeuses en élevage**. Cidade: UMR Sol 87, 2006. 163 p.

ROBIN, P.; AMAND, G.; AUBERT, C.; BABELA, N.; BRACHET, A.; BERCKMANS, D.; BURTON, C.; CANART, B. **Reference procedures for the measurement of gaseous emissions from livestock houses and storages of animal manure**: final report. New York: ADEME, 2010. 260 p.

RUIZ, U.S.; THOMAZ, M.C.; HANNAS, M.I.; FRAGA, A.L.; WATANABE, P.H.; SILVA, S.Z.R. Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n. 3, p. 458-468, 2008.

SAKOMURA, N.K; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa para nutrição em monogástricos**. Viçosa: Editora Viçosa, 2007. 100 p.

SALVADOR, D.; ARIKI, J.; PEDRO, A.A.; BORGES, S.A. Efeitos do estresse calórico e do bicarbonato de sódio na ração e fisiológicos de frangos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998. p. 312-313.

SAMER, M.; LOEBSINB, C.; FIEDLER, M.; AMMONA, C.; BERGA, W.; SANFTLEBENB, P.; BRUNSCHA, R. Heat balance and tracer gas technique for airflow rates measurement and gaseous emissions quantification in naturally ventilated livestock buildings. **Energy and Buildings**, Brandenburg, v. 43, p. 3718–3728, 2011.

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

SAMPAIO, C.A.P.; NÄÄS, I.A. **Uma visão sobre a qualidade do ar em edificações para suínos**. 2001. Disponível em: <http://www.porkworld.com.br/artigos/post/uma-visao-sobrea-qualidade-do-ar-em-edificacoes-para-suinos_10046>. Acesso em 05 abr. 2014.

SANCHES, J.F.; KIEFERLL, C.; MOURA, M.S.; SILVA, C.M.; LUZ, M.F.; CARRIJO, A.S. Níveis de ractopamina para suínos machos castrados em terminação e mantidos sob conforto térmico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 403-408, 2010.

SANTOS, E.O. **Contribuição ao estudo de dióxido de carbono dentro da Floresta Amazônica**. 1999. 74 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

SANTOS, M.A.A. **Efeito da ventilação natural em instalações de suínos em crescimento e terminação**. 2001. 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SARDÁ, L.G.; HIGARASHI, M.M.; MULLER, S.; OLIVEIRA, P.A.V.; COMIN, J.J. Redução de emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v. 14, n. 9, p. 1008-1013, 2010.

SCHMIDT, I.; SLIKERS, O.; SCHIMID, M.; BOCK, E.; FUERST, J.; KUENEN, J.G.L.; JETTEN, M.S.M.; STROUS, M. New concepts of icrobial treatment processes for the nitrogen removal in wastewater. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdam, v. 27, p. 481-492, 2003.

SCHOLTENS, R.; DORE, C.J.; JONES, B.M.R.; LEE, D.S.; PHILLIPS, V.R. Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores, part 1: development and validation of external tracer ratio, internal tracer ratio and passive flux sampling methods. **Atmospheric Environment**, Ottawa, v. 38, p. 3003-3015, 2004.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. 2nd ed. New Jersey: Willey Interscience, 2006. 1232 p.

SHAH, S.B.; GRABOW, G.L.; WESTERMAN, P.W. Ammonia adsorption in five types of flexible tubing materials. **Applied Engineering in Agriculture**, Quebec, v. 22, n. 6, p. 919–923, 2006.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235 p.

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

SILVEIRA, N.A.; NÄÄS, I.A.; MOURA, D.J.; SALGADO, D.A. Ambiência aérea em maternidade e creche de suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 348-357, 2009.

SINOTTI, A.P.S. **Avaliação do volume de dejetos e da carga de poluentes produzidos por suíno nas diferentes fases do ciclo criatório**. 2005. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SMITH, M.O.; TEETER, R.G. Potassium balance of the 5 to 8-week-old broiler exposed to constant heat or cycling high temperature stress and the effects of supplemental potassium chloride on Body weight gain and feed efficiency. **Poultry Science**, Champaign, v. 66, p. 487-492, 1987.

SNELL, H.G.J.; SEIPALT, F.; VAN DEN WEGHE, H.F.A. Ventilation rates and gaseous emissions from naturally ventilated dairy houses. **Biosystems Engineering**, London, v. 86, n. 21, p. 67-73, 2003.

SNYDER, C.S.; BRUULSELMA, T.W.; JENSEN, T.L. **Melhores práticas de manejo para minimizar emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso de fertilizantes**. 2008. Disponível em: <<http://www.Porkworld.com.br>>. Acesso em: 11 jan. 2014.

SOBESTIANSKY, J.; WENTZ, I.; SILVEIRA, P.R.S.; SESTI, L.A. **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho**. Brasília: EMBRAPA, 1998. 388 p.

SOMMER, S.G.; MØLLER, H.B. Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production – effect of straw content. **Journal of Agriculture**, Cambridge, v. 134, p. 327-335, 2000.

SOMMER, S.G.; MCGINN, S.M.; HAO, X.; LARNEY, F.J. Techniques for measuring gas emissions from stockpiled cattle manure. **Atmospheric Environment**. Ottawa, v. 38, p. 4643-4652, 2004.

SOUZA, C.F. Produção de biogás e tratamento de resíduos: biodigestão anaeróbia. **Ação Ambiental**, Viçosa, n. 34, p. 26-29, nov./dez. 2005.

STEINER, T.; MOSENTHIN, R.; FUNDIS, A.; JAKOB, S. **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde no rebanho**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1998. 388 p.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; VASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; HANN, C. **Livestock long shadow: environment issues and options**. Rome: FAO, 2006. 390 p.

SUÍDA, F. **Interação da nutrição proteica com fatores econômicos, desempenho, meio ambiente e sanidade em suínos**. 2011. Disponível em <http://www.cbna.com.br/portal/Documentos/Simposio_sobre_Manejo_e_Nutricao_d_e_Aves_e_Suinos_e_Tecnologia_da_Producao_de_Racoes.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2012.

SUZUKI, I.; DULAR, U.; KWOK, S.C. Ammonia or ammonium ion as substrate for oxidation by nitrosomonas europaea cells and extracts. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 120, n. 1, p. 556-558, 1974.

TAKAI, H.; PEDERSEN S.; JOHNSEN, J.O. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 70, n. 1, p. 59-77, 1998.

TAVARES, J.M.R. **Consumo de água e produção de dejetos na suinocultura em Santa Catarina**. 2012. 233 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

TENDALL, D.; GAILLARD, G. Environmental consequences of adaptation to climate change in Swiss agriculture: an analysis at farm level. **Agricultural Systems**, Zurich, v. 132, p. 40-51, 2015.

THACKER, P. Water in swine nutrition. In: LEWIS, A.J.; SOUTHERN, L.L. (Ed.). **Swine nutrition**. 2nd ed. New York: CRC Press, 2001. p. 381-398.

TINOCO, I.F.F.; FIGUEIREDO, J.L.A.; SANTOS, R.C.; PAULO, M.O.; VOGOREDIS, R.B.; PUGLIESI, N.L. Avaliação de materiais alternativos utilizados na confecção de placas porosas para sistemas de resfriamento adiabático evaporativo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 147-150, 2002.

TRABULSI, L.R.; ALTERTHUM, F.; GOMPERTZ, O.F.; CANDEIAS, J.A.N. **Microbiologia**. 3. ed. São Paulo: Ed. Atheneu, 1999. 586 p.

TRAMONTINI, P.; BEZERRA, S.A. (Org.). **9º Seminário nacional da suinocultura**, Gramado, 2001. Gramado: EMBRAPA, 2001. 25 p.

UNRUH, J.A.; FRIESEN, K.G.; STUEWE, S.R.; DUNN, B.L.; NELSEN, J.L.; GOODBAND, R.D.; TOKACH, M.D. The influence of genotype, sex, and dietary lysine on pork subprimal cut yields and carcass quality of pigs fed to either 104 or 127 kilograms. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 74, n. 6, p. 1274-1283, 1996.

VAN DER HOEK, K.W., 1998. Estimating ammonia emission factors in Europe: summary of the work of the UNECE ammonia expert panel. **Atmospheric Environment**, Ottawa, v. 32, p. 315–316, 1998.

VAN 'T KLOOSTER, C.E.; HEITLAGER, B.P. Measurement systems for emissions of ammonia and other gasses at the Research Institute for Pig Husbandry. **Research Institute for Pig Husbandry**, Amsterdam, v. 3, n. 92, p.1234-1240, 1992.

VERGÉ, X.P.C.; DYER, J.A.; DESJARDINS, R.L.; WORTH, D. Greenhouse gas emissions from the Canadian pork industry. **Livestock Science**, Ottawa, v. 121, p. 92–101, 2009.

VRANKEN, E.; CLAES, S.; HENDRICKS, J.; DARIUS, P.; BERCKMANS, D. Intermittent measurements to determine ammonia emissions from livestock buildings. **Biosystems Engineering**, Rennes, v. 88, p.351-358, 2004.

WESENDONCK, W.R.; KESSLER, A.M.; RIBEIRO, A.M.L.; SOMENSI, M.L.; BOCKOR, L.; DADALT, J.C.; MONTEIRO, A.N.R.T.R.; MARX, F.R. Valor nutricional e energia metabolizável de subprodutos do trigo utilizados para alimentação de suínos em crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 203-210, 2013.

WOLTER, M.; PRAYITNO, S.; SCHUCHARDAT, F. Greenhouse gas emission during storage of pig manure on a pilot scale. **Bioresource Technology**, Washington, v. 95, p. 235-244, 2004.

WRAGE, N.; VELTHOF, G.L.; VAN BEUSICHEM, M.L.; OENEMA, O. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. **Soil Biology & Biochemistry**, New York, v. 33, p. 1723–1732, 2001.

XAVIER, M.E.R.; KERR, A. R. Naálise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 3: p. 325-349, dez. 2004.

YE, R.; AVERILL, B.; TIEDJE, J. Denitrification: production and consumption of nitric oxide. **Applied and Environmental Microbiology**, London, v. 60, p. 1053-1058, 1994.

YE, Z.; ZHANG, G.; SEO, I.H.; KAI, P.; SAHA, C.K.; WANG, C.; LI, B. Airflow characteristics at the surface of manure in a storage pit affected by ventilation rate, floor slat opening, and headspace height. **Biosystems Engineering**, Rennes, v. 104, p. 97–105, 2009.

ZHANG, R.; DAY, D.; CHRISTIANSON, L.; JEPSON, W. A computer model predicting ammonia release rate swine manure pits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Champaign, v. 58, p. 223-229, 1994.

ZHAO, Y.; RUTHERFORD, J.; MITLOEHNER, F.M. Estimation of the interference in multi gas measurements using infrared photoacoustic analyzers. **Atmosphere**, New York, v. 3, p. 246–265, 2012.

ZONG, C.; ZHANG, G.; FENG, Y.; NI, J.Q. Carbon dioxide production from a fattening pig building with partial pit ventilation system. **Biosystems Engineering**, Beijing, v. 126, p. 56-68, 2014.