**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

INGRID KELLY DA SILVA SANTANA

**Emissões de gases de efeito estufa e amônia oriundas da criação
de frangos de corte em múltiplos reúsos da cama**

**Piracicaba
2016**

INGRID KELY DA SILVA SANTANA

**Emissões de gases de efeito estufa e amônia oriundas da criação
de frangos de corte em múltiplos reúsos da cama**

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

**Tese apresentada ao Centro de Energia
Nuclear na Agricultura da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Doutora em Ciências**

**Área de Concentração: Química na
Agricultura e no Ambiente**

Orientador: Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri

Piracicaba

2016

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Santana, Ingrid Kely da Silva

Emissões de gases de efeito estufa e amônia oriundas da criação de frangos de corte em múltiplos reúsos da cama / Ingrid Kely da Silva Santana; orientador Carlos Clemente Cerri. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

128 p.: il.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

1. Aviários 2. Balanço de N 3. Fator de emissão 4. Inventário de GEE 5. Manejo de dejetos 6. Metano 7. NH₃ 8. Óxido nitroso I. Título

CDU 631.811 : 631.4

DEDICATÓRIA

À minha guerreira mãe Ana Lúcia da Silva,

Aos meus irmãos Wagner e Vanessa,

Ao meu amor Evandro Schonell,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado força para persistir e conquistar meus objetivos.

À Universidade de São Paulo - USP e ao Programa de Pós-Graduação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA pela oportunidade e formação acadêmica. A todos docentes, funcionários e colegas, em especial a toda a equipe do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental e Isótopos Estáveis pelas valiosas contribuições no desenvolvimento desse trabalho.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo durante o período de doutorado (Processo: 2012: 23983-9) e pelo Auxílio à Pesquisa-Regular (2012/23784-4).

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri, pelas orientações assertivas e decisivas. Aos meus coorientadores, professores Brigitte Josefine Feigl, José Fernando Machado Menten e Carlos Eduardo Pellegrino Cerri pela paciência, disponibilidade e pelas valiosas sugestões.

Ao Dr. Luciano Barreto Mendes, pesquisador do International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA), pela extraordinária disponibilidade e orientação dada nesta reta final desse trabalho.

Aos estagiários: Ana Paula, Silvia, Otávio, Flávia e Rafaela e pelo apoio prestado, em especial a Mariane Natera pela dedicação e amizade, principalmente pela alegria e bom humor mesmo perante o trabalho árduo.

Ao Evandro Schönell por todo companheirismo, paciência, amor e apoio incondicional em todos os momentos. Admiro a sua ética profissional, suas condutas sempre me ensinam a ser uma pessoa melhor, presente de Deus na minha vida.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Santana, I. K. S. **Emissões de gases de efeito estufa e amônia oriundas da criação de frangos de corte em múltiplos reúsos da cama.** 2016. 128 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

Vários países têm buscado investigar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) e amônia (NH_3) na atividade animal para melhor compreensão da dinâmica e excesso desses gases na atmosfera. As informações disponíveis na literatura sobre as emissões de GEE e NH_3 em aviários são variáveis e incertas devido à diversidade e condições particulares das instalações, bem como das inúmeras diferenças no sistema de criação e das complexas interações observadas nos dejetos dos animais. A caracterização das emissões do setor avícola normalmente é realizada por monitoramento aéreo das concentrações dos gases dentro das instalações de produção. No entanto, alguns métodos adotados são insuficientes devido às interferências de outros gases, razão por que as medições podem não refletir, com exatidão, as emissões reais. Diante dessa complexidade, nesta pesquisa buscou-se aplicar técnicas que apresentam menores interferências, bem como desenvolver um sistema de amostragem para medir diretamente as emissões de N_2O , CH_4 e NH_3 dos dejetos de frangos de corte. No desenvolvimento do método, utilizou-se como referência o princípio da câmara estática fechada e a análise por cromatografia gasosa (CG), para estimar as emissões de GEE. Para quantificação direta das emissões de NH_3 , adaptou-se um método semiaberto estático, baseado na captura, em meio ácido, do NH_3 volatilizado dos dejetos das aves. Adicionalmente, buscou-se monitorar as emissões diárias de NH_3 , CH_4 e N_2O dos dejetos dos frangos, considerando o típico manejo de reutilização da cama de frango. Foram propostos modelos empíricos para as predições das emissões de N_2O , CH_4 e NH_3 , em função do número de reutilizações da cama, da idade das aves e de propriedades físico-químicas da cama de frango. As emissões acumuladas por quatro ciclos de criação permitiram calcular perdas anuais de 0,14, 0,35, e 72,0 g de N_2O , CH_4 e NH_3 ave-alojada⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Considerando o número de frangos de corte alojados em 2015, a atividade avícola emitiu cerca de 545,1 Gg CO_2eq pelo manejo dos dejetos nos aviários, correspondente a 0,04 kg CO_2eq por kg de carne. Reduções de 21, 40 e 78% foram observadas nas emissões anuais de N_2O , CH_4 e NH_3 , respectivamente, ao utilizar (seis ciclos) a cama somente em um ciclo de criação. Contudo, um balanço de N foi conduzido para contabilizar as entradas e saídas de N na produção de frangos de corte durante os quatro ciclos de criação avaliados. A principal entrada de N no sistema foi pela ração, como entrada secundária, o N via cama de frango, o qual aumentou consideravelmente a cada ciclo de reutilização. Considerando que esta pesquisa apresenta uma metodologia aplicável e inovadora para determinar os fluxos de GEE em galpões abertos no país, os dados serão úteis para o inventário anual brasileiro das emissões de GEE oriundas dos dejetos da avicultura de corte. Os resultados são úteis também para incentivar novas pesquisas que possam avançar no conhecimento de impactos e alternativas de mitigação de GEE na produção de frangos de corte e, adicionalmente, conferir sustentabilidade à produção de carne no Brasil.

Palavras-chave: Método de determinação. Nitrogênio. Emissão de N_2O , CH_4 e NH_3 . Fator de emissão. Brasil.

ABSTRACT

Santana, I. K. S. **Emissions of ammonia and greenhouse gases from the broiler production in multiple reuses the litter.** 2016. 128 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

Many countries have sought to investigate the emissions of GHG and ammonia (NH_3) in livestock production to better understand the dynamics and the excess of these gases in the atmosphere. The information available in the literature on GHG emissions and NH_3 in poultry houses are variable and uncertain due to the diversity and particular conditions of the facilities, as well as the numerous differences in the authoring system and the complex interactions observed in animal manure. The characterization of emissions from poultry sector is usually performed by monitoring of gas concentrations in the production facilities. However, some of the methods adopted are inadequate due to interference from other gases, thus, the measurements may not accurately reflect the actual emissions. In this context, this research developed a sampling system with lower interference that directly measure the emissions of N_2O , CH_4 and NH_3 of broiler manure. The proposed methodology includes the principle of static chamber, and gas chromatography (GC) analysis to determine GHG emissions. For the direct quantification of NH_3 emissions a semi-open static method was adapted based on the capture of volatilized NH_3 from manure of broilers, in an acidic solution. In addition, the daily monitoring of NH_3 , CH_4 and N_2O emissions from broiler manure considered the reutilization of poultry litter, which is the usual management. Empirical models were proposed in the study to predict emissions of N_2O , CH_4 and NH_3 , depending on the number of reuses of the litter, the age of the birds and physicochemical properties of the litter. Cumulative emissions per production four cycle allowed us to calculate an annual loss of 0.14, 0.35 and 72.0 g N_2O , CH_4 , NH_3 bird-place⁻¹ year⁻¹, respectively. Considering the number of broilers grown in 2015, the poultry production chain emitted about 545.1 Gg CO_2eq derived from poultry manure management, corresponding to 0.04 kg CO_2 eq per kg meat. A reduction of 21, 40 and 78% was observed in the annual emissions of N_2O , CH_4 and NH_3 , respectively, when the litter is used in only one breeding cycle instead of six cycles. However, an N balance was conducted to account N inputs and outputs in the production of broiler during the four breeding cycles. The main entrance of N in the production system was the ration, as a secondary input, the N via poultry litter, which increased considerably each reuse cycle. This research presents an applicable and innovative methodology for determining GHG flows in open sheds houses in Brazil. The data presented will be useful to the Brazilian annual inventory of GHG emissions derived from poultry manure. Moreover the present data has the potential to prompt new research that might further the knowledge on the impacts and GHG mitigation alternatives in the production of broiler thus enhancing sustainability in meat production in Brazil.

Keywords: Determination method. Nitrogen. Emission of N_2O , CH_4 and NH_3 . Emission factor. Brazil.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS.....	19
2 MÉTODO DE MENSURAÇÃO DE FLUXOS DE GEE EM DEJETOS DE FRANGOS DE CORTE	24
Resumo	24
Abstract	25
2.1 Introdução	26
2.2 Material e métodos	27
2.2.1 Etapa 1: Avaliação da vedação em dois modelos de câmaras fechadas	28
2.2.2 Etapa 2: Desenvolvimento do Sistema de Amostragem de Gases do Efeito Estufa na Avicultura (SISAVE)	29
2.2.2.1 Descrição experimental	31
2.2.2.2 Desempenho das aves	32
2.2.3 Caracterização da cama de frango	32
2.2.4 Estratégia de amostragem dos GEE	33
2.2.5 Cálculos e análise dos GEE	34
2.2.6 Análise estatística	35
2.3 Resultados e discussão.....	36
2.3.1 Etapa 1- Avaliação da vedação em dois modelos de câmaras fechadas.....	36
2.3.2 Etapa 2: Características climáticas do galpão e desempenho zootécnico dos frangos	38
2.3.2.1 Característica da cama de frango	40
2.3.2.2 Fluxos dos GEE	41
2.3.2.3 Emissões acumuladas de GEE	46
2.4 Conclusões.....	48
Referências	48
3 MONITORAMENTO E MODELAGEM DAS EMISSÕES DE GEE E NH ₃ NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE EM MÚLTIPLOS REÚSOS DA CAMA.....	56
Resumo	56
Abstract	57
3.1 Introdução	58
3.2 Material e métodos	61
3.2.1 Descrição do local do estudo	61

3.2.2 Caracterização climática.....	61
3.2.3 Descrição da unidade experimental.....	62
3.2.4 Caracterização da dieta.....	63
3.2.5 Sistema de amostragem de gases do efeito estufa na avicultura (SISAVE)....	64
3.2.6 Estrutura experimental.....	66
3.2.7 Coleta e análise dos GEE.....	66
3.2.8 Coleta e análise de NH ₃	67
3.2.9 Monitoramento de dados climáticos no galpão e coletas de amostras de cama aviária.....	68
3.2.10 Cálculos das emissões e análise estatística dos resultados.....	69
3.3 Resultados e discussão.....	73
3.3.1 Modelos ajustados.....	76
3.3.2 Projeções de emissões de N ₂ O, CH ₄ e NH ₃ em base anual.....	81
3.3.3 Cenários de reutilização da cama de frango.....	87
3.3.4 Fatores de emissão.....	89
3.3.5 Emissões de dióxido de carbono equivalentes.....	92
3.4 Conclusões.....	96
Referências.....	96
4 BALANÇO DE NITROGÊNIO NA CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE.....	106
Resumo.....	106
Abstract.....	107
4.1 Introdução.....	108
4.2 Material e métodos.....	109
4.2.2 Desempenho e manejo das aves.....	109
4.2.3 Balanço de nitrogênio.....	110
4.3 Resultados e discussão.....	111
4.4 Conclusões.....	118
Referências.....	118
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
Anexos.....	123

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os maiores desafios atuais são a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), o desenvolvimento de sistemas de energias renováveis e a produção de alimento para a população (IPCC, 2014; FAO, 2013). As emissões de GEE (dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O)) e mudanças climáticas são assuntos intensamente debatidos atualmente pela comunidade científica mundial. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) enfatiza, em seu “5º Relatório de Avaliação”, que as emissões de GEE devidas as ações antrópicas são as principais causas para as atuais alterações climáticas (IPCC, 2014). A quantificação e o monitoramento de emissões de GEE em sistemas de produção de alimentos permite avaliar o impacto sobre o meio ambiente, causado pelo uso inadequado dos solos e do manejo incorreto de animais e culturas.

Intensas negociações ocorreram em 2015 na 21ª Conferência do Clima da ONU (COP-21), realizada em Paris, o que resultou em um acordo considerado histórico, em que, pela primeira vez, quase todos os países se comprometeram em reduzir as emissões de GEE. Brasil e Alemanha apresentaram uma proposta inovadora, chamada de “Descarbonização da economia”, cujo tema central destaca que, no atual período de transição para uma economia de baixo carbono, os desafios para o planeta atingir a sustentabilidade perpassam por mudanças não só na forma de produzir bens de consumo e serviço, mas também de repensar um estilo de vida mais sustentável.

O Brasil é considerado um dos maiores produtores de alimentos do mundo (RUVIARO et al., 2012), sendo um dos principais países a elevar sua produção e exportação agropecuária de modo a atender à demanda mundial (FAO; OECD, 2014). Ao mesmo tempo, o aumento da produção agrícola nas últimas décadas acontece paralelamente com o crescimento das emissões de GEE na agropecuária. O Brasil está em quarto lugar no quesito de emissão de GEE do mundo, atrás da China, Estados Unidos e União Europeia, conforme o *World Resources Institute* (WRI, 2013). A alta produção agropecuária no país está em segundo lugar no mundo na emissão de gases, com 441 Mt de equivalentes CO₂ (CO₂eq) emitidos por esse setor em 2013, o que representa quase um terço das emissões nacionais e com emissão per capita muito similar à global: 7 Mg de CO₂eq por habitante ano⁻¹.

Essa tendência torna-se, ao mesmo tempo, um risco ao aquecimento global, mas também uma oportunidade em planejar um crescimento baseado em baixas

emissões de carbono e alta eficiência produtiva. Atualmente, o desafio da agropecuária brasileira, além de produzir alimentos para a população, é a preocupação com a diminuição de emissões de GEE. Dessa maneira, tornam-se necessários a avaliação e monitoramento dos gases poluentes nos sistemas de produção, além de propor estratégias de boas práticas e a adoção de políticas que visam à mitigação das emissões como tentativa de conter os impactos ambientais e tornar a agropecuária brasileira mais sustentável e competitiva no mercado internacional.

Outro desafio ambiental relacionado à pecuária brasileira é a intensificação dos sistemas de produção animal. Alguns autores consideram que a intensificação por meio do confinamento animal aumenta o impacto ambiental (PETERSEN, 2007; HOU et al., 2015), pois acreditam que os dejetos dos animais acumulados ao longo da criação dentro das instalações, lagoas ou tanques de tratamentos, onde sofrem uma série de reações, como decomposição, hidrólise, volatilização de amônia (NH_3), nitrificação, desnitrificação e fermentação, assim, favorecem a emissão de gases para o ambiente. Entretanto, Cerri et al. (2009) defendem que a adoção do confinamento e a modernização dos setores agrícolas podem ser uma forma de aumentar a produtividade animal e a produção de carne, o que resultará, consequentemente, na diminuição da emissão de gases por produto.

Em 2015, a produção brasileira de carne de frango alcançou o recorde de 13.146 milhões de toneladas, consolidando o país como segundo maior produtor de carne de frango, superando a China (ABPA, 2015). Dessa produção, cerca de 30% (4,3 milhões de toneladas) é destinada para o mercado externo, ocupando o primeiro lugar dos países exportadores de carne de frango (ABPA, 2015). Devido a essa posição, é fundamental adequar-se às exigências internacionais dos padrões de qualidade, procurando sempre recursos alternativos de melhoria, sem grande incremento no custo de produção.

Grande parte dessa produção é realizada em sistema de confinamento, o qual se caracteriza pela alta densidade de alojamento (TINÔCO et al., 2009; MENEGALI et al., 2013), ainda predominantemente em instalações abertas e sem ambiente controlado (TINÔCO et al., 2001; MENDES et al., 2014). Em razão dessa magnitude da produção animal e da qualidade das instalações nas condições brasileiras (climas tropical e subtropical), o confinamento em altas densidades de alojamento aumenta o potencial de intoxicação dos animais por gases poluentes

(OENEMA et al., 2005), entre os quais se destacam o CO_2 , o CH_4 e, principalmente, o NH_3 . Problemas no manejo das instalações e dos dejetos poderão aumentar substancialmente a emissão desses gases. O NH_3 tem sido apontado como principal gás nocivo em instalações avícolas, por ocorrer em maior concentração e afetar negativamente as aves e a saúde dos tratadores (YANG et al., 2000; SCHIKOWSKI et al., 2005; GAY, 2009; MENDES et al., 2014). Adicionalmente, a excessiva e contínua emissão de NH_3 interfere na qualidade do ar das circunvizinhanças das instalações avícolas (MUKHTAR et al., 2004), cujos odores incomodam.

Estudos realizados de forma independente em vários países têm buscado investigar as emissões de NH_3 e GEE na atividade animal para melhor compreensão da dinâmica e excesso desses gases na atmosfera (GROOT KOERKAMP et al., 1998; WHEELER et al., 2006; BURNS et al., 2007; SUTTON et al., 2008; CALVET et al., 2011; MILES et al., 2011; HOU et al., 2015), principalmente a amônia, uma vez que provoca efeitos adversos ao meio ambiente (KRUPA, 2003), como acidificação de solos (Van BREEMEN et al., 1982) e eutrofização das águas de lagos e rios (PHOENIX et al., 2006), além de sua volatilização, que está relacionada a futuras deposições de N na superfície do solo e, por nitrificação, formar o N_2O (emissão indireta). No entanto, dadas a expansão e variabilidade da área territorial brasileira (HOUGHTON et al., 1990; CASTANHEIRA; FREIRE, 2013) e as incertezas e variabilidade associadas às medições, o número de estudos dedicados à avaliação dos impactos e determinação dos potenciais de mitigação desses gases pelo manejo dos dejetos de frangos de corte ainda são escassos na literatura (CALVET et al., 2013; OGINK et al., 2013; TAKAI et al., 2013; MENDES et al., 2014).

Recentes pesquisas têm sido realizadas no Brasil sobre a emissão de NH_3 em galpões de frangos (MIRAGLIOTTA et al., 2004; LIMA et al., 2011; MENDES et al., 2014; LIMA et al., 2015). No entanto, estudos sobre as emissões de GEE ainda são escassos. Lima et al. (2011) apresentaram emissão de NH_3 para frangos de corte em diferentes condições de criação (cama nova vs. cama usada) combinadas com diversas densidades de alojamento. Osorio-Saraz (2014) adaptou um método de câmara estática para determinar as taxas de NH_3 em galpões de frangos em condições brasileiras, e Souza e Mello (2011) apresentaram um inventário das emissões de NH_3 para todas as categorias de animais domésticos do Estado do Rio de Janeiro. No entanto, foram utilizados fatores de emissão (FE) da

Europa e dos EUA e, portanto, nas condições de clima temperado, em que as construções são completamente fechadas e o resultado final do ambiente difere das condições brasileiras.

Prudêncio da Silva et al. (2014) realizaram estudo cuja metodologia de análise de ciclo de vida (ACV) foi utilizada para avaliar o sistema de produção de carne de frango no país. Esse trabalho ressaltou a ausência de dados sobre as emissões de GEE para as condições brasileiras na criação de frangos de corte. Assim, foi preciso adotar dados da França para finalizar a pesquisa. Adicionalmente, esses autores afirmaram que a principal dificuldade é obter dados mais específicos sobre as emissões provenientes do dejetos (cama de frango), pois para outras fontes como consumo de energia e combustível, uso do fertilizante na produção dos grãos já existem FE de emissão brasileiro (PRUDÊNCIO DA SILVA, 2011; PRUDÊNCIO DA SILVA et al., 2012).

Estratégias de mitigação para diminuir as emissões brasileiras de NH_3 também têm sido reportadas, como no estudo de Medeiros et al. (2008), que avaliaram o efeito de aditivos químicos na cama de frango como um meio de reduzir a volatilização de NH_3 . Cerri et al. (2010) também ressaltaram que, certamente, existem medidas mitigadoras que podem ser implantadas para suínos e aves, embora seja bastante evidente a carência, no Brasil, de informações consistentes sobre a real colaboração da produção intensiva de suínos e aves na emissão de GEE e também do potencial de mitigação da emissão desses gases.

Vários autores realizaram pesquisas sobre metodologias de GEE e NH_3 em instalações abertas de produção de animais (OGINK et al., 2013; Van OVERBEKE et al., 2014; JOO et al., 2014, entre outros), com o objetivo de quantificar a concentração desses gases no ambiente de criação e, ou, como medida auxiliar nas práticas de redução do nível de NH_3 nesse ambiente. Esses trabalhos são importantes para o desenvolvimento de sistemas de ventilação e exaustão, mas não fornecem os FE e estimativas precisas da emissão por categoria animal, dado importante para os inventários de GEE. Adicionalmente, há considerável variabilidade entre os valores propostos que, segundo Meda et al. (2011) e Hassouna et al. (2013), pode ser atribuída a problemas metodológicos, gestão peculiar de criação de cada país/região e complexas interações observadas nos dejetos dos animais.

Outra grande fonte de variação existente na literatura é a falta de padronização ao expressar os FE. A agência de proteção ambiental dos EUA *Environmental Protection Agency* (EPA) define FE como valor representativo que relaciona a quantidade de poluente emitido para a atmosfera associada a uma atividade e ao lançamento desse poluente (EPA, 1995; EPA, 2000). Dessa forma, os estudos precisam definir a unidade de produção. No caso da avicultura de corte, os FE dos dejetos de frangos de corte são definidos em emissão total por ave (g ave^{-1}) ou por peso da ave (LACEY et al., 2003). Ainda segundo esses autores, o efeito do crescimento das aves sobre as emissões está incluído e, assim, o fator de tempo fica implícito na definição. Isso ocorre devido à prática de alojamento adotada “todos dentro-todos fora”, em que as instalações são ocupadas por aves do mesmo lote no momento do alojamento e totalmente desocupada no momento do abate. Dessa maneira, um FE traz consigo premissas específicas sobre a produção e gestão de cada país e região. Em outras categorias de animais (ex. bovinos de corte confinados), em que o peso médio dos animais é constante em relação ao tempo, o FE pode ser definido em termos de unidade animal (UA) por unidade de tempo (LACEY et al., 2003).

Várias abordagens e diferentes metodologias podem ser usadas para estimar as taxas de emissão e determinar o FE. Phillips et al. (2000) e Lacey et al. (2003) definiram quatro abordagens para estimar as taxas de emissão de NH_3 a partir das atividades de animais: (i) Medições precisas de todas as entradas e saídas de N e, por diferença, definir as perdas; (ii) Medições individuais e modelos de todas as fontes possíveis dentro das instalações, sendo realizado o somatório das emissões de cada fonte para obter a estimativa global das emissões; e (iii) Determinar os fluxos de emissões diretas e indiretas, depois de definidos os limites operacionais e de acordo com as taxas de ventilação. Normalmente, essa abordagem é aplicável aos galpões de ventilação mecânica e natural, no entanto necessita de métodos precisos para detecção; e (iv) Uso da técnica do gás traçador para estimar a taxa de emissão. Essa última abordagem pode ser confiável na prática, mas requer grande experiência em manusear os equipamentos de medição.

Nesse contexto, esta pesquisa se encaixa na terceira abordagem, pois buscou estimar os fluxos dos poluentes da fonte de emissão (cama) para determinar os FE, sendo necessário desenvolver metodologias específicas para a quantificação direta das emissões de GEE e NH_3 e, adicionalmente, propor o FE nos dejetos de

frangos de corte sob condições tropicais brasileiras. Existe a necessidade de geração dessas informações para propor medidas de redução das emissões dos gases de modo a tornar a avicultura de corte mais sustentável. A adoção de tais medidas pode valorizar a carne brasileira e melhorar a aceitação dos mercados internacionais.

Diante dos argumentos expostos, o objetivo geral desta tese foi obter emissões acumuladas em base anual de NH_3 , CH_4 e N_2O provenientes dos dejetos de frangos de corte em condições climáticas e de manejo típicas do Brasil. Desenvolver metodologias adequadas para determinação dos fluxos dos gases e, assim, fortalecer a base de dados sobre os FE de gases poluentes provenientes da agropecuária brasileira.

Os objetivos específicos foram: (i) desenvolver um método-padrão e aperfeiçoar técnicas de amostragem de gases; (ii) testar e adaptar um método de mensuração de NH_3 ; (iii) caracterizar e obter melhor compreensão da dinâmica dos parâmetros físico-químicos da cama; e (iv) quantificar os fluxos e emissões de NH_3 , N_2O e CH_4 ao longo de quatro ciclos consecutivos de reúso da cama de frango e projetar as emissões anuais.

Três artigos foram redigidos para atender aos objetivos definidos nesta tese, os quais incluem uma série de implicações e especificidades relacionadas ao setor de criação de aves no Brasil. No primeiro artigo (capítulo 2), tratou-se de comparar metodologias e técnicas e, ao mesmo tempo, desenvolver e aperfeiçoar um método-padrão para medir as emissões dos GEE em instalações abertas, sem ambiente controlado. A segunda parte da pesquisa (capítulo 3) objetivou medir as emissões diretas (CH_4 e N_2O) e as indiretas (volatilização de NH_3) de GEE ao longo de quatro lotes consecutivos de reúsos da cama de frango, prática comumente adota pelos avicultores brasileiros. Adicionalmente, pretendeu-se obter melhor compreensão da influência da idade das aves, da reutilização da cama e os atributos físicos e químicos da cama nas emissões desses gases. No terceiro e último capítulo (capítulo 4), um balanço de massa (entrada e saída de N no sistema) para criação de frangos de corte a partir do sistema convencional de produção foi elaborado para avaliar a confiabilidade dos FE propostos nesta tese.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Relatório anual 2015**. Disponível em: <www.abpa-br.com.br/>. Acesso em: 25 jan. 2016.

BURNS, R. T.; XIN, H.; GATES, R. S.; LI, H.; OVERHULTS, D.; MOODY, L.; EARNEST, J. W. Ammonia emission from poultry broiler systems in the southeastern United States. In: International In: SYMPOSIUM ON AIR QUALITY AND WASTE MANAGEMENT FOR AGRICULTURE, 2007. **Proceedings...** St. Joseph, 2007.

CALVET, S.; CAMBRA-LÓPEZ, M.; ESTÉLLES, F.; TORRES, G. A. Characterization of gas emissions from a Mediterranean broiler farm. **Poultry Science**, Oxford, v.90, p.534–542, 2011.

CALVET, S.; GATES, R. S.; ZHANG, G.; ESTELLE'S, F.; OGINK, N.; PEDERSEN, S.; BERCKMANS, D. Measuring gas emissions from livestock buildings: a review on uncertainty analysis and error sources. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 116, p. 221-231, 2013.

CASTANHEIRA, É. G.; FREIRE, F. Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 54, p. 49-60, 2013.

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M.; CERRI, C. C. P.; FEIGL, B., BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, p. 831-843, 2009.

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 mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, p. 102-116, 2010.

EPA. **Compilation of air pollutant emission factors, AP-42**. 5. ed. Washington, DC: USEPA, 1995.

EPA. **Supplements to the compilation of air pollutant emission factors AP-42**. 5. ed. Washington, DC: USEPA, 2000.

FAO. **The state of food and agriculture: food systems for better nutrition**. Rome, 2013.

FAO. **Opportunities for economic growth and job creation in relation to food security and nutrition**: report to the G20 Development Working Group. Rome: FAO/OECD, 2014. Disponível em: <https://g20.org/wpcontent/uploads/2014/12/opportunities_economic_growth_job_creation_FSN.pdf>. Acesso em: 20 out. 2014.

GAY, S. W.; KNOWLTON, K. F. **Ammonia emissions and animal agriculture**. Blacksburg: Virginia Cooperative Extension, 2009. (Publication, 442-110).

HASSOUNA, M.; ROBIN, P.; CHARPIOT, A.; EDOUARD, N.; BERTRAND, M. . Infrared photoacoustic spectroscopy in animal houses: Effect of non-compensated interferences on ammonia, nitrous oxide and methane air concentrations. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 114, p. 318-326, 2013.

HOU, Y.; VELTHOF, G.; OENEMA, O. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta analysis and integrated assessment. **Global Change Biology**, Oxford, v. 21, p. 1293-1312, 2015.

HOUGHTON, J. T.; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS, J. J. **Climate Change**. The IPCC scientific assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Abate de animais, produção de leite, couro e ovos**. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201503_1.shtm>. Acesso em: 27 dez. 2015.

IPCC. **Mitigation of climate change**: contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

JOO, H. S.; NDEGWA, P. M.; HEBER, A. J.; BOGAN, B. W.; NI, J.-Q.; CORTUS, E. L.; RAMIREZ-DORRONSORO, J. C. A direct method of measuring gaseous emissions from naturally ventilated dairy barns. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 86, p. 176-186, 2014.

KRUPA, S. V. Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. **Environmental Pollution**, London, v. 124, p. 179–221, 2003.

KOERKAMP, P. W. G. G.; METZ, J. H. M.; UENK, G. H.; PHILLIPS, V. R.; HOLDEN, M. R.; SNEATH, R. W.; SHORT, J. L.; WHITE, R. P. P.; HARTUNG, J.; SEEDORF, J.; SCHRÖDER, M.; LINKERT, K. H.; PEDERSEN, S.; TAKAI, H.; JOHNSEN, J. O.; WATHES, C. M. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in northern Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 70, p. 79-95, 1998.

LACEY, R. E.; REDWINE, J. S.; PARNELL JUNIOR, C. B. Particulate matter and ammonia emission factors for tunnel-ventilated broiler production houses in the southern U.S. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 46, p. 1203-1214, 2003.

LIMA, K. A. O.; MOURA, D. J.; CARVALHO, T. M. R.; BUENO, L. G. F.; VERCELLINO, R. A. Ammonia emissions in tunnel-ventilated broiler houses. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 13, p. 265-270, 2011.

LIMA, N. D. S.; GARCIA, R. G.; NÄÄS, I. A.; CALDARA, F. R.; PONSO, R. Model-predicted ammonia emission from two broiler houses with different rearing systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, p. 393-399, 2015.

MEDA, B.; HASSOUNA, M.; AUBERT, C.; ROBIN, P.; DOURMAD, J. Y. Influence of rearing conditions and manure management practices on ammonia and greenhouse gas emissions from poultry houses. **World's Poultry Science Association**, Cambridge, v. 67, p. 441-456, 2011.

MEDEIROS, R.; SANTOS, B. J.; FREITAS, M.; SILVA, O. A.; ALVES, F. F.; FERREIRA, E. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2321-2326, 2008.

MENDES, L.; TINOCO, I.; OGINK, N.; ROCHA, K.; OSORIO, J.; SANTOS, M. Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 1179-1185, 2014.

MENEGALI, I.; TINÔCO, I. F. F.; CARVALHO, C. C. S.; SOUZA, C. F.; MARTINS, J. H. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 106-113, 2013.

MILES, D. M.; BROOKS, J. P.; SISTANI, K. Spatial contrasts of seasonal and intraflok broiler litter trace gas emissions, physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 40, p. 176-87, 2011.

MIRAGLIOTTA, M. Y.; NÄÄS, I. A.; MURAYAMA, M. C.; MOURA, D. J. Software para estimativa de emissão de amônia em alojamento de frangos de corte. **Revista Brasileira de Agroinformática**, São Paulo, v. 6, p. 79-89, 2004.

MUKHTAR, S.; ULLMAN, J. L.; CAREY, J. B.; LACEY, R. E. A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, GA, v. 13, p. 514-520, 2004.

OENEMA, O.; WRAGE, N.; VELTHOF, G. L.; GROENIGEN, J. W. V.; DOLFING, J.; KUIKMAN, P. J. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 72, p. 51-65, 2005.

OGINK, N. W. M.; MOSQUERA, J.; CALVET, S.; ZHANG, G. Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 116, p. 297-308, 2013.

OSORIO-SARAZ, J. A.; TINOCO, I. F. F.; GATES, R.; OLIVEIRA-ROCHA, K. S. O.; COMBATT-CABALERO, E. M.; SOUSA, F. C. Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. **Dyna**, Medellín, v. 81, p. 137-143, 2014.

PETERSEN, S. O.; SOMMER, S. G.; BÉLINE, F.; BURTON, C.; DACH, J.; DOURMAD, J. Y.; LEIP, A.; MISSELBROOK, T.; NICHOLSON, F.; POULSEN, H. D.; PROVOLO, G. S.; SØRENSEN, P.; VINNERAS, B.; WEISKE, A.; BERNAL, M. -P.; BÖHM, R.; JUHÁSZ, C.; MIHELIC, R. Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective, **Livestock Science**, Amsterdam, v. 112, p. 180-191, 2007.

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**, Amsterdam, v. 77, p. 355–364, 2000.

PHOENIX, G. K.; HICK, K. W.; CINDERBY, S.; KUYLENSTIERNA, J. C. I.; STOCK, W. D. S.; DENTENER, F. J.; GILLE, K. E.; AUSTIN, A. T.; LEFROY, R. D. B.; GIMENO, B. S.; ASHMORE, M. R.; INESON, P. Atmospheric nitrogen deposition in world biodiversity hotspots: the need for a greater global perspective in assessing N deposition impacts. **Global Change Biology**, Oxford, v. 12, p. 470–476, 2006.

PRUDÊNCIO DA SILVA, V. P. **Effects of intensity and scale of production on environmental impacts of poultry meat production chains**: life cycle assessment of French and Brazilian poultry production scenarios. 2011. 194 f. Thesis (PhD) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

PRUDÊNCIO DA SILVA, V. P.; ALVARENGA, R. A. F.; SOARES, S. R. Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 28, p. 25-32, 2012.

PRUDÊNCIO DA SILVA, V. P.; Van der WERF, H. M. G.; SOARES, S. R.; CORSON, M. S. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: an LCA approach. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 133, p. 222-231, 2014.

RUVIARO, C. F. **Life cycle assessment in beef production in Brazil**. 2012. 117 f. Thesis (PhD) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SCHIKOWSKI, T.; SUGIRI, D.; RANFT, U.; GEHRING, U.; HEINRICH, J.; WICHMANN, H.; KRAMER, U. Long-term air pollution exposure and living close to busy roads are associated with COPD in women. **Respiratory Research**, Rutgers, v. 6, p. 152, 2005.

SOUZA, P. A.; MELLO, W. Z. Estimativa das emissões de amônia por excreta de animais domésticos para o estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBERA, 2011.

SUTTON, M. A.; ERISMAN, J. W.; DENTENER, F.; MÖLLER, D. Ammonia in the environment: from ancient times to the present. **Environmental Pollution**, London, v. 156, p. 583-604, 2008.

STAVI, I.; LAL, R. Agroforestry and biochar to offset climate change: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Berlin, v. 33, p.81–96, 2013.

TAKAI, H.; NIMMERMARK, S.; BANHAZI, T.; NORTON, T.; JACOBSON, L. D.; CALVET, S.; HASSOUNA, M.; BJERG, B.; ZHANG, G. Q.; PEDERSEN, S.; KAI, P.; WANG, K.; BERCKMANS, D. Airborne pollutant emissions from naturally ventilated buildings: proposed research directions. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 116, p. 214-220, 2013.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 3, p. 1-26, 2001.

TINÔCO, I. F. F.; RESENDE, P. L.; FERREIRA, R. G da S.; FERREIRA, D. G. **Produção de frango de corte de alta densidade**. Viçosa: UFV/CPT, 2009. 256 p.

VAN-BREEMEN, N.; BURROUGH, P. A.; VELTHORST, E. J.; DOBBEN, H. F.; TOKE, W.; RIDDER, T. B.; REIJNDERS, H. F. R. Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall. **Nature**, London, v. 299, p. 548-550, 1982.

VAN-OVERBEKE, P.; PIETERS, J. G.; VOGEELEER, G.; DEMEYER, P. Development of a reference method for airflow rate measurements through rectangular vents towards application in naturally ventilated animal houses. Part 1. Manual 2D approach. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 106, p. 31-41, 2014.

YANG, P.; LORIMOR, L. C.; XIN, H. Nitrogen losses from laying hen manure in commercial high-rise layer facilities. **Transactions of the Asae**, St. Joseph, v. 43p. p.1771-1780, 2000.

WHEELER, E.; CASEY, K.; GATES, R. S.; XIN, H.; ZAJACZKOWSKI, J. L.; TOPPER, P. A.; LIANG, Y.; PESCATORE, A. J. Ammonia emissions from twelve U.S.A. broiler chicken houses. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 49, p. 1495-1502, 2006.

WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI. **6 graphs explain the world's top 10 emitters**. Washington, DC, 2013. Disponível em: <<http://bit.ly/11SMpjA>>. Acesso em: 28 dez. 2015.

2 MÉTODO DE MENSURAÇÃO DE FLUXOS DE GEE EM DEJETOS DE FRANGOS DE CORTE

Resumo

A indústria brasileira de produtos de origem animal, dentre elas as de carne de frango, estão em busca de uma forma de produção sustentável, com vista à atender as atuais exigências do mercado consumidor. Considerando que aproximadamente 100% da produção de frango de corte provêm de confinamentos, as emissões de GEE proveniente do manejo dos dejetos animais têm importante papel. Entretanto, informação sobre os impactos e potenciais de mitigação desses gases pelo manejo dos dejetos de frangos de corte confinados no Brasil é escasso, além de não existir um método padrão para medições diretas nos galpões brasileiros em condições tropicais. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi desenvolver um sistema de amostragem preciso para medir as emissões GEE (CO_2 , N_2O e CH_4) provenientes dos dejetos de frangos de corte empregando-se o princípio das câmaras estáticas fechadas e análise por cromatografia gasosa (CG). Primeiramente, foi realizado um ensaio de vedação utilizando duas técnicas diferentes: por água (CVA) e por borracha (CVB). A câmara com vedação por água apresentou menor variabilidade nos fluxos dos gases, o único problema foi trabalhar com a água diretamente na cama de frango, devido à umidade. Dessa forma, o sistema desenvolvido no presente estudo, chamado de SISAVE, foi composto por uma gaiola de criação, onde se buscou aplicar todas as práticas de manejo, e técnicas de coletas de gases. Foi realizado um segundo ensaio com monitoramento das emissões de GEE oriundas dos dejetos das aves, criadas no SISAVE e de forma tradicional no piso de concreto. Desempenhos zootécnicos e medições auxiliares de umidade, pH, C e N da cama, bem como temperatura relativa e umidade do ar dentro do galpão foram realizadas. Foi observada, diferença estatística somente para a umidade e fluxo de $\text{N-N}_2\text{O}$ entre sistemas. As emissões diretas a partir dos dejetos de frango no SISAVE totalizaram em 2,67 e 4,22 mg ave^{-1} para $\text{N-N}_2\text{O}$ e C-CH_4 , respectivamente, e 40,69 g ave^{-1} para C-CO_2 . No piso de concreto, as emissões acumuladas corresponderam 3,04 e 2,48 mg ave^{-1} para $\text{N-N}_2\text{O}$ e C-CH_4 , respectivamente, e 23,02 g ave^{-1} para C-CO_2 . Considerando que essa pesquisa apresenta uma metodologia aplicável e inovadora para determinar os fluxos de GEE e apresentar as primeiras avaliações de GEE em aviários abertos no Brasil, um maior número de estudos é recomendado para diminuição de incertezas e aprimoramento dos resultados. Estas informações são úteis para melhorar a quantificação de GEE da produção de carne de frango no Brasil, assim como percepções científicas para futuras pesquisas que possam avançar no conhecimento de impactos e alternativas de mitigação de GEE na produção de frangos de corte.

Palavras-chave: Metano. Óxido nitroso. Câmaras estáticas. Aviários. Manejo de dejetos.

METHOD OF MEASUREMENT OF GHG FLUX IN THE BROILER MANURE

Abstract

The meat industry in Brazil including the broiler production, is seeking sustainable production to cope with the current demand from consumers. Almost 100% of broiler production is performed in feed lot systems, where GHG and NH_3 emissions derived from animal manure cause great impact. However, the assessment of the impacts caused by GHG emission and the mitigation potentials considering Brazilian conditions is scarce. Particularly, there is a lack of standardized methodology to measure gas inside the production house in tropical conditions. Therefore, the objective of the present study was to adapt a sampling system to measure GHG (CO_2 , N_2O e CH_4) derived from the chicken litter. This adapted system included the principle of static chamber and gaseous chromatography (GC) analysis. Firstly, the sealing efficiency was tested using two techniques: (i) water gutter, and (ii) rubber seal. The first technique presents less variability, the only problem was to work with the water directly in the litter, because the moisture. Nevertheless some challenges have to be addressed when working with water closely to the litter. Thus, the adapted system, nominated SISAVE in the present work, included a growth cage and a static chamber with water gutter sealing system (CVA-SISAVE). A second experiment was carried to monitor GHG emissions derived from the chicken litter inside the SISAVE and in a conventional production houses, where chicken litter accumulated on the concrete floor, and emissions were measured by a different chamber system (CVA). Growth performance and additional measurements were taken from the litter, such as; moisture, pH, total C and N, as well as relative temperature and moisture inside the production houses. Moisture and N_2O -N fluxes were different between the systems. Direct emissions from the litter, in the SISAVE model, were 2.67 and 4.22 mg broiler⁻¹ of N_2O -N and CH_4 -C, respectively, and 40.69 g broiler⁻¹ of CO_2 -C. The conventional production house system resulted in accumulated emissions of 3.04 and 2.48 mg broiler⁻¹ of N_2O -N and CH_4 -C and 23.02 g broiler⁻¹ of CO_2 -C. Taking into account this research presents an applicable and innovative methodology to measurement the GHG flux and presents the first GHG emissions in open sided house in Brazil. More researches recommended for reducing uncertainty and improving the results. This information is useful to improve the GHG balance of broiler meat production in Brazil, as well as scientific insights for future research that might advance knowledge of impacts and alternatives of mitigation the GHG in the broiler production.

Keywords: Methane. Nitrous Oxide. Static Chamber. Broiler Houses. Manure Management.

2.1 Introdução

A avicultura é uma das atividades que mais se desenvolveu nas últimas décadas, reflexo do forte investimento em genética, nutrição, manejo e sanidade. O sistema de criação caracteriza-se pelo confinamento com alta densidade de animais, onde os dejetos são acumulados ao longo da criação dentro dos aviários. Concomitantemente, a esta intensificação de produção animal, ocorre o aumento do impacto ambiental (PETERSEN, 2007; HOU et al., 2015) com emissões de GEE, dentre os quais se destacam o dióxido de carbono (CO_2), o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4).

Entre as opções de métodos para quantificação direta dos GEE em sistemas de produção de animais, pode-se citar o método das câmaras estáticas fechadas e uso da cromatografia gasosa (CG). Ambos, são amplamente utilizados para estimar fluxos gasosos tanto em solos agrícolas (HEDLEY et al., 2006; ROCHETTE; ERIKSEN-HAMEL, 2008; LAM et al., 2015; BAYER et al., 2015), quanto em áreas de pastagem (SORDI et al., 2013; LESSA et al., 2014; MAZZETO et al., 2015) e confinamento bovino (COSTA JUNIOR et al., 2015).

Dentre os poucos trabalhos existentes no corpo da literatura científica, que utilizaram o método das câmaras estáticas fechadas aplicada à avicultura, podemos citar os de Guiziou e Béline (2005) e de Miles et al. (2011), no entanto, nesses estudos as concentrações dos GEE foram determinadas por CG e pela espectroscopia acústica com infravermelho (INNOVA), respectivamente. Na avicultura maior ênfase tem sido dada aos estudos relacionados à ambiência e bem estar das aves e de seus tratadores, com monitoramento aéreo das concentrações dos gases poluentes dentro das instalações de produção animal (WATCHES et al., 1997; GROOT KOERKAMP et al., 1998; CHADWICK et al., 1999). Contudo, quando esse monitoramento é feito pelo INNOVA os resultados têm-se apresentado bastante variado, sendo contestado por alguns autores (SCHILT et al., 2004; ZHAO et al., 2012; HASSOUNA et al., 2013) que apontam as incertezas que existem na medição de NH_3 , CH_4 , N_2O e CO_2 devido a seletividade dos filtros ópticos, mesmo com bandas de absorção estreitas, pode ocorrer interferência com outros gases do ambiente e ocasionar sub ou superestimação nos valores obtidos, os quais não são compensados nos estudos.

Vale ressaltar a dificuldade que existe para determinar as taxas de fluxo de ar com precisão em instalações abertas e com ventilação natural (ROY et al., 2002;

BOULARD et al., 2002; ZHANG et al., 2005). Ao passo que a metodologia de monitoramento de emissões gasosas em instalações fechadas e com ventilação mecânica encontra-se bem estabelecida e amplamente aceita pela comunidade científica, uma metodologia aplicável para as instalações abertas ainda é inexistente (OGINK et al., 2013). Por exemplo, os métodos recentemente propostos por Van Overbeke et al. (2014) e Joo et al. (2014), para monitoramento de taxas de ventilação e emissões em galpões abertos, respectivamente, resultam em valores associados a grandes incertezas relativas, são caros e possuem grandes limitações do ponto de vista prático.

Adicionalmente, associado à ausência de padronização metodológico, as informações disponíveis na literatura sobre as emissões de GEE na produção animal são variáveis e incertas (CHADWICK et al., 1999; MONTENY et al., 2001; IPCC, 2006; MEDA et al., 2011) devido as diversidades e condições particulares das instalações e manejo, bem como das inúmeras diferenças no sistema de criação e das complexas interações de decomposição observadas nos dejetos dos animais (IPCC, 2006; WOOD et al., 2015).

É evidente a carência de pesquisas e de uma metodologia padrão para obter dados mais precisos sobre as emissões de GEE em aviários fechados e principalmente em abertos. Adicionalmente, é necessário refinar a precisão dos inventários de emissões de GEE de acordo com a gestão peculiar de criação de cada país e região.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver um sistema adequado de amostragem para medir diretamente as emissões de GEE dos dejetos de frangos de corte, com base na utilização de câmaras estáticas e análise por CG.

2.2 Material e métodos

O estudo foi realizado em duas etapas: a primeira correspondeu ao aperfeiçoamento do método de amostragem de GEE na cama de frangos de corte, através do teste com diferentes modelos de vedação das câmaras. A segunda etapa constou de um experimento para validar a técnica selecionada e obter melhor entendimento da dinâmica de emissão dos GEE (CO₂, CH₄ e N₂O) ao longo da idade dos frangos.

As duas etapas foram conduzidas no galpão experimental do Departamento de Zootecnia, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”,

Piracicaba-SP, Brasil. O galpão possui orientação Noroeste-Sudeste e dimensões 32 m de comprimento × 8 m de largura × 3 m de altura do pé-direito, com laterais abertas completamente teladas e fechamento com cortinas operadas manualmente. O galpão é coberto com telhas de barro e possui piso revestido em concreto e muretas laterais em alvenaria com 0,6 m de altura. O manejo das cortinas foi determinado conforme a temperatura ambiente, umidade e principalmente condições térmicas exigidas pelas aves ao longo da criação (MANUAL ROSS, 2014). Para melhorar a circulação do ar de dentro do galpão em horários de alta temperatura ambiente e reduzida ventilação natural, foram utilizados ventiladores com alta vazão ($330 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$), com fluxo no comprimento do aviário.

2.2.1 Etapa 1: Avaliação da vedação em dois modelos de câmaras fechadas

Esta etapa foi conduzida em boxes de 1,5 m de largura × 3,0 m de comprimento, onde foram alojadas 40 aves sobre cama de casca de arroz, reutilizada durante dois ciclos de criação. Dois modelos de câmaras estáticas foram testadas: (i) câmara com vedação por água (CVA) e (ii) câmara com vedação por borracha (CVB). Foram confeccionadas três câmaras de cada modelo, as quais são detalhadas a seguir.

i) Câmara com vedação por água (CVA)

A base da CVA (Figura 2.1 esquerda) possui uma base circular com 0,15 m de raio e 0,20 m de altura e foi confeccionada de chapa em inox (espessura de 2,0 mm) e tampa de PVC de 0,08 m de altura, totalizando um volume interno de aproximadamente $0,02 \text{ m}^3$, o menor dos métodos considerados. Na parte superior da base, foi feita uma canaleta com 0,03 m de altura, para servir como encaixe da tampa, onde se adicionava água para garantir a vedação da câmara. Esse modelo era inserido na cama do aviário até atingir a superfície do piso, 30 min antes da coleta dos gases.

Esse modelo de câmara vem sendo bastante empregado nas pesquisas do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) (FEIGL; STEUDLER, 1995; MELILLO et al., 2001; MONTIEL et al., 2003; CARMO et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2011; CERRI et al., 2013; CARVALHO et al., 2014; BARNEZE et al., 2014; MAZZETO et al., 2015; COSTA JUNIOR et al., 2015) com enfoques em diferentes áreas.

ii) Câmara com vedação por borracha (CVB)

A CVB possuía seção retangular e era composta por duas partes: uma base de aço galvanizado (espessura de 2,0 mm) com dimensões de 0,70 m de comprimento $\times$ 0,45 m de largura (com uma borda de 0,02 m ao longo do perímetro) e com altura de 0,08 m, correspondente à altura da cama adotada no aviário, e uma tampa de aço carbono de 0,72 m de comprimento $\times$ 0,47 m de largura e altura de 0,08 m, totalizando um volume interno de aproximadamente 0,050 m³ (Figura 2.1 direita). Desta forma, ao fixar a base da CVB no piso de concreto sua abertura ficou rente à altura da cama do aviário, o que possibilitou sua permanência durante todo o período de criação das aves. Na borda superior da base, foi colocada uma borracha para vedação e possibilitar o apoio da tampa.

Figura 2.1 – Câmara com vedação por água (CVA) (esquerda) e câmara com vedação por borracha (CVB) (direita) utilizadas para coletar gases dos dejetos diretamente na superfície da cama do aviário

O método de monitoramento das concentrações gasosas em ambos os tipos de câmaras é descrito adiante na seção 2.2.4.

2.2.2 Etapa 2: Desenvolvimento do Sistema de Amostragem de Gases do Efeito Estufa na Avicultura (SISAVE)

Esta etapa do estudo foi realizada com o propósito de adaptar a melhor das técnicas estudadas na etapa anterior e em seguida realizar um experimento de monitoramento da dinâmica dos GEE (CO₂, CH₄ e N₂O) no sistema de produção de frango de corte.

O sistema desenvolvido nessa etapa foi intitulado: **“Sistema de Amostragem de Gases do Efeito Estufa na Avicultura (SISAVE)”**. O SISAVE segue o princípio

de câmaras estáticas (HUTCHINSON; MOSIER, 1981; CLAYTON et al., 1994; JONES et al., 2005), porém foram realizadas adaptações para medir os gases na avicultura (Figura 2.2). O sistema foi desenvolvido baseado na criação convencional de frangos de corte. Aspectos como: taxa de lotação, disponibilidade de cama para as aves, água e ração *ad libitum* foram considerados na implantação do sistema. Esses aspectos foram pensados para que haja a possibilidade de criar os animais dentro da gaiola durante todo o período de criação, a fim de obter a cama de frango representativa à esse período e poder reutilizá-la em outros lotes, assim como acontece na avicultura comercial.

O SISAVE (Figura 2.2) é um sistema completo de criação e medição direta de GEE da superfície da cama composto por uma gaiola, uma base (bandeja) de aço zincado; um carrinho para sustentação, elevação e translado da gaiola; uma chapa lisa de aço inox utilizada no momento da retirada da bandeja.

A gaiola foi confeccionada em metal moldado (malha de 25 mm) com dimensões de 0,70 m de comprimento $\times$ 0,70 m de largura $\times$ 50 cm de altura (Figura 2.2 esquerda), ou seja, a área de criação dentro da gaiola corresponde a 0,5 m². Para base dessa gaiola foi confeccionada uma bandeja removível de 0,10 m de altura para acúmulo da cama avícola (substrato + excreta). Essa bandeja da gaiola foi adaptada para funcionar como a câmara estática do SISAVE (CVA-SISAVE) (Figura 2.2 direita), de modo semelhante a CVA, descrita anteriormente, a CVA-SISAVE possui uma canaleta de 0,03 m de altura, na extremidade superior da câmara, para encaixe da tampa e vedação com uso de água.

Confeccionada a partir de aço galvanizado (espessura de 1,2 mm) e uma tampa (0,08 m de altura) de aço carbono e com pintura eletrostática branca, com uma pequena abertura controlada por uma válvula de plástico onde foram coletadas as amostras de gases. A CVA-SISAVE era retirada da gaiola nos minutos precedentes à coleta dos gases. Durante as medições, a bandeja com cama era substituída por uma chapa de aço inox de 0,70 m de comprimento $\times$ 0,70 m de largura, para servir de apoio para os frangos. No interior da tampa do CVA-SISAVE, foram instaladas duas ventoinhas (60 mm de diâmetro), no intuito de promover a circulação e homogeneização do ar no momento da coleta. Essas ventoinhas foram ligadas, 30 s antes de cada intervalo de coleta, por uma fonte de alimentação de 12 V.

Figura 2.2 – Sistema de amostragem de GEE na avicultura (SISAVE) (esquerda) e a câmara estática com vedação por água (CVA-SISAVE) (direita)

Os comedouros e bebedouros foram confeccionados de aço galvanizado com diferentes dimensões para atender às diferentes fases de criação das aves. Um modelo para a fase inicial (idade 1-14 d) com 0,64 m de comprimento $\times$ 0,095 m de largura $\times$ 0,05 m de profundidade e ainda com 0,01 m de dobra (lábios) interna na extremidade para evitar desperdícios de alimento. E outro para a fase adulta (idade 15-42 d) com medidas de 0,64 m de comprimento $\times$ 0,08 m de largura $\times$ 0,06 m de profundidade frontal $\times$ 0,09 m de profundidade na parte de trás do alimentador. (Figura 2.2 esquerda).

2.2.2.1 Descrição experimental

O experimento teve início em 24 de outubro de 2013 com duração de 40 d, na mesma área experimental da Esalq/USP.

Com objetivo de comparar as características da cama gerada no interior do SISAVE (CaSISAVE) com a cama do piso do galpão (CaPISO), realizou-se o caracterização do pH, teor de umidade, carbono e nitrogênio totais da cama (descrição detalhada na seção 2.2.3) em ambas condições de criação. Em ambos os sistemas de criação, o substrato utilizado como cama foi a maravalha de pinus (utilizou-se 5 kg m⁻² de maravalha nova).

Foram confeccionadas cinco unidades do SISAVE (área de $0,5 \text{ m}^2$) no interior do qual foram alojados quatro pintos de corte de um dia (2 machos e 2 fêmeas) da linhagem Ross®. No CaPISO foram utilizados 2 boxes de $1,5 \text{ m}$ de largura $\times$ $2,0 \text{ m}$ de comprimento, onde foram alojados 25 pintos em cada box. Para ambos os sistemas obteve-se a mínima densidade populacional 8 aves m^{-2} , visando a ergonomia para melhor desempenho das atividades.

2.2.2.2 Desempenho das aves

O acompanhamento do desenvolvimento das aves em ambos os sistemas de criação (CaSISAVE e CaPISO) foi realizado com o objetivo de avaliar possíveis influências dos sistemas no desempenho zootécnico, características físico-química da cama e nas emissões de GEE.

As dietas fornecidas aos frangos foram formuladas utilizando o programa de formulação *Super Crac 5,7 master*, com base nas exigências nutricionais propostas por Rostagno et al. (2011), levando em consideração a fase de criação, ganho de peso e linhagem das aves. Os alimentos utilizados foram: milho moído fino, farelo de soja, suplemento vitamínico-minerais e aditivos melhoradores de desempenho (composição da ração: Anexo 2A). Semanalmente, as aves e as sobras da ração fornecidas foram pesadas para a determinação das seguintes variáveis de desempenho: a) peso vivo (PV, g ave^{-1}); b) ganho de peso (GP, g ave^{-1}): determinado por diferença entre as pesagens das aves no início e final da criação; c) consumo de ração (Cra, g ave^{-1}): consumo médio de ração (obtida por meio de pesagem da ração fornecida às aves) dividida pelo número de aves; e d) Conversão alimentar (CA, g g^{-1}): obtido pela relação entre o consumo total de ração e ganho de peso do animal.

O programa de luz utilizado foi contínuo (24 h), sendo o aquecimento na fase inicial realizada por lâmpadas aquecedoras e a gás até o décimo segundo dia de idade das aves.

2.2.3 Caracterização da cama de frango

Para caracterização química das camas em ambos os sistemas (CaSISAVE e CaPISO) foram coletadas amostras em cinco pontos da área de criação. A

determinação de pH e umidade seguiram metodologia padrões (APHA, 1998; SILVA, 2006).

Na Tabela 2.1 é apresentada a caracterização química da cama de arroz avaliada na etapa 1 (descrita na seção 2.2.1). Adicionalmente, foi quantificado o teor de carbono e nitrogênio total, realizados pelo método da combustão via secos (NELSON; SOMMERS, 1982), em analisador elementar de C e N (Modelo: LECO CN 2000, Joseph/MI, USA).

Tabela 2.1 – Caracterização química da cama de arroz avaliada na etapa 1 (teste de vedação das câmaras) do estudo (média $\pm$ erro padrão) em diferentes idades das aves

Coleta d	Carbono Total ----- g kg ⁻¹ -----	Nitrogênio Total	Umidade ----- % -----	pH
19	392,3 $\pm$ 4,91	3,96 $\pm$ 0,14	28 $\pm$ 2,23	8,63 $\pm$ 0,23
26	392,7 $\pm$ 3,33	3,59 $\pm$ 0,20	33 $\pm$ 1,55	8,59 $\pm$ 0,02
33	382,7 $\pm$ 5,21	3,48 $\pm$ 0,19	44 $\pm$ 2,60	8,70 $\pm$ 0,11
40	391,3 $\pm$ 3,33	3,59 $\pm$ 0,06	48 $\pm$ 5,10	8,57 $\pm$ 0,09

2.2.4 Estratégia de amostragem dos GEE

Em ambas as etapas, a amostragem dos gases, análises e cálculos foram realizadas de acordo com Saggart et al. (2004). No sentido de permitir a adequada interpretação dos resultados, durante cada amostragem, foram obtidos dados de temperatura ambiente, do interior da câmara e da cama a 0,05 m de profundidade, além da pressão atmosférica no momento de coleta das amostras de gases.

Para a etapa 1, as medições dos fluxos de gases (N₂O, CH₄ e CO₂) no interior das CVA e CVB, foram realizadas semanalmente, no período compreendido entre 19 à 40 d de entrada das aves no ambiente. Após o fechamento das CVA e CVB foram coletadas amostras nos tempos 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90 e 120 min. Uma descrição detalhada dos procedimentos de extração de amostras de ar e cálculo das concentrações encontra-se na seção 2.2.5.

Na etapa 2, os fluxos de gases (N₂O, CH₄ e CO₂), no tratamento CaSISAVE, foram determinadas pela CVA-SISAVE desenvolvida no presente estudo (Figura 2.2 esquerda). Já os fluxos dos GEE do CaPISO foram realizadas pela câmara CVA (Figura 2.1 esquerda), testada na etapa 1 deste estudo (item 2.2.1). Foram utilizadas três câmaras CVA em cada boxe do galpão (CaPISO). As coletas dos gases foram realizadas semanalmente em 0, 10, 20, 40 e 60 min após o fechamento das tampas das câmaras (CVA-SISAVE e CVA). As CVA-SISAVE foram retiradas das gaiolas para realizar a coleta dos gases e as câmaras CVA eram acopladas no CaPISO

aproximadamente a 5,0 cm de profundidade e 30 min antes do início da coleta dos gases (estabilizar o sistema após a perturbação). Em ambas as câmaras, antes de iniciar a incubação era colocada água na canaleta para assegurar a vedação. A temperatura e umidade do ar dentro do galpão foram monitoradas por sensores de bulbo seco e registrado por dataloggers da marca HOBO® (Modelo: Onset UX 100-023, Bourne/MA, EUA), posicionados nos cinco metros iniciais e finais do galpão.

As coletas de gases em ambas as etapas foram realizadas no período da manhã (entre 8:00 as 10:00) conforme sugerido por Alves et al. (2012), com seringas BD (Modelo: 990173, Curitiba/PR, Brasil) de nylon de 20 mL, contendo uma válvula de retenção acoplada (BOWDEN et al., 1990). Após a coleta, as amostras de GEE foram transferidas para frascos de vidro, lacrados com rolhas de borracha, a vácuo. As amostras foram imediatamente enviadas para o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA/USP), onde foram analisadas em CG (Modelo: 8610C, SRI Instruments, Torrance/CA, USA), com detector por ionização de chama (FID) operado a 300°C. Com o FID, foram determinadas as concentrações dos gases CO₂ e CH₄ e outro detector de captura de elétrons ⁶³Ni (ECD) com temperatura elevada a 350 °C, que quantifica o N₂O na mesma amostra (SRI Instruments, 2014). Gases de calibração certificados foram usados como padrões (CH₄= 7285 ppm_v, CO₂= 7010 ppm_v e N₂O= 6,912 ppm_v). Colunas utilizadas: 2 Haysep-N de 3 m (um para cada detector) empacotadas + 2 pré-colunas porapak-Q de 1 m para remoção da umidade por back flush; Gás de arraste e fluxo em ambas as colunas: 30 mL min⁻¹ de N₂; Loop de injeção: 1 mL para o FID e 2 mL para o ECD.

Uma descrição detalhada do cálculo do fluxo dos gases oriundos dos dejetos da cama avícola com base nos dados de concentração medidos com o CG é feita na seção 2.2.5.

2.2.5 Cálculos e análise dos GEE

As variações nas concentrações de N₂O, CH₄ e CO₂ nas amostras em função do tempo após o fechamento das câmaras estáticas, associada às informações do volume e da área da câmara, da temperatura e da pressão atmosférica foram utilizadas para o cálculo do fluxo de N-N₂O e C-CH₄ em µg m⁻² h⁻¹ e C-CO₂ mg m⁻² h⁻¹. Os fluxos de cada gás foram calculados pela eq. (1) descrita por Barton et al. (2008).

$$F = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{M}{V_m} \quad (1)$$

Em que, F é o fluxo de cada gás em $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ C-CO₂, $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ N-N₂O, ou $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ C-CH₄; ΔC é a mudança de concentração do gás na câmara em $\mu\text{mol mol}^{-1}$ no intervalo de amostragem (Δt , h); V e A são, respectivamente, o volume da câmara em L, e a área coberta pela câmara, em m²; M é a massa molecular de N₂O e CH₄ ou CO₂ (2 x N = 28 g mol⁻¹ ou 1 x C = 12 g mol⁻¹); V_m é o volume molar na temperatura de amostragem (22,4 $\mu\text{L } \mu\text{mol}^{-1}$, nas CNTP).

As emissões acumuladas foram estimadas para o intervalo de tempo estudado. Inicialmente, estimou-se o fluxo diário (24 h), em seguida, obteve-se a emissão total no período por meio da integração trapezoidal do fluxo diário em função do tempo, pois na prática pressupõe que os fluxos são alterados de forma linear entre as datas de medição (WHITTAKER; ROBINSON, 1967).

2.2.6 Análise estatística

Os fluxos de GEE (FN-N₂O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$), FC-CH₄ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) e FC-CO₂ ($\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$)), as variáveis de desempenho zootécnicos (PV (g ave⁻¹), GP (g ave⁻¹), Cra (g ave⁻¹)) e características físicas da cama como umidade (%) e pH (valor absoluto) foram submetidos à teste de normalidade dos resíduos (PROC UNIVARIATE) e quando não se observou a normalidade dos dados, os mesmos foram transformados.

Foram desenvolvidos modelos matemáticos considerando-se os dois sistema de criação (CaSISAVE e CAPIISO) de forma agrupada e separada. Em seguida, foi realizada a análise de variância (ANOVA ou análise de regressão) no intuito de testar o poder explicativo de dois modelos (PROC GLM) para as variáveis dependentes (PV, GP, Cra, Um, pH, FN-N₂O, FC-CH₄ e FC-CO₂). Em primeiro lugar, desenvolve-se um modelo reduzido em função da idade das aves apenas, onde os conjunto de dados de ambos sistemas de criação (CaSISAVE e CAPIISO) foram unificados. Em seguida, um modelo mais complexo, ou modelo completo, no qual o tipo de sistema foi considerado de forma separada.

Para verificar a relação de causa e efeito entre as variáveis independentes com as dependentes, foi realizada a análise de regressão linear (PROC REG) com soma dos quadrados extra a partir de dados de saída de cada modelo (RAMSEY; SCHAFER, 2002). A soma dos quadrados extra serve para avaliar se existe

diferença significativa do poder explicativo do modelo reduzido em relação ao do modelo completo. Caso o modelo completo tenha o mesmo poder explicativo que o modelo reduzido, opta-se pelo modelo reduzido, por questão de simplicidade.

Todas as análises estatísticas deste estudo foram realizadas com o programa estatístico SAS 9.3 e os resultados apresentados foram transformados em escala original.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Etapa 1- Avaliação da vedação em dois modelos de câmaras fechadas

Os fluxos médios de FN-N₂O ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), FC-CH₄ ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) e FC-CO₂ ($\text{mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) provenientes dos dejetos com cama de casca de arroz, avaliados pelas câmaras CVB e CVA estão apresentados na Tabela 2.2.

Observam-se diferenças consideráveis entre os fluxos medidos entre os dois modelos de câmaras (Tabela 2.2). Para a CVB (vedação por borracha) fluxos de gases mostraram-se inferiores quando comparados com a CVA (vedação por água). Somente, o fluxo de CO₂ estimado pela CVB foi crescente ao longo da idade dos frangos (Tabela 2.2).

Os valores obtidos a partir do uso da câmara CVA mostraram-se crescentes ao longo do tempo de criação, os quais aumentaram consideravelmente com a idade das aves, simultaneamente com o maior acúmulo de excretas. Desse modo, pode-se dizer que as tendências obtidas a partir do uso da CVA foram mais condizentes com o esperado, ou seja, fluxos crescentes com a idade das aves, simultaneamente com o maior acúmulo de excretas.

A média de FN-N₂O para os 40 d de criação foi de $7,9 \pm 4,19$ e $222,1 \pm 75,75 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para CVB e CVA, respectivamente. Para o metano a diferença foi $0,04 \pm 0,74 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para a CVB e $6,31 \pm 3,80 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para CVA; e para o fluxo de C-CO₂ a diferença entre CVB e CVA foi ainda maior, de $146,60 \pm 37,09 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e $1319,31 \pm 190,50 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente.

Os maiores valores de fluxos na CVA indicam que a vedação com água foi mais eficaz para reduzir as trocas gasosas entre o interior e exterior da câmara.

Tabela 2.2 – Fluxos de N-N₂O, C-CH₄ e C-CO₂ (média ± erro padrão) para os dejetos (cama de maravalha + excretas) de frangos de corte mensurados com câmara com vedação por borracha (CVB) e câmara com vedação por água (CVA)

Modelo	Idade da ave dias	FN-N ₂ O µg m ⁻² h ⁻¹	FC-CH ₄ µg m ⁻² h ⁻¹	FC-CO ₂ mg m ⁻² h ⁻¹
CVB	19	6,61 ± 3,38	0,08 ± 1,10	49,90 ± 18,81
	26	1,79 ± 0,91	0,61 ± 0,36	82,60 ± 36,97
	33	1,90 ± 1,02	0,0 ± 0,0	147,86 ± 58,80
	40	21,36 ± 11,45	2,36 ± 0,95	306,04 ± 33,80
CVA	19	126,05 ± 51,11	2,01 ± 2,03	997,98 ± 10,65
	26	98,46 ± 37,68	4,73 ± 2,05	1562,96 ± 420,67
	33	119,70 ± 36,41	3,88 ± 8,23	976,36 ± 128,48
	40	544,16 ± 177,80	14,62 ± 2,91	1739,95 ± 202,20

Miles et al. (2006) quantificou fluxos bem superiores em cama de frango comparado com os fluxos de GEE obtidos nessa pesquisa, mas devido as diferenças de manejo e condições de galpão fica difícil a comparação dos valores. No entanto, estudos realizados por Wathes (1997) e Guiziou e Béline (2005) encontraram valores de emissão de N₂O e CH₄ insignificantes ou não detectáveis e concluíram que as emissões de N₂O e CH₄ são desprezíveis em aviários.

Miles et al. (2006) em galpões fechados nos EUA com ventilação controlada, onde tipicamente a cama foi reutilizada 28 vezes, obtiveram fluxos (média de 2 coletas) de 8,53 mg N-N₂O m⁻² h⁻¹, 16,54 mg C-CH₄ m⁻² h⁻¹ e 11,68 mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹. Esses autores utilizaram câmaras cilíndricas (fechadas), porém a determinação da concentração dos gases foi realizada pela técnica de infravermelho fotoacústica, tal método vem sendo criticado (HASSOUNA et al., 2013), dada a sua inconsistência nas estimativas das concentrações dos gases. Em contrapartida, no presente estudo utilizou-se como leitura dos gases a CG, técnica mais consolidada e sensível de detecção (Van DER HOFF; Van ZOONEN, 1999; ZHAO et al., 2005; HEDLEY et al., 2006).

No estudo de Guiziou e Béline (2005), as medições foram realizadas até os 35 d de criação por câmaras fechadas e leitura em cromatografia, no entanto as câmaras utilizadas apresentavam volume inferior (0,01 m³ para 0,02 m³ desse trabalho). Modelos de câmaras maiores sob a superfície da cama tornariam mais representativos e as estimativas dos fluxos dos gases, entretanto, podem ocasionar problemas de operacionalidade no galpão, além de serem de elevado custo de construção.

Calvet et al. (2011) avaliaram a emissão de CO₂ na produção de frangos de corte no intervalo entre 30 ao 33º dias de idade e obtiveram valores de 6,81 L ave⁻¹ h⁻¹, resultante dos animais e da cama. Nas primeiras 24 h após o abate

dos animais, as emissões foram de $1,36 \text{ L ave}^{-1} \text{ h}^{-1}$, sendo a cama a única fonte do CO_2 emitido. Por diferença, esses autores definiram que o CO_2 emitido pelos frangos foi de $5,45 \text{ L ave}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Verificou-se então que o CO_2 emitido pela cama representou 20% do emitido pelos animais na fase final antes do abate, aos 35 d, representando $2,66 \text{ g ave}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

As variações dos fluxos de GEE observadas nesta etapa, entre os modelos de câmaras avaliados, podem indicar a influência que a vedação exerceu sobre os fluxos de gases. Dessa forma, buscou-se desenvolver um sistema de amostragem de gases área total de criação e com vedação por água.

2.3.2 Etapa 2: Características climáticas do galpão e desempenho zootécnico dos frangos

A média de temperaturas observadas dentro do galpão no período de criação dos frangos foi de $25,9^\circ\text{C}$, com mínima de $19,2^\circ\text{C}$ e máxima de $39,0^\circ\text{C}$. A média da umidade foi de 65%, variando de 45 a 89% (Figura 2.3). A elevada temperatura observada no “dia zero” demonstra claramente a prática de gestão para a chegada dos pintinhos no galpão.

Figura 2.3 – Temperaturas ($^\circ\text{C}$) máxima e mínima e umidade relativa (%) média do galpão ao longo da criação de frangos de corte. Linha contínua vermelha refere-se a média de temperatura ideal para cada semana de criação

Durante o período de criação apenas três frangos morreram (mortalidade total 4%), dois por morte súbita e o terceiro por ascite. A morte pela síndrome ascítica

ocorreu aos 33 d de idade do frango, período em que a umidade atingiu 100%, sendo que o ideal nessa fase é uma umidade média de 60%. Discute-se que a síndrome de morte súbita está relacionada com stress calórico e a ascítica é consequência de desarranjos metabólicos e fisiológicos associados a condições do ambiente como a alta umidade e stress por frio (GONZÁLEZ et al., 2001).

As aves atingiram a média de peso de abate (2,9 kg) aos 40 d em ambos os sistemas (CaSISAVE e CaPISO) (Figura 2.4a). De acordo com a eficiência metabólica do animal o GP é crescente até a penúltima semana de criação (Figura 2.4b). A taxa de crescimento aumentou com a idade do frango até certo limite (35 d de criação), quando atinge a taxa máxima (744,5 g ave⁻¹ para CaSISAVE e 753,5 g ave⁻¹ para CaPISO) (Figura 2.4b). Esse é chamado o ponto de inflexão, em que a curva côncava se torna convexa, e corresponde o máximo crescimento (KESSLER, 2000). Os dados obtidos são consistentes com Marcato et al. (2008), que em seu estudo com frangos da linhagem Ross® percebeu-se o mesmo comportamento. Henn et al. (2014) obteve taxas de crescimento superiores nos machos da linhagem Cobb 500, sendo o platô atingido em idade mais precoce em comparação com uma linhagens de crescimento mais lento (C-44).

Figura 2.4 – Desempenho zootécnico das aves em ambos sistemas de criação (CaSISAVE e CaPISO) em função da idade dos frangos

O consumo total de ração foi semelhante no CaSISAVE e CaPISO, 4,48 e 4,45 kg ave⁻¹, respectivamente (Figura 2.4c), com uma média de conversão alimentar acumulada de 1,55.

Os detalhes do ajuste para modelo completo versus modelo reduzido estão apresentados na Tabela 2.4. A reduzida homogeneidade da variância entre os dados (PV, GP e Cra) foi necessária a transformação dos dados através da raiz quadrada (Tabela 2.4), pois a média dos dados foi semelhante à variância após transformação. Os resultados indicam que o espaço de alocação no SISAVE não

afetou o desempenho alimentar das aves, e que as aves em ambos os sistemas apresentaram desempenho semelhante.

A dependência entre a idade e das variáveis de desempenhos zootécnicos (PV, GP e Cra) foram significativas ($p < 0,01$) para todos os parâmetros ajustados pela análise de regressão (Tabela 2.4). Os coeficientes de determinação para PV, GP e Cra foram 0,99%, 0,99% e 0,97%, isso confirma a forte correlação dessas variáveis com a idade das aves.

2.3.2.1 Característica da cama de frango

O ajuste de modelos para umidade e pH da cama de frango estão apresentados na Figura 2.5 e Tabela 2.3. O resumo da análise de regressão e transformações dos dados para os parâmetros de propriedades físicas da cama de maravalha estão apresentados na Tabela 2.4, respectivamente.

O teor de umidade foi crescente em ambos os sistemas (CaSISAVE e CaPISO) ao longo da idade das aves (Figura 2.5a). O comportamento linear e positivo do teor de umidade (Tabela 2.4), em relação à idade das aves, pode ser explicado pela entrada contínua de excreta e características físicas da maravalha, e ainda, da maior umidade relativa do ar observada em vários períodos do experimento, principalmente na segunda e penúltima semana de criação (Figura 2.3).

O mesmo comportamento linear nos dois sistemas, a umidade no CaSISAVE mostrou-se significativamente ($p < 0,01$) diferente da umidade do CaPISO (Tabela 2.4). Dessa forma, adotou-se o modelo completo para cada sistema de criação (Tabela 2.3 e Figura 2.5). No entanto, na prática essa diferença de teor de umidade foi apenas de 10% entre os sistemas, o que torna insignificante a nível experimental.

O maior teor de umidade no CaSISAVE pode ter sido ocasionado pela impermeabilidade da bandeja da gaiola. Pode-se especular que, quando o frango foi criado no piso de concreto, a umidade foi atenuada pela própria porosidade do piso do galpão via absorção. Nos próximos trabalhos com o SISAVE seria interessante, de alguma forma, favorecer a evaporação da umidade da cama.

O coeficiente angular da equação de regressão (Tabela 2.4) para umidade foi significativo ($p < 0,01$), isso indica que a cada um dia de criação das aves induz a um aumento de 1,48% na umidade no CaSISAVE e 1,23% no CaPISO, com um erro de 0,04 e 0,05, respectivamente.

O teor de umidade é um fator importante que influencia nas emissões dos GEE. A água desempenha um papel na decomposição aeróbia do ácido úrico em NH_3 pelos microrganismos (GROOT KOERKAMP, 1994). Segundo esse autor, a taxa de amonificação é mais elevada quando o teor de umidade das excretas é entre 40 e 60%, faixa ótima para o crescimento microbiano.

Figura 2.5 – Teor de umidade (%) (a) e pH (b) da cama de ambos sistemas de criação (CaSISAVE e CaPISO) em função da idade do frango

Os valores médios de pH da cama apresentaram uma variação semelhante para ambos sistemas de criação, conforme representado na Figura 2.5b. O comportamento entre a relação idade das aves e pH se deu de forma não linear (Tabela 2.4), sendo adotado o modelo reduzido para explicar ambos sistemas (Tabela 2.3). Portanto, para pH não houve diferença ($p < 0,01$) entre o sistema CaSISAVE e CaPISO, mas foi significativamente influenciado pela idade das aves ($R^2 = 0,96$).

Em média, o pH inicial foi de 4,9 e 9,0 na última semana de criação (Figura 2.5b). A maravalha apresentou valores de pH neutro e devido o incremento contínuo de excreta, houve a ação dos microrganismos presentes na cama, que durante a criação, permanecem em intensa atividade provocando reações químicas com liberação de bases (OH^-), elevando ainda mais o pH da cama (WHEELER et al., 2006; MOSIER, 2004). Resultado parecido também foi encontrado por Oliveira et al. (2003) e por Cordeiro et al. (2010), usando cama de maravalha, porém com densidade populacional de 12 aves m^{-2} .

2.3.2.2 Fluxos dos GEE

O resumo da análise de regressão e os valores calculados de F-estatísticos interpretados pelos dois modelos (completo e reduzido) estão apresentados na

Tabela 2.3. O modelo completo foi apropriado apenas para umidade e fluxo de N-N₂O, dessa forma, para essas variáveis houve diferença significativa a 1% de probabilidade entre o sistema CaSISAVE e CaPISO. As demais variáveis foram explicadas pelo modelo reduzido, ou seja, não houve diferença significativa entre sistemas.

Tabela 2.3 – Resultados da soma dos quadrados extra

Variável§	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F
PV	1	0,36	0,36	0,55 ^{ns}
	45	45,49	1,01	
GP	1	0,50	0,50	0,11 ^{ns}
	45	213,77	4,75	
Cra	1	4,89	4,89	0,72 ^{ns}
	45	306,82	6,82	
Umidade	1	298,97	298,94	14,19 ^{**}
	45	948,31	21,07	
pH	1	<0,00	<0,00	0,04 ^{ns}
	42	0,003	<0,00	
FN-N ₂ O	1	0,02	0,02	7,22 ^{**}
	67	0,18	0,002	
FC-CH ₄	1	5,43	5,43	3,82 ^{ns}
	64	91,04	1,42	
FC-CO ₂	1	1,71	1,71	2,57 ^{ns}
	69	45,95	0,66	

§PV = Peso Vivo (g ave⁻¹); GP = Ganho de peso (g ave⁻¹); Cra= (g ave⁻¹); Umidade = Teor de umidade da cama (%); pH= pH da cama; FN-N₂O= Fluxo de N-N₂O; FC-CH₄ = Fluxo de C-CH₄; FC-CO₂ = Fluxo de C-CO₂

** Significativo a um nível de confiança de 99% e ns indica ausência de significância

A evolução dos FN-N₂O, FC-CH₄ e FC-CO₂ ao longo da criação dos frangos nos sistemas CaSISAVE e CaPISO estão apresentados na Figura 2.6.

Os dados amostrais de FN-N₂O no CaSISAVE não demonstraram homogeneidade ao longo da criação (Tabela 2.4). Um modelo composto descreve o fluxo de N-N₂O: na primeira semana (idade 0-7 d), o comportamento foi linear e positivo do FN-N₂O (Tabela 2.4). Para as demais semanas de criação (idade 14-40 d) de criação, o FN-N₂O foi significativo ($p < 0,01$) à idade das aves e ajustados a um modelo polinomial de 2º grau e efeito negativo, com R² de 0,51%.

Para o sistema CaPISO, a análise de regressão foi significativa entre dias de criação e FN-N₂O, sendo explicado pela regressão cúbica com efeito positivo, e o coeficiente de determinação de 0,79% (Tabela 2.4).

Os fluxos médios de CH_4 aumentaram com a idade dos frangos, sendo crescentes até o 21º dia de criação dos frangos, variando de 3,56 a 63,02 $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ para CaSISAVE e 14,46 a 46,52 $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ de C- CH_4 para CaPISO (Figura 2.6b). A partir daí os fluxos médios de C- CH_4 decresceram para 48,96 e 37,02 $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$, respectivamente, para CaSISAVE e CaPISO (Figura 2.6).

Os fluxos de N_2O e de CH_4 encontrados nessa pesquisa foram consistentes com estudos realizados por Sneath et al. (1997) e Guiziou e Béline (2005), onde não encontraram diferenças significativas nas concentrações de N_2O e CH_4 medidos fora e dentro dos galpões de frangos (baixos níveis de detecção), durante o período de criação. Guiziou e Béline (2005) e Henn et al. (2014) realizaram as coletas de gases da mesma forma que este estudo, em câmaras fechadas e analisadas por cromatografia gasosa.

Emissões de CH_4 foram obtidas por Wang e Huang (2005), que encontraram valor de 15,87 mg ave^{-1} produzida, enquanto que Watches et al. (1997) obtiveram uma emissão de 400 mg de CH_4 ave^{-1} e para emissão de N_2O 0,59 g h^{-1} , para cada 500 kg de peso vivo.

O fato de FCH_4 e FN_2O terem sido baixos para a cama de frangos de corte pode estar associado à propriedades (teor de umidade e pH) da cama, a qual neste experimento tratava-se de cama nova (1º ciclo de uso), e por isso menor acúmulo de excretas e compactação quando comparado com camas de maior reutilizações. Em condições de um aviário comercial, a cama é reutilizada em média por até seis lotes, nas condições de manejo e clima do Brasil, é esperado que a emissão de gases aumente, principalmente as de N_2O , favorecida por elevados teores de umidade e nitrogênio na cama, com a presença de microrganismos.

Os FN_2O e FCH_4 à partir dos resíduos da criação de animais são fenômenos complexos (MONTENY et al., 2001). Ambos são produzidos da degradação biológica de compostos presentes nos dejetos dos animais, sendo influenciados pelos mesmos parâmetros (temperatura e disponibilidade de substrato). Além dessas semelhanças, também há diferenças, principalmente nas condições sob as quais os gases são produzidos. O CH_4 é oriundo basicamente da cama, visto que animais monogástricos não realizam fermentação entérica (WANG; HUANG, 2005). Condições anaeróbicas, praticamente não existem em função das características dos materiais utilizados para constituir a cama e pelo revolvimento contínuo realizado pelos frangos e tratadores. No entanto, em condições de cama seca, a

fermentação aeróbica pode aumentar consideravelmente quando a umidade e, ou compactação da cama aumenta. De forma geral, o CH_4 é produzido pela degradação microbiana de carboidratos, ácidos orgânicos, proteínas e outros componentes orgânicos. Já a produção de N_2O na cama de frango ocorre pelos processos de desnitrificação e nitrificação, a partir do N proveniente das excretas (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989; BREMNER, 1997) e sobras de ração.

Henn et al. (2014), com base no balanço de C da cama, em galpões brasileiros de frangos de corte, estimaram que do total de C emitido pela cama, 99,85% estava na forma de CO_2 , enquanto que apenas 15% na forma de CH_4 .

Figura 2.6 – Fluxos de GEE da cama de ambos sistemas de criação (CaSISAVE e CaPISO) em função da idade do frango

Os fluxos médios de C-CO_2 foram crescentes até o 35º d de criação, com efeito quadrático entre as variáveis: idades das aves e os fluxos de C-CO_2 (Tabela 2.4). No galpão avícola, o CO_2 emitido é produto da respiração das aves e da decomposição aeróbica do ácido úrico (CARLILE, 1984) e tende a aumentar conforme a idade das aves e quantidade de substrato. A emissão de CO_2 obedece a uma dinâmica complexa, influenciada por propriedades da cama, tipo de material, umidade, relação C:N do substrato, manejo da cama (reutilização) e quantidade de excreta depositada, que por sua vez é dependente da taxa de crescimento dos frangos.

Os valores obtidos neste estudo são menores do que os obtidos por Calvet et al. (2011b) e Henn et al. (2014) que estudaram as emissões de CO_2 da cama de frangos da linhagem Ross e Cobb e obtiveram 2,66 e 1,33 g ave h^{-1} , no 35º d de idade das aves, respectivamente.

Tabela 2.4 – Equações para as relações entre a idade das aves (dias) e: peso vivo (PV) (g ave⁻¹), ganho de peso semanal (g ave⁻¹) e consumo de ração semanal (Cra) (g ave⁻¹), teor de umidade (Um) (%) e pH (valor absoluto) da cama, fluxo de N-N₂O (FN-N₂O) e C-CH₄ (FC-CH₄) (μg m⁻² h⁻¹) e fluxo de C-CO₂ (FC-CO₂) (mg m⁻² h⁻¹)

Variável	Natureza da transformação	Equação
PV	$X = \sqrt{PV}$	$Y = (6,4 \pm 0,3)^{**} + (1,03 \pm 0,03)^{**} X_1 + (0,0039 \pm 0,0008)^{**} X_2$
GP	$X = \sqrt{GP}$	$Y = (6,9 \pm 0,3)^{**} + (0,52 \pm 0,07)^{**} X_1 + (0,0198 \pm 0,0045)^{**} X_2 - (0,0005 \pm 0,00007)^{**} X_3$
Cra	$X = \sqrt{Cra}$	$Y = (7,7 \pm 0,7)^{**} + (0,75 \pm 0,03)^{**} X_1$
Um _{SISAVE}	-	$Y = (7,2 \pm 1,6)^{**} + (1,24 \pm 1,24)^{**} X_1$
Um _{PISO}	-	$Y = (6,1 \pm 1,3)^{*} + (1,03 \pm 0,05)^{**} X_1$
pH	$X = \frac{-1}{\sqrt{pH}}$	$Y = (0,4 \pm 0,003)^{**} - (0,002 \pm 0,0003)^{**} X_1 - (0,00002 \pm 0,000008)^{ns} X_2$
FN-N ₂ O _{SISAVE/0-7}	$X = \frac{-1}{\sqrt{FN_2O}}$	$Y = (0,2 \pm 0,02)^{**}$
FN-N ₂ O _{SISAVE/14-40}	$X = \frac{-1}{\sqrt{FN_2O}}$	$Y = (0,2 \pm 0,05)^{*} + (0,007 \pm 0,004)^{ns} X_1 - (0,0002 \pm 0,00008)^{ns} X_2$
FNN ₂ O _{PISO}	$X = \frac{-1}{\sqrt{FN_2O}}$	$Y = (0,3 \pm 0,03)^{**} + (0,02 \pm 0,006)^{*} X_1 - (0,0016 \pm 0,0003)^{**} X_2 + (0,00002 \pm 0,000005)^{**} X_3$
FC-CH ₄	$X = \sqrt{FCH_4}$	$Y = (2,8 \pm 0,4)^{**} + (0,02 \pm 0,09)^{ns} X_1 + (0,0101 \pm 0,005)^{ns} X_2 - (0,0002 \pm 0,0009)^{ns} X_3$
FC-CO ₂	$X = \log FCO_2$	$Y = (1,6 \pm 0,2)^{**} - (0,06 \pm 0,05)^{ns} X_1 + (0,0164 \pm 0,0028)^{**} X_2 - (0,0003 \pm 0,00005)^{**} X_3$

Os valores entre parenteses são a média e erro padrão;

** e * indicam significância estatística aos níveis de 1% e 5% respectivamente; e ^{ns} indica ausência de significância

Os resultados apresentados neste estudo mostraram que as emissões aumentaram na medida em que ocorreu o incremento de excretas das aves ao longo da criação. Segundo Miles et al. (2011) as emissões de gases tendem a aumentar com a idade das aves, uma vez que, as aves ingerem mais alimento à medida que envelhecem, o que reflete na produção de excreta, principal fonte de emissão. Além disso, o maior consumo de ração representa maior aporte de nitrogênio (N) e possivelmente maior excreção de N pelas excretas, dependendo da eficiência metabólica do animal, consequentemente, maior pode ser a emissão de gases.

O teor de umidade teve influência direta sobre as emissões de N-N₂O. O aumento no teor de umidade pode aumentar a amonificação e nitrificação devido a maior atividade microbiana (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989; BREMNER, 1997). Por outro lado, em condições de excesso de umidade, as emissões de N₂O podem reduzir drasticamente, pois essas condições favoreceriam a anaerobiose na cama, e assim também a produção de N₂ durante situações prolongadas da desnitrificação (LI et al., 2011; SINGURINDY et al., 2009). Fato esse observado nas emissões de N₂O no CaSISAVE, que inicialmente apresentaram maiores emissões do que o CaPISO mas devido sua maior umidade ao longo da criação as emissões reduziram a ponto de serem inferiores ao do CaPISO.

Em estudo realizado por Miles et al. (2006) em galpões fechados nos EUA com ventilação controlada, onde a cama foi reutilizada 28 vezes, obtiveram-se fluxos (média de duas coletas) de 8,53 mg N-N₂O m⁻² h⁻¹, 16,54 mg C-CH₄ m⁻² h⁻¹ e 11,68 mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹. Para mensuração dos fluxos esses autores utilizaram câmaras cilíndricas (fechadas), porém a medição foi realizada pela técnica de infravermelho fotoacústica, método bastante criticado (HASSOUNA et al., 2013).

Em contrapartida, neste estudo utilizou-se como leitura dos gases a CG, técnica mais consolidada e sensível de detecção (Van DER HOFF; Van ZOONEN, 1999; ZHAO et al., 2005; HEDLEY et al., 2006). Contudo, os fluxos (média de sete coletas) de $\text{N-N}_2\text{O}$ e C-CH_4 determinados nesta pesquisa foram inferiores quando comparados com os resultados de Miles et al. (2006), no entanto, para o fluxo de C-CO_2 os valores foram superiores.

Dadas as diferenças existentes entre condições de clima, tipo de galpão e manejo, isso faz com que as emissões de GEE necessitem de quantificações em nível local. Na literatura brasileira não foram encontradas informações sobre emissões de GEE a partir da cama de frango em galpões abertos.

2.3.2.3 Emissões acumuladas de GEE

A partir da evolução diária dos $\text{FN-N}_2\text{O}$, FC-CO_2 e FC-CH_4 de cada sistema, foram calculadas as emissões acumuladas durante o período de avaliação (Figura 2.7). As emissões acumuladas para $\text{N-N}_2\text{O}$ foram de 2,67 e 3,04 mg ave^{-1} para o sistema CaSISAVE e CaPISO, respectivamente. Para as emissões acumulada de C-CH_4 e C-CO_2 a média para ambos os sistemas foi de 3,35 mg ave^{-1} 22,04 g ave^{-1} , respectivamente.

Observa-se que, em se tratando de emissões acumuladas, as emissões de $\text{N-N}_2\text{O}$ não apresentaram grande diferença entre sistemas. Dessa forma, as emissões dos três gases (N_2O , CH_4 e CO_2) foram basicamente iguais nos dois sistemas de criação (CaSISAVE e CaPISO) (Figura 2.7).

Figura 2.7 – Emissões acumuladas de N-N₂O (mg ave⁻¹), C-CH₄ (mg ave⁻¹) e C-CO₂ (g ave⁻¹) nos sistemas avaliados ao longo da criação de frangos de corte

O sistema de amostragem de GEE proposto neste estudo (SISAVE) considerou todas as influências que poderiam existir em um método de quantificação de fluxos de GEE. A proposta com o SISAVE é realizar amostragem de gases na área total de criação para resolver o problema da falta de homogeneização da cama de frango e causar menor perturbação no sistema devido à inserção das câmaras (ROCHETTE; ERIKSEN-HAMEL, 2008) na superfície da cama. Obter dados de fluxos de GEE a partir de câmaras estáticas instaladas em locais pontuais no ambiente de criação pode apresentar incoerência e maior variação nos resultados. Acredita-se que o SISAVE possa estimar de maneira mais adequada os fluxos de GEE, por amostrar a área total de criação. Além de poder fazer medições de GEE em outras categorias, tais como poedeiras.

Em resumo, os resultados desta pesquisa consistem em informações preliminares sobre as influências nos métodos e na estimação de GEE em galpões abertos de frangos de corte. No entanto, dadas as diferenças existentes entre condições de clima, tipos de galpões e condições de manejo dos dejetos, ainda existem um grande grau de incerteza em relação aos fluxos de GEE propostos e isso faz com que novos estudos sejam necessários para realizar diferentes cenários e condições de manejo. Assim, é altamente recomendável que os pesquisadores busquem intensificar amostragens, identificar as limitações, comparar outras fontes e limites de emissões de GEE. Além disso, é fundamental que mais estudos no setor avícola sejam realizados visando às futuras exigências relacionadas às emissões de GEE na produção de carne de frango.

2.4 Conclusões

O SISAVE comportou de forma semelhante ao sistema de criação no piso do aviário. O SISAVE não influenciou o desempenho zootécnico das aves e nem nas propriedades (umidade e pH) da cama de frango. As emissões de N_2O , CH_4 e CO_2 oriundas da cama de frango foram semelhantes em ambos sistemas de criação.

Referências

ALVES, J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P. J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N_2O flux from soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 46, p. 12-19, 2012.

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

BARNEZE, A. S.; MAZZETTO, A. M.; ZANI, C. F.; MISSELBROOK, T.; CERRI, C. C. Nitrous oxide emissions from soil due to urine deposition by grazing cattle in Brazil. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 92, p. 394-397, 2014.

BARTON, L.; KIESE, R.; GATTER, D.; BUTTERBACK-BAHL, K.; BUCK, R.; HINZ, C.; MURPHY, D. V. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. **Global Change Biology**, Oxford, v. 14, p. 177-192, 2008.

BAYER, C.; GOMESA, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F.; PICCOLO, M. C.; DIECKOW, J.; SIXD, J. Soil nitrous oxid emissions affected by long-term tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 146, p. 213-222, 2015.

BOULARD, T.; KITTAS, C.; ROY, J. C.; WANG, S. Convective and ventilation transfers in greenhouses. Part 2. Determination of the distributed greenhouse climate. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 83, p. 129-147, 2002.

BOWDEN, R. D.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J. M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soil in the northeastern United States. **Journal of Geophysical Research**, Washington, DC, v. 95, p. 13997-14005, 1990.

BREMNER, J. M. Sources of nitrous oxide in soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 49, p. 7-16, 1997.

CALVET, S.; ESTELLE'S, F.; CAMBRA-LÓPEZ, M.; TORRES, A. G.; WEGHE, H. F.A. The influence of broiler activity, growth rate and litter on carbon dioxide balances for the determination of ventilation flow rates in broiler production. **Poultry Science**, Oxford, v. 90, p. 2449-2458, 2011a.

CALVET, S.; ESTELLÉS, F.; CAMBRA-LÓPEZ, M.; TORRES, A.G. Characterization of gas emissions from a Mediterranean broiler farm. **Poultry Science**, Oxford, v. 90, p. 534-542, 2011b.

CARLILE, F. S. Ammonia in poultry houses: a literature review. **World's Poultry Science Journal**, Columbus, v. 40, p. 99-112, 1984.

CARMO, J. B.; PICCOLO, M. C.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Short term changes in nitrogen availability, gas fluxes (CO₂, NO, N₂O) and microbial biomass after pasture re-establishment in Rondônia, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, p. 250-259, 2007.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; FRAZÃO, L. A.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 183, p. 167-175, 2014.

CERRI, C. E. P.; GALDOS, M. V.; CARVALHO, J. L. N.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. Quantifying soil carbon stocks and greenhouse gas fluxes in the sugarcane agrosystem: point of view. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, p. 361-368, 2013.

CHADWICK, D. R.; SNEATH, R. W.; PHILLIPS, V. R.; PAIN, B. F. A UK inventory of nitrous oxide emissions from farmed livestock. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 33, p. 3345-3354, 1999.

CLAYTON, H.; ARAH, J. R. M.; SMITH, K.A. Measurement of nitrous oxide emissions from fertilized grassland using closed chambers. **Journal of Geophysical Research. Atmosphere**, Washington, DC, v. 99, p. 16599-16607, 1994.

CORDEIRO, D. C.; SONODA, L. T. E.; MOURA, D. J. Reúso de cama de frango e seus efeitos na qualidade do ar e bem-estar das aves. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 18., 2010, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2010.

COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; PIRES, A. V. Net greenhouse gas emissions from manure management using anaerobic digestion technology in a beef cattle feedlot in Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 505, p. 1018-1025, 2015.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; SHIMEL, D. S. **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. New York: John Wiley, 1989. p. 7-21.

FEIGL, B. J.; STEUDLER, P. A. Effects of pasture introduction on soil CO₂ emissions during the dry season in the state of Rondônia, Brazil. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 31, p. 1-14, 1995.

GARCIA-MONTIEL, D. C.; STEUDLER, P. A.; PICCOLO, M. C.; MELILLO, J.; CERRI, C. C. Nitrogen oxide emissions following wetting of dry soils in forest and pastures in the Brazilian Amazon. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 64, p. 319-336, 2003.

GUIZIOU, F.; BÉLINE, F. In situ measurement of ammonia and greenhouse gas emissions from broiler house in France. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 96, p. 203-207, 2005.

GONZÁLEZ, F. H. D.; HAIDA, K. S.; MAHL, D.; GIANNESI, G. E.; KRONBAUER E. Incidência de doenças metabólicas em frangos de corte no sul do Brasil e uso do perfil bioquímico sanguíneo para o seu estudo. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, p. 141-147, 2001.

HASSOUNA, M.; ROBIN, P.; CHARPIOT, A.; EDOUARD, N.; BERTRAND, M. Infrared photoacoustic spectroscopy in animal houses: effect of non-compensated interferences on ammonia, nitrous oxide and methane air concentrations. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 114, p. 318-326, 2013.

HEDLEY, C. B.; SAGGAR, S.; TATE, K. R. Procedure for fast simultaneous analysis of the greenhouse gases: methane, carbon dioxide, and nitrous oxide in air samples. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, p. 1501-1510, 2006.

HENN, J. D.; BOCKOR, L.; MARX, F. R.; COLDEBELLA, A.; RIBEIRO, A. M. L.; KESSLER, A. M. Emissão de dióxido de carbono pela cama de primeiro lote de frangos de corte/emission of carbon dioxide in litter in the first flock of broilers. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 4, p. 45-52, 2014.

HENN, J. D.; BOCKOR, L.; RIBEIRO, A. M. L.; COLDEBELLA, A.; KESSLER, A. M. Growth and deposition of body components of intermediate and high performance broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 16, p. 319-328, 2014.

HOU, Y.; VELTHOF, G.; OENEMA, O. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta analysis and integrated assessment. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 21, p. 1293-1312, 2015.

HUTCHINSON, G. L.; MOSIER, A. R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 311-316, 1981.

IPCC. **Scientific Assessment**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

JONES, S. K.; REES, R. M.; SKIBA, U. M.; BALL, B. C. Greenhouse gas emissions from a managed grassland. **Global Planetary Change**, Amsterdam, v. 47, p. 201-211, 2005.

JOO, H. S.; NDEGWA, P. M.; HEBER, A. J.; BOGAN, B. W.; NI, J.-Q.; CORTUS, E. L.; RAMIREZ-DORRONSORO, J. C. . A direct method of measuring gaseous emissions from naturally ventilated dairy barns. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 86, p.176-186, 2014.

KESSLER, A. M.; SNIZEK, P. N.; BRUGALLI, I. **Manipulação da quantidade de gordura na carcaça de frangos**. Campinas: FACTA, 2000.

KOERKAMP, P. W. G. G. Review of emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 59, p. 73-87, 1994.

KOERKAMP, P. W. G. G.; METZ, J. H. M.; UENK, G. H.; PHILLIPS, V. R.; HOLDEN, M. R.; SNEATH, R. W.; SHORT, J. L.; WHITE, R. P. P.; HARTUNG, J.; SEEDORF, J.; SCHRÖDER, M.; LINKERT, K. H.; PEDERSEN, S.; TAKAI, H.; JOHNSEN, J. O.; WATHES, C. M. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 70, p. 79-95, 1998.

LAM, S. K.; SUTER, H.; DAVIES, R.; BAI, M.; SUN, J.; CHEN, D. Measurement and mitigation of nitrous oxide emissions from a high nitrogen input vegetable system. **Scientific Reports**, London, v. 5, p. 1-4, 2015.

LESSA, A. C.; MADARI, B. E.; PAREDES, D. S.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannahpastures contribute differently to direct and indirect soil nitrousoxide emissions. **Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 104-111, 2014.

LI, D.; LANIGAN, G.; HUMPHREYS, J. Measured and simulated nitrous oxide emissions from ryegrass and ryegrass/white clover-based grasslands in a moist temperate climate. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 84, p. 445–53, 2011.

ROSS AN AVIAGEM BRAND. **Ross Broiler Management Handbook**. Huntsville, AL, 2014. Disponível em: http://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-Broiler-Handbook-2014i-EN.pdf. Acesso em: 11 nov. 2015.

MARCATO, S. M.; SAKOMURA, N. K.; MUNARI, D. P.; FERNANDES, J. B. K.; KAWAUCHI, I. M.; BONATO, M. A. Growth and body nutrient deposition of two broiler commercial genetic lines. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 10, p. 117-123, 2008.

MAZZETO, A. M.; BARNEZE, A. S.; FEIGL, B. J.; VAN GROENIGEN, J. W.; OENEMA, O.; DE KLEIN, C. A. M.; CERRI, C. C. Use of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) does not mitigate N₂O emission from bovine urine patches under Oxisol in Northwest Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 101, p. 83-92, 2015.

MEDA, B.; HASSOUNA, M.; AUBERT, C.; ROBIN, P.; DOURMAD, J. Y. Influence of rearing conditions and manure management practices on ammonia and greenhouse gas emissions from poultry houses. **World's Poultry Science Journal**, Columbus, v. 67, p. 441-456, 2011.

MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; FEIGL, B. J.; NEIL, C.; GARCIA, D.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; TIAN, H. Nitrous oxide emissions from forests and pastures of various ages in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research**, Washington, DC, v. 106, p. 179-34,188, 2001.

MILES, D. M.; OWENS, P. R.; ROWE, D. E. Spatial variability of litter gaseous flux within a commercial broiler house: ammonia, nitrous oxide, carbon dioxide, and methane. **Poultry Science**, Oxford, v. 85, p. 167-172, 2006.

MILES, D. M.; BROOKS, J. P.; SISTANI, K. Spatial contrasts of seasonal and intraflok broiler litter trace gas emissions, physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 40, p. 176-87, 2011.

MONTENY, G. J.; GROENESTEIN, C. M.; HILHORST, M. A. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 60, p. 123–132, 2001.

MOSIER, A.; WASSMAN, R.; VERCHOT, L.; KINK, J.; PALM, C. **Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils**: sources, sinks and mechanisms. Dordrecht: Springer, 2004. p. 11-49.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A.L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: ASA, 1982.

OGINK, N. W. M.; MOSQUERA, J.; CALVET, S.; ZHANG, G. Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: developments over the last decade and perspectives for improvement. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 116, p. 297-308, 2013.

OLIVEIRA, M. C.; ALMEIDA, C. V.; ANDRADE, D. O. 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, p. 951-954, 2003.

PETERSEN, S. O.; SOMMER, S. G.; BÉLINE, F.; BURTON, C.; DACH, J.; DOURMAD, J. Y.; LEIP, A.; MISSELBROOK, T.; NICHOLSON, F.; POULSEN, H. D.; PROVOLO, G. S.; SORESEN, P.; VINNERAS, B.; WEISKE, A.; BERNAL, M. P.; BOHM, R.; JUHÁSZ, C.; MIHELIC, R. Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective, **Livestock Science**, Amsterdam, v. 112, p. 180-191, 2007.

RAMSEY, F. L.; SCHAFER, D. W. **The statistical sleuth: a course in methods of data analysis**. Boston: Brooks/Cole, 2002. 742 p.

ROCHETTE, P.; ERIKSEN-HAMEL, N. Chamber measurements of soil nitrous oxide flux: are absolute values reliable? **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 331-342, 2008.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV, 2011.

ROY, J. C.; BOULARD, T.; KITTAS, C.; WANG, S. Convective and ventilation transfers in greenhouses. Part 1. The greenhouse considered as a perfectly stirred tank. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 83, p. 1-20, 2002.

SAGGAR, S.; ANDREW, R. M.; TATE, K. R.; HEDLEY, C. B.; RODDA, N. J.; TOWNSEND, J. A. Modelling nitrous oxide emissions from dairy-grazed pastures. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 68, p. 243-255, 2004.

SANTOS, E.C.; COTTA, J.T.B.; MUNIZ, J.A.; FONSECA, R.A.; TORRES, D.M. Avaliação de alguns materiais usados como cama sobre o desempenho de frangos de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.14, n.4, p.1024-1030, 2000.

SCHILT, S.; THEVANAZ, L.; NICKLES, M.; EMMENEGGER, L.; HUGLIN, C. Ammonia monitoring at trace level using photoacoustic spectroscopy in industrial and environmental applications. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, Heidelberg, v. 60, p. 3259-3268, 2004.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006.

SINGURINDY, O.; MOLODOVSKAYA, M.; RICHARDS, B. K.; STEENHUIS, T. S. Nitrous oxide emission at low temperatures from manure-amended soils under corn (*Zea mays* L.). **Agriculture Ecosystems Environment**, Amsterdam, v. 132, p. 74-81, 2009.

SMITH, K. A.; CLAYTON, H.; MCTAGGART, I. P.; THOMSON, P. E.; ARAH, J. R. M.; SCOTT, A. The measurement of nitrous oxide emissions from soil by using chambers. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, London, v. 351, p. 327-338, 1995.

SNEATH, R. W.; PHILLIPS, V. R.; DEMMERS, T. G. M.; BUERGESS, L. R.; SHORT, J. L.; WELCH, S. K. Long term measurements of greenhouse gas emissions from UK livestock buildings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIVESTOCK ENVIRONMENT, 5., 1997, Bloomington. **Proceedings...** Bloomington, 1997. p. 146-153.

SORDI, A.; DIECHOW J.; BAYER, C.; ALBURQYERQUE, M. A.; PIVA, J. T.; ZANATTA, J. A.; TOMAZZI, M.; ROSA, C. M.; MORAES, A. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in subtropical Brazilian pastureland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 94-103, 2013.

SRI INSTRUMENTS. Torrance, CA, 2014. Disponível em: <<http://www.srigc.com>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Greenhouse gas emission caused by different land-uses in Brazilian Savannah. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 63-76, 2011.

VAN DERHOFE, G. R.; VAN ZONEN, P. Trace analysis of pesticides by gas chromatography. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 843, p. 301-322, 1999.

VAN OVERBEKE, P.; PIETERS, J. G.; VOGELEER, G.; DEMEYER, P. Development of a reference method for airflow rate measurements through rectangular vents towards application in naturally ventilated animal houses: Part 1: Manual 2D approach. **Computers and Electronics in Agriculture**, Oxford, v. 106, p. 31-41, 2014.

WATHES, C. M.; HOLDEN, M. R.; SNEARTH, R. W.; WHITE, R. P.; PHILLIPS, V. R. Concentrations and emission rate of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 38, p. 14-28, 1997.

WANG, S. Y.; HUANG, D. J. Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 18, p. 873-878, 2005.

WHITTAKER, E. T.; ROBINSON, G. **Trapezoidal and parabolic rules. the calculus observation:** a treatise of numerical mathematics. New York: Dover, 1967.

WOOD, D.; COWHERD, S.; VAN HEYSt, B. A summary of ammonia emission factors and quality criteria for commercial poultry production in North America. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 115, p. 236-245, 2015.

ZHANG, G.; STROM, J. S.; Li, B.; ROM, H. B.; MORSING, S.; DAHL, P.; WANG, C. Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 92, p. 355-364, 2005.

ZHAO, C. X.; LIANG, Y. Z.; FANG, H. Z.; LI, X. N. Temperature-programmed retention indices for gas chromatography–mass spectroscopy analysis of plant essential oils, **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1096, p. 76-85, 2005.

ZHAO, Y.; PAN, Y.; RUTHERFORD, J.; MITLOEHNER, F. M. Estimation of the interference in multi-gas measurements using infrared photoacoustic analysers. **Atmosphere**, Basel, v. 3, p. 246-265, 2012.

3 MONITORAMENTO E MODELAGEM DAS EMISSÕES DE GEE E NH₃ NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE EM MÚLTIPLOS REÚSOS DA CAMA

Resumo

Considerando a quantidade de resíduos gerados pela avicultura brasileira, em especial a cama de frango, há uma enorme pressão ambiental quanto à gestão e ao correto emprego e manejo desse material. Os objetivos desta pesquisa foram: (a) determinar, experimentalmente, as emissões diárias dos dejetos de frangos juntamente com os frangos, considerando a reutilização (média de quatro ciclos) da cama; (b) desenvolver um modelo empírico que explique a taxa de emissão dos poluentes em função do número de reutilizações, da idade das aves e de propriedades físico-químicas da cama; (c) projetar as emissões em base anual. Após a análise exploratória dos dados obtidos nesta pesquisa, foram ajustados modelos de regressão para as previsões de emissões de N₂O, CH₄ e NH₃ dos dejetos de frangos de corte. A idade das aves e o reúso da cama mostraram-se positivamente relacionados com os fluxos de N₂O, CH₄ e NH₃. As emissões acumuladas por quatro ciclo de criação permitiram calcular os fatores de emissão de N₂O, CH₄ e NH₃ em 0,14; 0,35; e 72,0 g ave-alojada⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, pelo manejo dos dejetos de frango de corte dentro do aviário. As projeções indicaram que a intensificação de reúso da cama de frango resultou em maiores emissões de GEE e NH₃ por ave produzida. Realizar a troca da cama em cada ciclo ao invés de reutilizá-la por seis ciclos pode reduzir de 21, 40 e 78% as emissões anuais de N₂O, CH₄ e NH₃, respectivamente. Esse seria um manejo alternativo para mitigar as emissões desses poluentes em confinamentos de frangos de corte no Brasil. Considerando essas emissões e o número de frangos de corte alojados no país, o Brasil emitiu em 2015 cerca de 545,1 Gg CO₂eq (excluindo CO₂ oriundo da respiração das aves), dos quais 84% foram provenientes da volatilização de NH₃, sendo consideradas como emissões de N₂O indiretas.

Palavras-chave: Inventário de GEE. Pegada de Carbono. Nitrogênio. Avicultura. Amônia.

MEASUREMENTS AND MODELING TO PREDICT OF GHG and NH₃ EMISSIONS IN BROILER PRODUCTION

Abstract

Considering the amount of wastes generated by the Brazilian poultry industry, especially poultry litter, there is enormous pressure regarding environmental management and safety handling of such. The main objective of this research were to determine the daily gas emissions from poultry litter and broiler, considering litter reuse (on average of four cycles); develop an empirical model to explains the gas emission rate depending on the number of reuses, the age of the birds and physicochemical properties of the litter; and project emissions on an annual basis. After exploratory analysis of data obtained in this study, multiple linear regression models were fitted to the predictions of N₂O, CH₄ and NH₃ emissions from poultry manure. The age of the birds and the litter reuse were positively correlated to N₂O, CH₄ and NH₃ fluxes. Physicochemical variables of the litter had significant influence on gas emissions. Creation four cycle cumulated emissions allowed us to calculate emission factors of N₂O, CH₄, and NH₃ in 0.14, 0.35 and 72,0 g bird-place⁻¹ year⁻¹, respectively, derived from poultry litter management within the poultry growing facility. Projections indicated that the intensification of the poultry litter reuse resulted in higher GHG emissions and NH₃ per broiler produced. Renewing the litter instead of reusing it for six cycles can reduce 21, 40 and 78% in annual emissions of N₂O, CH₄ and NH₃, respectively. This would be an alternative management to mitigate GHG emissions in broiler houses in Brazil. Considering the amount of broilers grown in Brazil in 2015, the gas emission reached about 545,1 Gg CO₂eq, of which 84% were from NH₃ volatilization, as indirect N₂O emissions.

Keywords: Greenhouse gases. Carbon foot print. Poultry industry. Nitrogen. Ammonia.

3.1 Introdução

A quantidade de gases de efeito estufa (GEE) emitida para a atmosfera alcançou novo recorde em 2014. O recente boletim emitido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM ou WMO), com base em observações globais, apontou que as concentrações de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) excederam os níveis pré-industriais em cerca de 36% (máximas de $397,7 \pm 0,1$ ppm), 254% (máximas $1833,0 \pm 1,0$ ppb) e 121% (máximas $327,1 \pm 0,1$ ppb), respectivamente (WMO, 2015). Esses aumentos nas emissões de gases alimentam fortes discussões e geram preocupação mundial quanto às mudanças climáticas que podem tornar o planeta mais inóspito para as gerações futuras.

Intensas negociações ocorreram recentemente na 21ª Conferência do Clima da ONU (COP 21), realizada em Paris, com um acordo considerado histórico, pois pela primeira vez quase todos os países do mundo se envolveram em um esforço para reduzir as emissões de carbono e conter os efeitos do aquecimento global. No Brasil, ações políticas e desenvolvimento tecnológico estão sendo adotadas, a exemplo da redução do desmatamento na Amazônia e no Cerrado, da ampliação da eficiência energética e da adoção de práticas e sistemas produtivos sustentáveis na agricultura, como o Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Nesse sentido, estudos mais aprofundados no Brasil são necessários para melhor quantificação das emissões diretas de GEE e indiretas como as emissões de NH_3 . É importante também buscar identificar as variáveis que influenciam nas emissões destes gases, estabelecer a relação entre elas e quantificá-las em modelos que possam prever resultados não sujeitos à observação direta ou de modo empírico. Assim, fatores de emissão (FE) podem ser determinados de forma mais representativa para os setores produtivos brasileiros.

Na avicultura de corte, em particular, os dados relativos às emissões de GEE provenientes dos dejetos de frangos em sistemas de criação são escassos, e as incertezas sobre os FE são relativamente elevadas (MEDA et al., 2011), o que dificulta a definição de políticas públicas e ações no setor produtivo para atingir os objetivos de redução assumidos e tornar a atividade mais sustentável.

A produção de frangos de corte se dá de forma intensiva e é liderada por grandes empresas que dominam o setor. Os frangos de corte são animais considerados relativamente eficientes ao transformar grãos em proteína animal de

qualidade para a alimentação humana, em curto espaço de tempo, utilizando pequena área, pouca água e energia. Essa eficiência é reflexo do forte investimento em genética, nutrição, sanidade e melhoria das condições ambientais, aplicado aos sistemas de produção. Por outro lado, existe a preocupação com o volume de resíduos orgânicos gerados nesse setor, cujo rebanho brasileiro já ultrapassa os 6,5 bilhões de cabeças de frangos (APINCO, 2016), que produzem anualmente cerca de 6-8 milhões de toneladas de dejetos, também conhecida como “cama de frango” (CONAB, 2014). Essa cama – material que forra o piso dos aviários, composto de um substrato vegetal, excretas dos animais, restos de ração, penas e descamações de pele – é considerada importante fonte de emissão de gases (principalmente NH_3). Ademais, a cama aviária é a de que se têm menos informações nos inventários de GEE (MILES et al., 2011; PRUDÊNCIO DA SILVA et al., 2014). A cama de frango pode ser reutilizada por até seis lotes, na ausência de problemas sanitários. No entanto, há relatos de que algumas empresas trabalham com 12 ciclos de reutilização (ÁVILA et al., 2007).

Vários países buscam melhorar as medições *in situ* de NH_3 e GEE da atividade animal (GROOT KOERKAMP et al., 1998; SUTTON et al., 2008; MILES et al., 2011; HOU et al., 2015) mas, devido à ausência de padronização metodológica e às incertezas e variabilidades associadas às medições, torna-se um desafio quantificar e monitorar diretamente as emissões nos sistemas de criação (MILES et al., 2011; MENDES et al., 2014). Esse desafio é ainda maior para o Brasil devido as condições climáticas, expansão territorial, manejo e criação das aves de corte (MENDES et al., 2014), predominantemente, em instalações abertas, e controle ambiental mínimo (TINÔCO, 2001).

Em uma revisão realizada por Meda et al. (2011) sobre as emissões de NH_3 e GEE em aviários, os autores destacaram a variabilidade de dados disponíveis na literatura (CHADWICK et al., 1999; MONTENY et al., 2001; IPCC, 2006) e discutiram a influência das práticas e condições de criação, com foco no gerenciamento dos dejetos e seu efeito sobre as emissões. Segundo esses autores, a diferença de manejo em reutilizar ou não a cama de frango explica os FE mais baixos para as emissões de NH_3 encontrados na Europa (WATHES et al., 1997; GROOT KOERKAMP et al., 1998a; DEMMERS et al., 1999; MULLER et al., 2003; GUIZIOU; BÉLINE, 2005; HAYES et al., 2006), onde a reutilização da cama é proibida por lei, devendo o resíduo ser removido após cada lote. Já nos EUA

(CASEY et al., 2003a, 2003b; 2004; SIEFERT et al., 2004; PESCATORE et al., 2005) a cama é utilizada por vários ciclos consecutivos (até 30 ciclos de reúso). Wheeler et al. (2003; 2006; 2008) e Gates et al. (2008) comparando os dois tipos de manejo de dejetos de frangos de corte, verificaram que a troca da cama de frango pode resultar em reduções das emissões de NH_3 de 21 a 52%. No que diz respeito às emissões de N_2O e CH_4 em aviários, a variabilidade dos resultados reportados na literatura é ainda maior (MEDA et al., 2011).

Nos inventários brasileiros, os GEE estimados para o setor agropecuário restringem-se ao metano (CH_4) e ao óxido nitroso (N_2O), enquanto que as emissões de CO_2 são excluídas, em razão do balanço nulo teórico, que considera que o CO_2 emitido para a atmosfera retorna através da fotossíntese das plantas, resultando na produção de grãos, por exemplo. O primeiro passo para calcular as emissões de GEE de uma determinada entidade é a identificação das possíveis fontes. Ao longo da cadeia produtiva existem emissões de GEE no transporte de insumos e animais, no uso de combustíveis fósseis, no uso da terra e na produção de alimento. Durante o ciclo de crescimento dos frangos, o CH_4 é oriundo basicamente da cama, visto que em animais monogástricos, por exemplo, frangos de corte, a fermentação entérica não é significativa (WANG; HUANG, 2005). Porém, a cama de frango em situações em que apresenta umidade e compactação, a fermentação pode aumentar consideravelmente, implicando em maior emissão de CH_4 . De forma geral, o CH_4 é produzido pela degradação microbiana de carboidratos, ácidos orgânicos, proteínas e outros componentes orgânicos. A produção de N_2O na cama de frango ocorre pelos processos de desnitrificação e nitrificação (a partir do N contido nas excretas e restos de alimento), realizados pelas bactérias presentes na cama (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989; BREMNER, 1997). No entanto, esta fonte de N_2O é muito pequena quando comparada, por exemplo, com as atividades agrícolas que envolvem o uso de fertilizantes nitrogenados (MOSIER et al., 2004).

Nesta pesquisa, objetivamos determinar os FE de NH_3 , CH_4 e N_2O dos dejetos de frangos de corte em condições climáticas e de manejo típicas do Brasil. Para isso, foram propostos os seguintes objetivos específicos: (i) determinar experimentalmente as emissões diárias dos dejetos de frango, considerando a reutilização da cama por quatro ciclos consecutivos; (ii) desenvolver um modelo empírico que explique a taxa de emissão dos gases em função do número de

reutilizações, da idade das aves e das propriedades físico-químicas da cama; e (iii) projetar as emissões para um ano de produção completo.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Descrição do local do estudo

O presente estudo foi realizado no aviário experimental do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, situada em Piracicaba, Brasil. O município de Piracicaba está localizado na região sudeste do estado do São Paulo, com altitude média de 546 m acima do nível do mar. O clima da região é classificado como mesotérmico úmido (Cwa, Koppen), com verões quentes e invernos secos. A precipitação média é 1270 mm ano⁻¹ e a temperatura média é 21,5°C. Entretanto, vale ressaltar que 2014, ano do experimento, foi considerado de clima atípico com períodos muito secos e quentes, e precipitação abaixo da média de 970 mm e temperatura média de 22,5°C.

3.2.2 Caracterização climática

Os dados das variáveis climáticas locais foram obtidos na estação meteorológica automática localizada nas instalações da área de física e meteorologia (LEB-ESALQ/USP). As variáveis observadas foram: temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m s⁻¹).

A descrição e a média dos dados climáticos durante o período experimental são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Dados climáticos da estação meteorológica automática (Leb, Esalq/USP) observados durante o período experimental

	Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Veloc. do ar (m s ⁻¹)
1° Ciclo: 16/05 a 27/06/14			
Média	19,3	89,7	--
Mínima	13,2	59,5	0,8
Máxima	26,7	100	6,7
2° Ciclo: 15/07 a 26/08/14			
Média	19,1	79,5	--
Mínima	11,6	46,6	1,1
Máxima	27,3	99,4	7,3
3° Ciclo: 11/09 a 22/10/14			
Média	23,6	74,9	--
Mínima	16,4	42,5	1,6
Máxima	32,0	98,8	9,6
4° Ciclo: 06/11 a 18/12/14			
Média	24,8	88,2	--
Mínima	19,6	61,8	1,4
Máxima	31,6	100	8,3

Fonte: Departamento de Biossistema: Leb - Esalq - USP (<http://www.leb.esalq.usp.br/automatica/pagina5.html>)

Os procedimentos de cuidado e tratamento humanizado na criação das aves utilizadas na condução deste experimento estão de acordo com as diretrizes brasileiras, baseadas na Lei Federal nº 11.794 de 08 de outubro de 2008 e aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

3.2.3 Descrição da unidade experimental

O galpão em que o experimento foi realizado enquadra-se no modelo comumente utilizado pela indústria avícola brasileira, porém em menor comprimento. Apresenta orientação Noroeste-Sudeste, com 15 m de comprimento × 8 m de largura × 3 m de altura do pé-direito, muretas laterais abertas em alvenaria com 0,6 m de altura. As laterais foram teladas e com cortinas operadas manualmente. O manejo das cortinas foi feito conforme a temperatura ambiente, umidade relativa e principalmente, de acordo com as condições térmicas exigidas pelas aves ao longo da criação (MANUAL ROSS, 2014).

O programa de luz utilizado foi contínuo (24 h), sendo o sistema de aquecimento na fase inicial realizada por lâmpadas incandescentes e à gás até o décimo segundo dia de idade das aves. Após esse período utilizou-se ventilação natural. Para renovação do ar de dentro do galpão em horários de alta temperatura

ambiente e reduzida ventilação natural, foi utilizado um ventilador com alta vazão ($330 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$), com fluxo direcionado no sentido comprimento do aviário.

3.2.4 Caracterização da dieta

As dietas ofertadas aos frangos foram formuladas a base de milho, farelo de soja, suplemento vitamínico e mineral, conforme níveis nutricionais recomendados pelas tabelas brasileiras (ROSTAGNO et al., 2011), de acordo com um programa nutricional dividido em quatro fases de criação das aves: pré-inicial (idade de 1-7 d), inicial (idade 8-21 d), crescimento (idade 22-33 d) e final (idade 34-40 d). Informações detalhadas sobre as dietas oferecidas aos animais estão apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Composições e valores nutricionais da dieta utilizada no estudo

Ingredientes,	Pré-inicial	Inicial	Crescimento	Final
			%	
Milho	52,05	57,66	60,98	64,77
Farelo de soja	41,02	36,22	32,47	29,15
Óleo de soja	2,71	2,40	3,25	3,23
Fosfato bicálcico	1,88	1,49	1,26	1,05
Calcário calcítico	0,91	0,92	0,86	0,77
Sal comum	0,50	0,48	0,45	0,44
DL-Metionina	0,33	0,27	0,24	0,22
L-Lisina HCl	0,20	0,17	0,16	0,17
Vitini-Ave ¹	0,10	0,10	0,08	0,06
Cloreto de Colina (60%)	0,08	0,08	0,06	0,04
L-Treonina	0,06	0,03	0,02	0,02
Min-Aves ²	0,05	0,05	0,05	0,05
Salinomicina (12%)	0,05	0,05	0,05	----
Total (kg)	100	100	100	100
----- Composição calculada -----				
Energia Metabolizável (kcal kg ⁻¹)	2950	3000	3100	3150
Proteína Bruta (%)	23,09	21,28	19,81	18,60
Lisina digestível (%)	1,31	1,17	1,07	1,01
Met.+cistina digestível(%)	0,94	0,84	0,78	0,73
Metionina digestível (%)	0,633	0,555	0,513	0,477
Treonina digestível (%)	0,852	0,763	0,701	0,656
Cálcio (%)	0,920	0,819	0,732	0,638
Fósforo disponível (%)	0,470	0,391	0,342	0,298
Potássio (%)	0,9017	0,8302	0,7711	0,7213
Sódio (%)	0,220	0,210	0,200	0,1950

¹DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Vit, A – 6.000 UI; Vit, D3 - 1800 UI; Vit, E - 24 UI; Vit, K3 – 1,8 mg; Vit, B1 – 1,2 mg; Vit, B2 – 3,6 mg; Vit, B6–2,4 mg; Vit, B12 - 12 µg; Ácido Nicotínico - 24 mg; Ácido Pantotênico – 7,2 mg; Biotina–0,09 mg; Ácido Fólico–0,6 mg; Selênio -0,15mg.

²DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Manganês - 80 mg; Ferro - 50 mg; Zinco - 50 mg; Cobre - 10 mg; Cobalto - 1 mg; Iodo - 1 mg

Semanalmente as aves, a ração fornecida e as sobras foram pesadas para avaliação do desempenho zootécnico. As variáveis de desempenho avaliadas foram: (a) peso vivo (PV, g ave⁻¹), determinado por diferença entre as pesagens das aves no início e final da criação e (b) consumo de ração (Cra, g ave⁻¹): consumo médio diário de ração (obtida por meio da pesagem da ração fornecida e as sobras) dividida pelo número de aves.

3.2.5 Sistema de amostragem de gases do efeito estufa na avicultura (SISAVE)

O sistema desenvolvido para realizar a amostragem de fluxos de GEE neste estudo foi descrito no Capítulo 2 desta tese, intitulado: “**Sistema de amostragem de gases do efeito estufa na avicultura (SISAVE)**”. O SISAVE segue o princípio das câmaras estáticas fechadas (HUTCHINSON; MOSIER 1981; JACINTHE; DICK, 1997; SAGGAR et al., 2004; JONES et al., 2005).

Considerando a participação dos frangos nas emissões dos GEE, o SISAVE passou a ser composto por uma câmara estática fechada de 448L, que compreende uma cúpula acrílica (0,8 m de comprimento × 0,8 m de largura × 0,7 m de altura) com válvula de coleta; uma base de chapa de aço zincado e canaleta; um carrinho; um sistema de roldanas; uma gaiola de metal moldado e sistema de ventilação (Figura 3.1).

Foram realizadas outras adaptações ao sistema após os resultados do estudo anterior (Capítulo 2 da tese). As principais alterações realizadas no SISAVE foram: (i) favorecer a evaporação da umidade da cama. Para tanto, foram recortados quatro quadrados (0,2 × 0,2 m) no fundo da bandeja, sobre os quais foram colocadas tela de aço inox; (ii) retirar o CO₂ de dentro da câmara estática SISAVE durante a incubação para evitar níveis tóxicos às aves. Para isso foi utilizada soda lime (CaO/NaOH) em pastilha que possui a propriedade de adsorver o CO₂ presente no ar; (iii) introduzir um sistema de ventilação nas câmaras de incubação, para homogeneizar o ar durante a incubação. Com este fim, foram instaladas duas ventoinhas no interior da gaiola, os fios das ventoinhas passaram por um sifão em forma de “U” soldado na base de metal da cúpula acrílica (preenchido com óleo viscoso para evitar troca de gases com o meio externo) e ligados a uma bateria externa de 12 V acionada no início da coleta dos gases; (iv) e por fim, na base da câmara foi soldado um tubo de cobre (diâmetro interno de 10⁻³ m) de 0,1 m de comprimento (0,05 m externo e 0,05 m interno na base). Esse tubo de cobre servia

para encaixar um dreno (tipo pulmão) para aliviar a pressão interna exercida no momento da incubação (utilizou-se bolsa coletora de líquidos com capacidade de 2,0 L Descarpack, registro: ANNVISA nº 10330660074) (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Sistema de amostragem de GEE na avicultura (SISAVE)

Um total de cinco unidades idênticas do SISAVE foram construídas, dispostas no interior do galpão e utilizadas como repetições experimentais.

3.2.6 Estrutura experimental

Para avaliação das emissões de NH_3 , CH_4 e N_2O , melhor compreensão da dinâmica desses gases na produção de frangos de corte e evitar perturbações das propriedades da cama durante o monitoramento das emissões gasosas, os frangos foram criados no interior do SISAVE até a idade de abate. Foram alojadas, em lote misto (macho e fêmea), aves da linhagem Ross®, densidade de oito aves m^{-2} , com cinco repetições. O substrato utilizado como cama foi a maravalha de pinus, sendo colocados 5 kg m^{-2} ($1,25 \text{ kg ave}^{-1}$) de maravalha sobre a bandeja do SISAVE (cerca de 10 cm de altura) (Figura 3.1).

As cinco unidades do SISAVE foram dispostas no eixo central do aviário experimental, que consistiu em cada unidade experimental. Foram conduzidos quatro lotes consecutivos de criação (duração de 42 d cada lote) sobre a mesma cama de maravalha, considerando a prática atual de manejo em reutilizar a cama de frango. Entre ciclos, com a saída dos animais para o abate, foi realizada a homogeneização de todas as camas das cinco gaiolas, e deixadas em descanso por 15 d (período de vazio sanitário), antes de iniciar-se o próximo ciclo.

3.2.7 Coleta e análise dos GEE

As amostragens para medições dos GEE (N_2O e CH_4) no interior das câmaras SISAVE no 1º e 4º ciclo foram realizadas de três em três dias ao longo dos 42 d de idade dos frangos. Já no 2º e 3º ciclo as coletas ocorreram semanalmente aos 7, 14, 21, 28, 35, e 42 d de idade das aves. Todas as coletas foram realizadas entre às 8:00 e 10:00 h.

Durante as amostragens dos GEE os frangos foram mantidos no interior das câmaras a fim de alterar o mínimo possível as condições físicas no interior das mesmas. Antes de iniciar as coletas, colocava-se soda lime sobre a gaiola metálica (interior da cúpula acrílica) para reter o CO_2 produzido pelas aves durante a coletas das amostras. Em seguida, acionavam-se as ventoinhas para homogeneizar o ar no interior da câmara, as quais permaneciam em funcionamento durante todo o período compreendido entre o início da incubação até o final da coleta. O período de amostragem foi de 60 min.

As amostras foram coletadas com seringas descartáveis BD (Becton Dickinson Ind. Cirúr. Ltda, Modelo: 990173, Curitiba/PR, Brasil) em 0, 15, 30, 45 e 60 min após o fechamento da cúpula acrílica do SISAVE. Após a coleta, as

amostras de GEE foram transferidas para frascos de vidro, lacrados com rolhas de borracha, e com vácuo (BOWDEN et al., 1990).

As amostras foram imediatamente enviadas para o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA/USP), onde foram analisadas em cromatógrafo gasoso (CG) (Modelo N° 8610C, SRI Instruments, Torrance, CA, USA), com detector por ionização de chama (FID) operado a 300°C. Com o FID, foram determinadas as concentrações de CH₄ e outro detector de captura de elétrons 63Ni (ECD) com temperatura elevada a 350°C, que quantifica o N₂O na mesma amostra (SRI Instruments, 2014). Gases de calibração certificados (partes por milhão em volume) foram usados como padrões (CH₄= 7285 ppm e N₂O= 6,912 ppm). Colunas utilizadas: 2 Haysep-N de 3 m (um para cada detector) empacotadas + 2 pré-colunas porapak-Q de 1 m para remoção da umidade por back flush; Gás de arraste e fluxo em ambas as colunas: 30 mL min⁻¹ de N₂; Loop de injeção: 1 mL para o FID e 2 mL para o ECD.

3.2.8 Coleta e análise de NH₃

Para avaliar as perdas de nitrogênio na forma de amônia (NH₃), utilizou-se o método desenvolvido por Araújo et al. (2009) e comparado por Jantalia et al. (2012). Trata-se de uma câmara semiaberta livre estática (SALE), confeccionada a partir de garrafa de plástico transparente de politereftalato de etileno (PET), com capacidade para 2 L e com área na base de 0,008 m². Lâminas de espumas de poliuretano (17 kg m⁻³) com 0,003 m de espessura, 0,25 m de largura e 0,25 m de comprimento foram embebidas em 10 mL de solução de H₂SO₄, 1 mol L + glicerina (2% v/v) e suspensas verticalmente com o auxílio de um fio rígido dentro da pet. Dessa forma, o NH₃ ao volatilizar, fica retido na espuma pelo ácido e fixado na forma de NH₄⁺. Utilizou-se a técnica de análise química por injeção em fluxo (FIA) (RUZICKA; HANSEN, 1975; Reis e Bergamin, 1993) para a inserção de uma alíquota da amostra em solução aquosa em um fluido carregador (NaOH).

Neste estudo, foram realizadas adaptações no coletor SALE para utilizá-lo dentro do SISAVE. Foi confeccionado um suporte cilíndrico de alumínio para o coletor SALE, com o intuito de mantê-lo fixo na vertical e evitar derramamento de ácido sobre a cama (Figura 3.2). O coletor era preso na parte superior da gaiola e o suporte servia para firmar a pet na cama.

Figura 3.2 – Câmara semiaberta livre estática (SALE) adaptado para a gaiola com cama de frango

Foram instalados dois coletores SALE em cada gaiola e realizados rodízios ao longo do dia durante o período experimental. Aproximadamente, a cada três dias (72h), as espumas eram retiradas, acondicionadas em frascos de vidro de 50 mL fechados hermeticamente, identificadas e armazenadas em congelador (-20 °C) até momento da análise. Novas espumas eram colocadas no coletor SALE. Essa rotina foi mantida durante todo o período de criação (42 d).

A extração da NH_3 capturada pela esponja no interior dos coletores SALE foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA/USP), onde a espuma e a solução, remanescentes em cada frasco, foram transferidas para tubos de erlenmeyer de 125 mL, com massa previamente conhecida. Posteriormente, adicionaram-se 80 mL de água destilada a cada tubo. Os tubos com a solução e a lâmina de espuma foram levados a um agitador horizontal a 160 rpm. Após 30 min, os tubos foram removidos do agitador e pesados.

3.2.9 Monitoramento de dados climáticos no galpão e coletas de amostras de cama aviária

No sentido de permitir a adequada interpretação dos resultados de emissão de GEE, foram obtidos dados de temperatura e pressão atmosférica no momento da amostragem dos gases. Para monitorar temperatura (T_{bs}) e umidade relativa (UR) do ar ao longo dos quatro ciclos, foram utilizados sensores acoplados a um sistema de aquisição de dados de temperatura e umidade, marca HOBO® (Modelo: Onset UX 100-023, Bourne/MA, EUA), posicionados nos cinco metros iniciais e finais do

galpão. Simultaneamente, também, foram realizados registros das variáveis ambientais (temperatura e umidade relativa do ar) em cada gaiola pelos sensores termistor da marca LOGEN® (Modelo: Alpax LS8856, SP/Brasil) posicionado no nível das aves.

Amostras de cama foram coletadas nos dias de coletas de gases e analisadas quanto ao pH (adimensional), teor de umidade (U_g , %), carbono total (C_{total} , g kg⁻¹) e N (N_{total} , g kg⁻¹) de acordo com metodologias padrão (APHA, 1998; NELSON; SOMMERS, 1982). Devido à variabilidade do material, as coletas foram realizadas em cinco pontos no interior de cada câmara SISAVE, depois feita a homogeneização do material para retirada de uma amostra composta para análise com peso total de aproximadamente 0,1 kg peso úmido. As camas de frango, de cada gaiola, foram revolvidas ao final de cada dia de amostragem para evitar compactação e elevação excessiva da umidade.

3.2.10 Cálculos das emissões e análise estatística dos resultados

As variações nas concentrações de N₂O e CH₄ nas amostras em função do tempo após o fechamento da câmara (0, 15, 30, 45 e 60 min), associada às informações do volume e da área da câmara, da temperatura ambiente e da pressão atmosférica foram utilizadas para o cálculo dos fluxos de N₂O e CH₄ em µg m⁻² h⁻¹. Os fluxos de cada gás (N₂O e CH₄) foram calculados pela eq. (1) descrita por Barton et al. (2008).

$$F = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{M}{V_m} \quad (1)$$

Em que:

F - fluxo de cada gás (N-N₂O ou C-CH₄) em µg m⁻² h⁻¹;

ΔC - mudança de concentração do gás na câmara em µmol mol⁻¹ no intervalo de incubação (Δt, h);

V e A – volume da câmara em L, e a área coberta pela câmara, em m³ e m², respectivamente;

M – massa molecular de N₂O e CH₄ (2 x N = 28 g mol⁻¹ ou 1 x C = 12 g mol⁻¹);

V_m – volume molar na temperatura de amostragem (22,4 µL µmol⁻¹, nas CNTP).

Após o cálculo dos fluxos, foram estimadas as emissões acumuladas (EN-N₂O, EC-CH₄ e EN-NH₃ em mg ave⁻¹ d⁻¹) para cada ciclo e no intervalo de 42 d de

criação das aves. Inicialmente, estimou-se o fluxo diário (24 h), em seguida, obteve-se a emissão total no período por meio da integração trapezoidal do fluxo diário em função do tempo, pois na prática pressupõe que os fluxos são alterados de forma linear entre as datas de medição (WHITTAKER; ROBINSON, 1967).

Em relação ao poluente NH_3 , as taxas médias de perdas de N-NH_3 (miligrama por coletor) foram calculadas pela diferença das perdas acumuladas entre períodos consecutivos de coleta e expressas como $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e efetuada a transformação para $\text{mg N-NH}_3 \text{ m}^{-2}$, de acordo com diâmetro e a eficiência do coletor definida por Araújo et al. (2009). Devido a essa diferença de metodologia do NH_3 (coletas realizadas em períodos de 3 d), os testes estatísticos utilizaram a emissão acumulada de N-NH_3 ($\text{mg N-NH}_3 \text{ m}^{-2}$).

a) Análise exploratória dos dados

Valores calculados de $\text{FN-N}_2\text{O}$, FC-CH_4 e EN-NH_3 foram tabelados com os dados referentes às propriedades físicas e químicas da cama (pH , U_g , C_{total} e N_{total}) além da T_{bs} . Esses dados foram organizados conforme o ciclo de reúso da cama (adimensional) e idade das aves (dias) onde as respectivas medições foram realizadas (repetição).

Uma análise exploratória dos dados organizados como descrito no parágrafo anterior foi realizada com o procedimento PROC UNIVARIATE, do aplicativo SAS®, versão 9.2. Essa etapa foi realizada com o objetivo de observar se os resíduos das variáveis U_g , pH , C_{total} , N_{total} , T_{bs} , $\text{FN-N}_2\text{O}$, FC-CH_4 e EN-NH_3 seguiam os critérios de distribuição normal e dispersão homogênea. Quando ao menos um desses critérios foi violado, transformações foram realizadas.

b) Observação das inter-dependências

Uma análise visual para detecção de possíveis correlações entre pares de variáveis foi realizada com os dados em escala original ou transformada. Para tal, matrizes de gráficos de dispersão foram geradas com o PROC SGPLOT (Anexo 3A).

Para os pares de variáveis selecionados acima, uma análise de correlação foi conduzida com o procedimento PROC CORR e os coeficientes de correlação foram testados para significância ($H_0: r^2=0$). Os pares de variáveis com coeficientes de correlação estatisticamente diferentes de zero foram considerados como possíveis

variáveis explanatórias nos modelos de regressão linear múltipla das emissões, como descrito a seguir.

c) Análise de co-variância (ANCOVA)

Para cada uma das emissões (FN-N₂O, FC-CH₄ e EN-NH₃), um modelo de regressão linear múltipla foi ajustado (Eq. 2). Para contornar problemas de não normalidade e heteroscedasticidade, foi necessário transformar (em logaritmo natural) as variáveis de emissões. A idade das aves, o número de reúso da cama e os atributos físicos e químicos da cama foram considerados como possíveis variáveis explanatórias. Em alguns casos foi necessário realizar transformações também nas variáveis explanatórias, essas transformações são explicitadas no modelo representado na Eq. 2.

$$Y_i = \beta_1 \text{ciclo} + \beta_2 \text{idade} + \beta_3 \ln(U_g) + \beta_4 \text{pH} + \beta_5 C_{\text{total}} + \beta_6 N_{\text{total}}^2 + \beta_7 T_{\text{bs}} + \beta_8 [\text{ciclo} \times T_{\text{bs}}] + \beta_9 [\ln(U_g) \times \text{pH}] + \beta_{10} [\ln(U_g) \times C_{\text{total}}] + \beta_{11} [\ln(U_g) \times N_{\text{total}}^2] + \beta_{12} [\text{pH} \times C_{\text{total}}] + \beta_{13} [\text{pH} \times N_{\text{total}}^2] + \beta_{14} [C_{\text{total}} \times N_{\text{total}}^2] + \varepsilon_i \quad (2)$$

Em que:

Y_i N₂O e C-CH₄ - emissão do poluente (g ave⁻¹ d⁻¹) convertida para a escala logarítmica;

Y_i N-NH₃ - emissão do poluente (g ave⁻¹) convertida para a escala logarítmica;

β_j - parâmetros do modelo, obtidos via análise de regressão;

ciclo – número do reúsos da cama (1-4, adimensional);

idade – idade das aves (1-42, d);

U_g – teor de umidade da cama de frango (%);

pH – potencial hidrogeniônico da cama (adimensional);

C_{total} – teor de carbono total da cama (g kg⁻¹);

N_{total} – teor de nitrogênio total da cama (g kg⁻¹);

T_{bs} – temperatura de bulbo seco média no interior do galpão (°C);

ε_i - erro aleatório do experimento.

A análise de regressão (ou co-variância) foi conduzida mediante o procedimento PROC MIXED do aplicativo SAS versão 9.2 (Anexo 3B). Inicialmente, todos os efeitos (termos) da eq. 2 foram incluídos no modelo. Uma nova análise foi

realizada após a exclusão, um a um, dos efeitos que não foram considerados significativos na análise anterior. Esse procedimento foi repetido até que apenas efeitos significativos ($p < 0,01$) restaram no modelo.

3.2.11 Determinação das emissões acumuladas

Os modelos gerados foram utilizados para determinar as emissões acumuladas de N_2O , CH_4 e NH_3 . Para tal, os modelos obtidos resultantes das análises anteriores foram transferidos para uma planilha do MS Excel®, no qual projeções das emissões diárias ao longo de um ano inteiro, em condições semelhantes as do experimento, foram calculadas.

Durante o período de vazio sanitário (15 d), as emissões foram modeladas na forma de decaimento exponencial. Para tal, uma curva foi ajustada a dois pontos, ou seja, o valor da emissão no último dia de criação (idade = 42 d) e o valor da emissão no primeiro dia (idade = 1 d) do ciclo subsequente. Após quatro ciclos consecutivos, o modelo considerou a retirada da cama reutilizada, a introdução de novo material de substrato no aviário, com as emissões sendo reduzidas a zero, e dando início a um novo período reutilização.

Por fim, emissões acumuladas por ciclo de produção ($g \text{ ave}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$) e por ave por ano ($g \text{ ave-alojada}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foram determinadas, de acordo com as eq. (3) e (4).

$$EY_{\text{anual}} = \sum_{i=1}^j EY_{\text{dia},i} \quad (3)$$

$$EY_{\text{ciclo}} = \frac{EY_{\text{anual}}}{N_{\text{ciclos}}} \quad (4)$$

Em que:

EY_{anual} – emissão acumulada do poluente Y em base anual ($g \text{ ave-alojada}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

$EY_{\text{dia},i}$ – emissão média do poluente N_2O e CH_4 em base diária ($g \text{ ave}^{-1} \text{ d}^{-1}$), no dia i; no caso da emissão acumulada de NH_3 ($g \text{ ave}^{-1}$);

j – dia juliano (1-365, d);

EY_{ciclo} – emissão acumulada do poluente Y por ciclo de produção (EAC_Y , $g \text{ ave}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$);

N_{ciclo} – número de ciclos totais por ano (adimensional).

3.3 Resultados e discussão

Os resultados do experimento com frangos de corte nos quatro ciclos de reúso da cama estão sumarizados na Tabela 3.3.

O teor de umidade da cama apresentou média de 23% para todos os ciclos de criação (Tabela 3.3). Observa-se, nessa tabela, que a cama de maravalha no 1º ciclo de utilização apresentou valores mais elevados de umidade (máximo valor de 52,6%). Santos (2000), também observou uma redução na umidade quando comparou camas de maravalha nova e reutilizada (2º ciclo de uso), encontrando valores aproximados de 33,71% de umidade para cama nova e de 29,26% para cama reutilizada.

Esse comportamento na variação de umidade da cama observada durante o período experimental pode ter sido causado pelas condições meteorológicas. O período teve como características elevadas médias diárias para temperatura, e isso favoreceu a evaporação da água dos dejetos. Como pode ser visualizado na Tabela 3.1, a média de temperatura ambiente no 1º ciclo (maio-junho/2014) de uso da cama foi menor; maior foi a umidade relativa do ar. Já nos ciclos seguintes (julho-dezembro/2014) observou-se clima mais seco, maior temperatura e maior velocidade do ar. Segundo Sneath et al. (1997), cama de frango muito seca inibe os processos microbianos, o que reduz as emissões de GEE e NH_3 .

Ainda em relação a umidade da cama, observou-se redução nessa variável entre o final e início de cada ciclo de reutilização da cama. Comportamento que pode ser explicado pelo período de vazio sanitário de 15 dias. Ao longo da reutilização da cama, pôde-se verificar a formação de crostas na sua superfície; cama aviária com essa propriedade passa a ser chamada de “torta”. O fenômeno de formação de tortas foi presumidamente devido o clima seco atípico na época experimental (Tabela 3.1). Tal fato é descrito por Sistani et al. (2003), que avaliaram o endurecimento da camada superficial da cama quando apresentava uma umidade de 44 a 47%.

A média de umidade para cama à base de maravalha, reportada na literatura, varia entre: 19 a 40% (CHAMBLEE; TODD, 2002; GLANCEY; HOFF MAN, 1996; MILES et al., 2006; MILES et al., 2008), sendo essa variação decorrente das diferenças entre condições de clima, manejo e tipologia dos aviários.

Os valores de pH da cama aumentaram de forma gradual com variação de 4,9 a 8,6 entre os quatro ciclos de reúso (Tabela 3.3). Em termos médios, notou-se

aumento da basicidade da cama ao longo dos ciclos. Essa alteração dos valores é esperada, pois inicialmente o componente predominante da cama é a maravalha, com pH ligeiramente ácido, e com pouca atividade microbiana. À medida que ocorre o acúmulo de excretas, a atividade microbiana é acelerada, provocando a hidrólise do ácido úrico e elevando o pH da cama (WHEELER et al., 2006; MOSIER, 2004).

Os teores de C_{total} na cama foram decrescentes ao longo dos ciclos de reutilização (Tabela 3.3). Inicia-se com um material rico em C (maravalha). Vai se adicionando material de baixa relação C/N (excreções). Acelera-se a mineralização aeróbica (emissão de CO_2). Segue agregando excreções (baixa relação C/N) começa faltar C mineralizável, acumula N. Com o tempo aumenta a chance de micro-sítios anaeróbios pela desagregação do material e compactação, favorecendo processos fermentativos (emissão de metano).

Os teores de N_{total} apresentaram uma tendência de aumento ao longo do tempo de alojamento das aves. Em função da reutilização, foram crescentes no 1º e 2º ciclo de reuso da cama (18,64 para 30,32 g kg^{-1} de cama), e permaneceram relativamente estáveis nos ciclos subsequentes (35,54 e 35,72 g kg^{-1} de cama no 3º e 4º ciclo, respectivamente).

De acordo com os dados das variáveis de desempenho, as aves atingiram uma média de peso ao abate de $3,1 \pm 0,03$ kg ave^{-1} aos 42 d e consumo médio total de ração de $5,08 \pm 0,05$ kg ave^{-1} nos quatro ciclos de produção. As médias de T_{bs} observadas foram crescentes ao longo do período experimental, tanto no interior (Tabela 3.3), quanto no exterior (Tabela 3.1) do aviário. O 3º ciclo apresentou maior amplitude de T_{bs} e UR, mas na maior parte do período de criação esse ciclo foi de tempo mais seco.

Tabela 3.3 – Estatística descritiva para as variáveis avaliadas no período experimental, ao longo de quatro ciclos de reúso da cama com 42 d de criação

Variável	Ug (%)	pH	C _{total} (g kg ⁻¹)	N _{total} (g kg ⁻¹)	PV (g ave ⁻¹)	Cra (g ave ⁻¹)	Tbs (°C)	UR (%)	FN-N ₂ O (µg m ⁻² h ⁻¹)	FC-CH ₄ (µg m ⁻² h ⁻¹)	FN-NH ₃ (mg m ⁻² h ⁻¹)
1° Ciclo											
Média	25,25	6,36	446,97	18,64	1167,02	126,87	22,74	64,04	62,73	128,83	1760,50
Mínima	5,30	4,91	392,40	1,77	45,00	22,21	19,73	52,46	10,85	31,77	3,50
Máxima	52,60	8,16	499,70	35,51	3214,71	232,14	26,14	76,30	140,86	374,10	9465,36
DP	16,27	1,19	26,47	10,06	1003,42	71,21	1,81	6,36	32,59	83,03	2511,10
CV	64,43	18,76	5,92	53,98	85,98	56,13	7,96	9,93	51,96	64,45	142,64
2° Ciclo											
Média	20,43	7,73	404,46	30,32	1261,35	126,13	22,59	55,39	49,49	221,55	2163,16
Mínima	10,10	7,20	391,90	23,67	45,00	20,43	21,57	46,01	24,09	102,76	280,48
Máxima	37,00	8,17	417,35	38,77	3185,00	225,46	24,77	65,15	97,56	604,69	4626,87
DP	8,48	0,28	7,77	3,63	1063,81	71,92	1,18	6,16	21,54	114,81	1335,97
CV	41,47	3,56	1,92	11,96	84,34	57,02	5,20	11,12	43,51	51,82	61,76
3° Ciclo											
Média	21,61	7,81	383,69	35,54	1285,30	113,92	26,59	54,82	103,26	139,86	1974,88
Mínima	10,40	7,32	364,00	32,48	50,00	19,82	22,87	36,24	40,48	54,74	454,92
Máxima	38,00	8,28	395,70	39,48	3122,50	178,57	29,99	79,76	413,57	355,52	4731,19
DP	8,87	0,24	6,81	1,86	1086,88	58,07	2,22	13,58	83,03	82,32	1105,19
CV	41,06	3,05	1,78	5,23	84,56	50,98	8,33	24,78	80,42	58,86	55,96
4° Ciclo											
Média	25,24	8,10	387,40	35,72	1068,05	144,64	26,83	63,61	113,30	232,28	2573,22
Mínima	5,48	7,54	357,60	28,85	50,00	18,86	23,70	48,91	20,31	30,98	444,01
Máxima	38,91	8,56	398,80	47,11	3353,38	213,79	28,71	79,88	484,92	952,36	6152,21
DP	8,80	0,26	8,12	2,07	998,46	64,61	1,19	8,03	121,19	204,09	1732,85
CV	34,87	3,21	2,10	5,80	93,48	44,67	4,44	12,62	106,96	87,86	67,34

Ug: Umidade da cama; pH: potencial hidrogênionico da cama; C_{total}: Carbono total da cama; N_{total}: Nitrogênio total da cama; PV: Peso vivo do frango; Cra: Consumo diário de ração; Tbs: Temperatura bulbo seco; UR: Umidade relativa do ambiente; FN-N₂O: Fluxo de N-N₂O; FC-CH₄: Fluxo de C-CH₄; FN-NH₃: Fluxo de N-NH₃; DP: desvio padrão e CV (%): coeficiente de variação

3.3.1 Modelos ajustados

As estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados, obtidos via ANCOVA, estão apresentadas na Tabela 3.4.

No modelo de regressão múltipla das EN-N₂O (mg ave⁻¹ d⁻¹), os parâmetros para o ciclo de reutilização da cama (β_1), idade das aves (β_2), $\ln U_g$ (β_3), pH (β_4), T_{bs} (β_7) e $\ln U_g \times N_{total}^2$ (β_{11}) tiveram efeito positivo. Isso indica que incrementos nessas variáveis acarretam incrementos nas emissões de N₂O. Por sua vez, os coeficientes associados às variáveis explanatórias N_{total}^2 (β_6) e a interação $U_g \times pH$ (β_9) apresentaram efeito negativo (Tabela 3.4).

No modelo para as EC-CH₄ (mg ave⁻¹ d⁻¹), os parâmetros associados para o ciclo de reutilização da cama (β_1), idade das aves (β_2), pH (β_4), apresentaram efeito positivo, o que indica que incrementos nessas variáveis acrescentam a emissão de CH₄ de maneira semelhante ao que aconteceu com a EN-N₂O. No entanto, os coeficientes associados às variáveis explanatórias U_g (β_3) e N_{total}^2 (β_6) apresentaram um efeito negativo.

No modelo de predição das EN-NH₃ (g ave⁻¹ d⁻¹), os coeficientes associados à reutilização da cama (β_1), idade das aves (β_2), pH (β_4) e N_{total}^2 (β_6) apresentaram efeito positivo. Já os parâmetros associados à $\ln U_g$ (β_3), T_{bs} (β_7) e $pH \times N_{total}^2$ (β_{13}) mostraram efeito negativo. Nesse modelo, o parâmetro associado à idade da ave (β_2) não foi significativo ($p=0,4$), no entanto, por ser uma das variáveis controladas, a idade foi considerada no modelo para predição da emissão de NH₃.

Para aplicação dos três modelos, foi necessário considerar transformações em algumas das variáveis explanatórias (logaritmo natural no caso da U_g e x^2 no caso do N_{total}), em que as predições obtidas estão na escala logarítmica (logaritmo natural das EN-N₂O, EC-CH₄ e EN-NH₃), tendo sido necessário aplicar a função exponencial para transformar as predições na escala original (g ave⁻¹ d⁻¹).

Tabela 3.4 – Resultado da análise de regressão múltipla para os modelos preditos de emissões de N_2O , CH_4 e NH_3 ($Y_i = \beta_1 \text{ciclo} + \beta_2 \text{idade} + \beta_3 \ln(U_g) + \beta_4 \text{pH} + \beta_5 C_{\text{total}} + \beta_6 N_{\text{total}}^2 + \beta_7 T_{\text{bs}} + \beta_8 [\text{ciclo} \times T_{\text{bs}}] + \beta_9 [\ln(U_g) \times \text{pH}] + \beta_{10} [\ln(U_g) \times C_{\text{total}}] + \beta_{11} [\ln(U_g) \times N_{\text{total}}^2] + \beta_{12} [\text{pH} \times C_{\text{total}}] + \beta_{13} [\text{pH} \times N_{\text{total}}^2] + \beta_{14} [C_{\text{total}} \times N_{\text{total}}^2]$)

Variável	Modelo		
	Y = ln (FN- N_2O)	Y = ln (FC- CH_4)	Y = ln (EN- NH_3)
Ciclo	0,32 ± 0,04**	0,18 ± 0,03**	0,30 ± 0,01**
Idade	0,04 ± 0,003**	0,03 ± 0,003**	0,088 ± 0,005**
$\ln U_g$	3,30 ± 0,5**	-0,27 ± 0,08*	-0,80 ± 0,13**
pH	1,90 ± 0,3**	0,38 ± 0,05**	1,57 ± 0,07**
C_{total}	ns	ns	ns
N_{total}^2	-0,005 ± 0,0007**	-0,001 ± 0,0001**	0,0092 ± 0,0009**
T_{bs}	0,04 ± 0,01*	ns	-0,14 ± 0,01**
$\text{Ciclo} \times T_{\text{bs}}$	ns	ns	ns
$\ln U_g \times \text{pH}$	-0,60 ± 0,09**	ns	ns
$\ln U_g \times C_{\text{total}}$	ns	ns	ns
$\ln U_g \times N_{\text{total}}^2$	0,001 ± 0,0002**	ns	ns
$\text{pH} \times C_{\text{total}}$	ns	ns	ns
$\text{pH} \times N_{\text{total}}^2$	ns	ns	-0,0011 ± 0,0001**
$C_{\text{total}} \times N_{\text{total}}^2$	ns	ns	ns

Média e erro padrão; ln: logaritmo natural; U_g : Umidade da cama; pH: potencial hidrogênionico da cama; C_{total} : Carbono total da cama; N_{total} : Nitrogênio total da cama; T_{bs} : Temperatura bulbo seco

** e * indicam significância estatística aos níveis de 1% e 5% respectivamente; e ns indica ausência de significância

Para as EN- N_2O , o efeito da interação $U_g \times N_{\text{total}}$ foi significativo ($p < 0,01$). Incrementos em U_g , em combinação com elevados teores de N_{total} , estimulam os processos de decomposição microbiológica que resultam na maior produção e volatilização de N_2O . Segundo Chadwick et al. (1999), 7,5% do N_{total} pode ser perdido na forma de N_2O dentro das instalações aviárias. O conhecimento dos teores de N tanto na dieta quanto no dejetos é fundamental para se compreender as emissões gasosas (PHILIPPE, 2009) e para o correto manejo.

Firestone e Davidson (1989) citam alguns desses fatores (umidade e concentração de N) no modelo “hole-in-the-pipe” (HIP), o qual mostra que a disponibilidade de água e de N se correlaciona com gases nitrogenados (NO e N_2O), através de seus processos comuns de produção e consumo. As emissões de N_2O são produzidas por nitrificação e, ou, desnitrificação, sendo dependentes do conteúdo de N no substrato e das transformações do N em condições aeróbicas e anaeróbicas, respectivamente (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989; BREMNER, 1997).

Em condições aeróbicas, o N disponível na cama é absorvido pelos microrganismos e, dentro das células, sofrem desaminação, sendo parte do grupo amino excretada como NH_3 , que entra em equilíbrio formando NH_4^+ no substrato (GROOT KOERKAMP et al., 1998). Em condições anaeróbicas ocorre redução de

NO_3^- em N_2O ou N_2 por microrganismos presentes na cama (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; FIGUEIREDO et al., 2011). No entanto, na cama de frango não há 100% de saturação por água, razão por que as emissões de N_2O , em sua maioria, não poderiam ser explicadas exclusivamente pela desnitrificação do N, mas poderiam, sim, ter sido produzidas durante o processo de nitrificação. Isso porque a maior aeração da cama, causado pelo revolvimento dos próprios frangos, pode acelerar a oxidação do NH_4^+ .

Outra forma de produção de N_2O na cama de frango pode ser quando se tem um ambiente reduzido de O_2 e, assim, não acontecer a formação de NO_3^- e, por dismutação (nitrificação e desnitrificação simultânea) química do nitroxil (NOH) ou por ação da redutase de nitrito (BREMNER, 1997; DAVIDSON et al., 2000), haver pequena produção de N_2O . Este estudo não teve como objetivo distinguir os processos (nitrificação e desnitrificação) de origem das emissões de N_2O . Contudo, como esses processos ocorrem concomitantemente, acredita-se que as EN- N_2O podem ter sido produzidas tanto pelo processo de nitrificação, desnitrificação e, ou, quanto pelo processo simultâneo.

Outro efeito significativo de interação observada na produção nas EN- N_2O foi em $U_g \times \text{pH}$ ($p < 0,01$), porém com efeito negativo (Tabela 3.4). Isso significa que incrementos em U_g em combinação com a elevação do pH resultam em menores emissões de N_2O . Maior umidade e elevado pH na cama aceleram a hidrólise do ácido úrico naturalmente excretado pelas aves. De acordo Blake e Hess (2001), a decomposição do ácido úrico é favorecida em meio alcalino ($\text{pH} > 7,0$), onde a enzima uricase, responsável pela quebra desse ácido, tem sua atividade máxima em pH 9,0. Dessa forma, em pH alcalino, menor será a amonificação do NH_3 e, conseqüentemente, maiores serão as perdas de N na forma de NH_3 (CARR et al., 1990).

Para as EC- CH_4 as variáveis U_g e N_{total} apresentaram efeito negativo ($p < 0,05$ e 0,01, respectivamente). Esse resultado discorda com que é apresentado na literatura. Segundo Pope e Cherry (2000), a velocidade de fermentação da cama depende do conteúdo de umidade, do nível de oxigênio, da acidez do meio, da temperatura e dos tipos de microrganismos presentes.

O CH_4 tem origem na fermentação entérica dos animais e na degradação anaeróbica dos compostos orgânicos presentes no dejetos. É bem aceito que no frango de corte não há fermentação entérica significativa (WANG; HUANG, 2005).

Dessa forma, o CH_4 é oriundo basicamente da cama. Em condições de cama seca, a fermentação aeróbica leva a pequenas emissões de CH_4 , que aumentam consideravelmente quando a umidade e, ou, a compactação da cama também aumenta. No entanto, nesta pesquisa a umidade teve efeito negativo sobre as EC- CH_4 .

Para as EN- NH_3 houve interação de $\text{pH} \times \text{N}_{\text{total}}$ com efeito negativo ($p < 0,05$). Tal efeito discorda da literatura literatura vigente (WHEELER et al., 2006; GATES et al., 2008; LIN et al., 2012; CALVET et al., 2011), pois o que espera é que à medida que aumenta o N na cama pelas excretas das aves em combinação com a elevação do pH ocorrem maiores perdas por volatilização de NH_3 . Acúmulo de dejetos na cama eleva o pH. Dessa forma, menor seria a conversão de NH_3 em NH_4^+ e, conseqüentemente, maiores são as perdas de N na forma de NH_3 .

Segundo Mosier (2004), a disponibilidade de N associado ao pH e umidade da cama são fatores-chaves para a produção e emissão dos GEE e NH_3 . Para Groot Koerkamp et al. (1998) essa reação de degradação na cama de frangos de corte envolve cerca de 8 a 40% do total de ácido úrico produzido pelas aves por dia. Segundo Elliot e Collins (1982), o pH, umidade e a temperatura da cama exercem influência sobre essa reação e devem ser avaliados em estudos sobre qualidade do ar dentro dos ambientes de produção. Baião (1996) determina que a temperatura entre 25° e 30°C e o pH superior a 5,5 (ideal 9,0), além do teor de umidade da cama entre 40 e 60%, contribuíram para o aumento na reação de degradação dos compostos nitrogenados na cama de frango.

Segundo Ni (1999), o pH é justamente um dos parâmetros mais importante relacionado a volatilização de NH_3 , pois este influencia a concentração da amônia na fase aquosa, aumentando em 10 vezes sua concentração para cada aumento de unidade no valor do pH. Dessa forma, é entendido o importante papel dessa variável nas perdas de volatilização de NH_3 em cama de frango.

Nesta pesquisa, o pH apresentou correlação positiva com todas as emissões gasosas (NH_3 , N_2O e CH_4) avaliadas. Isso evidencia sua importância no manejo dos dejetos das aves. No Brasil, têm sido realizados estudos envolvendo o uso de aditivos químicos na cama de frango (OLIVEIRA et al., 2003; MEDEIROS et al., 2008; SILVA et al., 2008; OLIVEIRA; GODOI, 2010), demonstrando o potencial dessa estratégias na redução da volatilização de NH_3 . Os tratamentos ácidos da

cama de frango reduzem a volatilização de NH_3 por diminuir o pH, o qual altera o equilíbrio $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ em direção favorável à formação de NH_4^+ , que não é volátil.

OLIVEIRA et al. (2003) compararam cama nova com cama reutilizada com e sem tratamentos (gesso agrícola e cal hidratada). Observaram que as substâncias e o reúso da cama não interferiram no teor de matéria seca, porém o menor valor de pH (6,97) e menor teor de amônia volatilizada ($11,3 \text{ mg kg}^{-1}$) foram obtidos na cama contendo gesso agrícola, devido à redução do pH e à grande capacidade de retenção de umidade do gesso, o que reduz a atividades das bactérias na cama.

O efeito de idade das aves e de ciclo (reúso da cama) foi significativamente positivo ($p < 0,01$) sobre as emissões de N_2O , CH_4 e NH_3 (Tabela 3.4). As aves tendem a ingerir mais ração à medida que crescem, consequentemente o consumo de N também aumenta e, possivelmente, acontece maior excreção de N pelas excretas. Concomitantemente, maior pode ser a emissão desses gases dentro dos aviários, dependendo sempre da eficiência metabólica do animal e da qualidade do alimento que lhe é ofertado (WHEELER et al., 2006; MILES et al., 2011). Normalmente, frangos de corte à medida que chegam à maturidade tendem a ser pouco eficientes, aproveitando menos os constituintes da ração, entre eles o N na forma de proteína (HENN et al., 2014).

A variável T_{bs} teve efeito proporcional ao das emissões de $\text{EN-N}_2\text{O}$ e efeito negativo em relação às emissões de EN-NH_3 (Tabela 3.4). A temperatura pode atuar indiretamente de diversas maneiras na decomposição, e altas temperaturas podem reduzir a umidade da cama pelo aumento da evaporação. Essa perda de umidade pode provocar a redução nas taxas de decomposição, como também acelerar a decomposição se a cama estiver suficientemente úmida, capaz de restringir a disponibilidade de oxigênio e, dessa forma, favorecer a produção de N_2O . Durante o período experimental, observaram-se altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar. A temperatura pode ter efeitos nas emissões de NH_3 e CH_4 , mas nas condições experimentais desta pesquisa esse efeito não esteve presente. Provavelmente, efeitos teriam sido observados em condições de inverno frios (temperaturas abaixo de 10°C), o que não foi o caso.

O estímulo na atividade microbiana com o aumento da temperatura, também inicia uma série de *feedbacks* que influenciam a decomposição do material orgânico. Vários autores consideram a temperatura ambiente fator primordial na regulação dos processos químicos envolvidos em emissões de GEE e de NH_3 (SNEATH et al.,

1997; WHEELER et al., 2006; SOMMER et al., 2006; CASEY et al., 2010). Segundo Downing (1978), a temperatura exerce grande influência sobre a taxa de crescimento máxima dos organismos nitrificantes, com sua ocorrência numa faixa de 5 a 50 °C, mas a temperatura ótima encontra-se na ordem de 25 a 36 °C (ARCEIVALA, 1981; BARNES; BLISS, 1983).

Alguns estudos buscam realizar modelos de predição na tentativa de conseguir o melhor ajuste para estimativas das emissões de NH₃ pelos dejetos de frangos ao longo do ano (CARR et al., 1990; MIRAGLIOTTA et al., 2004; GATES et al., 2008; WINKEL et al., 2011; MENDES et al., 2014; LIMA et al., 2015). No entanto, estes autores não consideraram maior número de variáveis que podem influenciar nas emissões de NH₃.

3.3.2 Projeções de emissões de N₂O, CH₄ e NH₃ em base anual

A evolução das emissões diárias e anuais de N₂O, CH₄ e NH₃, calculadas pelo modelo de regressão múltipla (Eq. 2), pode ser observada nas Figuras 3.4, 3.5 e 3.6.

As EN-N₂O diárias por ave (mg ave⁻¹ d⁻¹) foram calculadas utilizando a equação $Y = 0,32 * \text{Ciclo} + 0,04 * \text{Idade} + 3,30 * \ln U_g + 1,90 * \text{pH} - 0,005 * N_{\text{total}}^2 - 0,60 * [\ln U_g \times \text{pH}] + 0,001 * [\ln U_g \times N_{\text{total}}^2]$. As EN-N₂O (cama + frango) foram crescentes ao longo da idade das aves, observa-se que no início do ciclo subsequente as emissões foram mais baixas em razão do decréscimo ocorrido no período de vazio sanitário de 15 d (Figuras 3.4a). As médias de EN-N₂O (considerando as emissões que ocorreram durante o vazio sanitário) corresponderam a 0,21; 0,23; 0,30; 0,32 mg ave⁻¹ d⁻¹ para 1º, 2º, 3º e 4º ciclo, respectivamente.

Ao integrar as emissões diárias, são determinadas as emissões acumuladas por ciclo de produção, considerando que ao longo de um ano são produzidos 6,4 lotes de produção. A soma das emissões acumuladas de cada ciclo produzido resulta nas emissões acumuladas por 6,4 aves alojadas ano⁻¹, ou seja, determinada para um período de 365 d. Segundo Gates et al. (2008), a relação entre a emissão do gás, a idade das aves e a condição da cama se apresenta de forma linear.

Na Fig. 3.4b, as emissões acumuladas por ciclo de produção de N-N₂O (mg ave⁻¹ ciclo⁻¹) é extrapolado para 6,4 lotes de produção por ano. A média de

N-N₂O por ciclo correspondeu a 11,07 (1º lote); 24,67 (2º lote); 41,53 (3º lote); 59,87 (4º lote); 71,53 (5º lote) e 84,56 (6º lote) mg N-N₂O ave⁻¹ ciclo⁻¹. Ao final de 6,4 lotes de produção de frangos de corte (com quatro ciclos de uso da cama), correspondente a 365 d, o valor de emissão final foi de 88,8 mg N-N₂O ave⁻¹ ciclo⁻¹ (Figura 3.4b), sendo este o FE determinado para as emissões acumuladas de N-N₂O em base/ano.

Figura 3.4 – Emissões médias diárias preditas e observadas de N-N₂O (mg ave⁻¹ d⁻¹) (a) e emissões acumuladas ao longo de um ano (mg aves-alojadas⁻¹ ano⁻¹) em função de 6,4 lotes de produção (b); assumindo um período de vazio de 15 d e peso vivo ao abate de 3,1 kg por ave

Neste estudo, as emissões de N₂O foram associadas aos efeitos de ciclo (reúso da cama), idade das aves e condições físico-químicas da cama de frango. Estudos realizados por Gates et al. (2008) e Casey et al. (2010) também confirmaram a importância dessas variáveis nas emissões de N₂O, mas poucos são os estudos que trabalham com esse conjunto de dados.

As EC-CH₄ (mg ave⁻¹ d⁻¹) preditas pelo modelo de regressão múltipla ($y = 0,18 * \text{Ciclo} + 0,033 * \text{Idade} - 0,27 * \ln \text{Ug} + 0,38 * \text{pH} - 0,001 * N_{\text{total}}^2$) encontram-se na Figura 3.5a. As médias de EC-CH₄ (considerando as emissões que ocorreram durante o vazio sanitário) corresponderam a 0,57; 0,69; 0,84; 1,01 mg ave⁻¹ d⁻¹ para 1º, 2º, 3º e 4º ciclos, respectivamente.

A Figura 3.5b apresenta as emissões acumuladas por ciclo de produção de C-CH₄, considerando 6,4 lotes de produção ao longo de um ano. A proporção de C emitido no sistema completo (cama + frango) como CH₄ para a atmosfera foi crescente à medida que ocorreu a reutilização da cama, quando se obtiveram

valores acumulados de 32,45 (1º lote); 71,77 (2º lote); 119,41 (3º lote); 177,14 (4º lote); 209,60 (5º lote) e 248,90 (6º lote) mg C-CH₄ ave⁻¹ ciclo⁻¹. Ao final de 6,4 lotes de produção de frangos, correspondente a 365 d, o valor de emissão final foi de 263,23 mg C-CH₄ ave⁻¹ ciclo⁻¹ (Figura 3.5b), o que corresponde a um FE determinado para as emissões acumuladas de C-CH₄ em base/ano.

Figura 3.5 – Emissões médias diárias preditas e observadas de C-CH₄ (mg ave⁻¹ d⁻¹) (a) e emissões acumuladas ao longo de um ano (mg aves-alojadas⁻¹ ano⁻¹) em função de 6,4 lotes de produção (b), assumindo um período de vazio de 15 d e peso vivo ao abate de 3,1 kg por ave

Para as EN-NH₃ (g ave⁻¹), os dados preditos pelo modelo de regressão ($y = 0,30 * \text{Ciclo} + 0,09 * \text{Idade} - 0,08 * \ln U_g + 1,57 * \text{pH} + 0,009 * N_{\text{total}}^2 - 0,14 * T_{\text{bs}} - 0,001 * [\text{pH} \times N_{\text{total}}^2]$) podem ser visualizados na Figura 3.6a. A emissão de NH₃ apresentou-se de forma crescente com a idade das aves, o que está de acordo com a literatura (ELWINGER; SVENSSON, 1996, REDWINE et al., 2002, GUIZIOU; BÉLINE, 2005, LIU et al., 2006), devido ao aumento da excreção do N com o crescimento das aves e à elevação do pH da cama. As médias de EN-NH₃ modeladas (considerando as emissões que ocorreram durante o vazio sanitário) corresponderam a 1,96; 4,35; 5,09; 9,34 g ave⁻¹ para 1º, 2º, 3º e 4º ciclos, respectivamente. Durante o vazio sanitário, como não houve coletas, as emissões acumuladas de NH₃ foram consideradas constantes.

Nas primeiras duas semanas de avaliação no 1º ciclo de uso da cama, pôde-se observar que as emissões de NH₃ foram pouco pronunciadas (Figura 3.6a). Na metade do ciclo já se observa elevação nas emissões, devido ao acúmulo de N pelas excretas dos frangos e ao maior pH da cama, o que está de acordo com

alguns autores (GUIZIOU; BÉLINE, 2005; LIU et al., 2006; GATES et al., 2008; LIMA et al., 2011), que garantem que as emissões de NH_3 estão diretamente relacionadas à idade das aves e à quantidade de N consumido e excretado pelas aves. Esse fato está de acordo com o apresentado por Gates et al. (2008), em cujo trabalho foi desenvolvido um fator para emissão de NH_3 de acordo somente com a idade da ave. Sendo emissão = $0,031 \times \text{idade da ave}$, observaram que até a primeira semana, em cama nova, a taxa de emissão foi zero. Segundo Burns et al. (2007), em seu trabalho avaliando emissões de NH_3 em aviários com camas reutilizadas, constataram que a 2ª e a 3ª semana do 1º ciclo foram estáveis, e só então a emissão começou a aumentar sendo similar ao observado aqui neste estudo durante essas semanas (Figura 3.6a).

Guiziou e Béline (2005), em aviários da França, encontraram valores baixos de NH_3 até o décimo dia de idade das aves e crescimento constante a partir do 16º ao 35º d de idade das aves. Esses autores afirmaram que a maior emissão no terço final de criação das aves está diretamente relacionada com o aumento da densidade (kg m^{-2}), acúmulo de excretas das aves e aumento da atividade dos microrganismos presentes na cama de frango.

Maiores picos de EN- NH_3 foram observados nas últimas semanas do 1º ciclo, período em que a cama apresentou maior umidade (57%) e elevado pH (8,16), o que provavelmente acelerou a hidrólise do ácido úrico naturalmente excretado pelas aves, e também, pelo equilíbrio favorável para formar NH_3 (CARR et al., 1990). O 2º e 3º ciclo apresentaram média de umidade de 21%, em razão das condições mais secas do período (Tabela 3.2), acarretando menores perdas por volatilização de NH_3 . Já no 4º ciclo essa umidade se eleva para 25%.

Na Figura 3.5b, as emissões acumuladas por ciclo de produção de N- NH_3 ($\text{g ave}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$) corresponderam a 4,56 (1º lote); 14,31 (2º lote); 24,43 (3º lote); 42,32 (4º lote); 46,93 (5º lote) e 56,41 (6º lote) $\text{g N-NH}_3 \text{ ave}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$. Ao final de 6,4 lotes de produção, correspondente a 365 dias, o valor de emissão final foi de 59,07 $\text{g N-NH}_3 \text{ ave}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ (Figura 3.6b), sendo este o FE determinado para as emissões acumuladas de N- NH_3 em base/ano.

Figura 3.6 – Emissões médias acumuladas preditas e observadas de N-NH₃ (g ave) (a) e emissão acumulada ao longo de um ano (g aves-alojadas⁻¹ ano⁻¹) em função de 6,4 lotes de produção (b); assumindo um período de vazio de 15 d e peso vivo ao abate de 3,1 kg por ave

Em comparação com os dados medidos e os preditos pelo modelo, este previu bem as taxas de emissão de N₂O e CH₄ (Figura 3.4a e 3.5a). Entretanto, para as taxas de NH₃, o modelo subestimou as emissões do 1º e 2º ciclos e superestimou as do 3º e 4º ciclos de reuso da cama (Figura 3.6a). Essa falta de ajuste entre os dados medidos com os modelados sugere que a análise estatística deve ser refeita, excluindo o fator “ciclo” do modelo.

Segundo Rigolot et al. (2010), incertezas em modelagens de análises de ciclo de vida (ACV) são maiores a partir das emissões de CH₄, N₂O e NH₃ no cultivo de culturas e de criação de animais e no sistema de manejo dos dejetos. Essas incertezas existem porque são muito difíceis de serem medidas, dado o alto custo econômico e as longas medições no campo. Esses autores sugeriram que há necessidade de melhoria na medição de dados de base nas emissões para os relatórios nacionais de GEE.

Os dados da literatura apresentam consideráveis variações, como as relatadas por Chadwick et al. (1999), estimadas em 63,64 mg ave⁻¹ d⁻¹ de N-N₂O em galpões do Reino Unido (assumindo um peso vivo médio de 1,7 kg ave⁻¹), o que é incompatível com as emissões dadas pelo IPCC (2006) de 2,5 mg ave⁻¹ d⁻¹ de N-N₂O (assumindo a mesma média de peso vivo).

Para as emissões de CH₄, o IPCC (2006) e Monteny et al. (2001) propuseram emissões de 0,05 e 0,06 g CH₄ ave⁻¹ d⁻¹, respectivamente, mas não consideram o manejo (reutilização) da cama. Esses valores correspondem, no final de 42 d de criação, a 2,10 e 2,52 g CH₄ ave⁻¹. Mesmo assim, esses valores são superiores comparados com as emissões estimadas nesta pesquisa.

Na Espanha, Calvet et al. (2011a) avaliaram as concentrações e emissões de N₂O, CO₂ e NH₃ em lotes comerciais de frangos de corte, no inverno e no verão. Observaram que as emissões destes gases aumentam com a idade das aves e obtiveram taxas médias de emissão de 18,1 e 19,7 mg de NH₃ ave⁻¹ h⁻¹, 0,44 e 1,87 mg de CH₄ ave⁻¹ h⁻¹ e de 1,74 e 2,13 mg de N₂O ave⁻¹ h⁻¹, no verão e inverno, respectivamente. Nesse trabalho, foram abatidos 19 mil frangos, com peso médio de 2,43 kg, que resultaram em emissões médias (em cama de casca de arroz de 1º ciclo) de 17,04 e 15,95 g de NH₃; 1,22 e 1,63 g de CH₄ e de 1,73 e 2,07 g de N₂O por frango produzido (g ave⁻¹), no verão e inverno, respectivamente.

Guiziou e Béline (2005) e Henn et al. (2014) realizaram as coletas de gases da mesma forma que a deste estudo, porém em aviários fechados (na França e no Brasil, respectivamente) e com cama de maravalha de 1º ciclo. No entanto, esses autores não detectaram emissões de N₂O e CH₄ durante o crescimento dos frangos de corte.

Segundo Sneath et al. (1997), em seu estudo em aviários com ventilação forçada e com medições das concentrações áreas utilizando um cromatógrafo a gás (mesma técnica usada neste estudo), também não encontraram emissões significativas de N₂O e CH₄. Associaram esse fato à baixa umidade observada na cama de frango, o que inibiu os processos microbianos necessários para produzir ambos os gases.

De maneira geral, independente da metodologia empregada em avaliações de fluxo de GEE e de NH₃, a partir de diferentes materiais com substrato de cama há controversas entre os autores. As variações nas emissões de GEE e NH₃ em aviários estão relacionadas às diversidades nas condições encontradas nas instalações de criação dos animais, bem como no manejo adotado. Alguns fatores importantes podem ser destacados: alta densidade animal, peso final das aves ao abate, manejo alimentar (principalmente no conteúdo de proteína e aminoácidos presentes na ração), manejo de remoção dos dejetos, ventilação no interior do aviário, diferentes substratos de cama, entre outros (FERGUSON et al., 1998,

CASEY et al., 2004; WHEELER et al., 2006). Segundo Wheeler et al. (2003), até mesmo as avaliações de emissões de uma única granja, podem apresentar altas variações de aviário para aviário.

De acordo com Casey (2005), a principal fonte de incertezas nas estimativas de emissão está relacionada com as taxas de ventilação dos exaustores, em que a dificuldade está relacionada aos erros na amostragem temporal, à dinâmica dos efeitos do vento, à substituição dos equipamentos durante o experimento e, assim, à sua manutenção irregular.

A dificuldade em se comparar aviários quanto à emissão gasosa é complexa, até mesmo para as emissões de NH_3 , apesar de inúmeros estudos terem sido feitos e publicados. A quantidade de informação destes estudos é, entretanto limitada devido às variações em localidades de pesquisa, métodos utilizados, manejo das aves e da cama.

3.3.3 Cenários de reutilização da cama de frango

Tendo em vista as condições em que o trabalho foi realizado, diferentes cenários foram simulados para o manejo da cama, em que se consideraram números diferentes de reutilização da cama (Tabela 3.5).

Maiores incrementos de excretas e maiores reúsos da cama, proporcionaram maiores emissões de N_2O , CH_4 e NH_3 . Observam-se diferenças numéricas significativas nas emissões desses gases ao realizar números crescentes de reutilização da cama (Tabela 3.5). Em comparação com o cenário referência (quatro reutilizações), redução no número de reúsos da cama resultaria em menor impacto das emissões de GEE e NH_3 .

Tabela 3.5 – Emissões acumuladas de $\text{N-N}_2\text{O}$, C-CH_4 e N-NH_3 para diferentes cenários de reutilização da cama

Número de ciclos	Período de (re)uso (mg ave-alojada ⁻¹)			Base anual			
	$\text{N-N}_2\text{O}$	C-CH_4	N-NH_3	(mg ave-alojada ⁻¹ ano ⁻¹)		(kg ave-alojada ⁻¹ ano ⁻¹)	
				$\text{N-N}_2\text{O}$	C-CH_4	N-NH_3	CO_2eq
6	96,0	331,9	94781	99,6	341,6	95063	0,50
5	76,9	247,1	75729	92,7	291,3	80320	0,43
4	59,9	177,1	24431	88,8	263,2	59073	0,33
3	41,5	119,4	14533	86,1	248,5	57705	0,32
2	24,7	72,0	12328	82,0	225,0	37325	0,22
1	11,1	32,5	3488	78,3	204,4	21207	0,14

Optar por utilizar a cama apenas em um ciclo de criação em vez de seis reduziria as emissões de 21% para N_2O , 40% para CH_4 e 78% para NH_3 (Tabela 3.5). Essa redução de emissão expressa em $\text{CO}_{2\text{eq}}$ representa 72%. Essa informação tem grande utilidade no que se refere às práticas mitigadoras das emissões de gases na produção de frangos de corte.

A adoção da prática de substituir a cama a cada lote ocasionará aumento dos custos de produção e volume de cama produzida por ano. Mesmo com o problema do incremento do volume de cama utilizada apenas uma vez, em outras partes do mundo (como a Europa) a reutilização da cama é proibida por lei em aviários comerciais.

A busca por novas estratégias de manejo para conferir sustentabilidade ambiental deve estar atrelada aos aspectos econômicos, de forma a obter produtos ambientalmente corretos, de alta qualidade e com menor custo. Há também a escassez de bons materiais para a cama de frango, e o aumento nos preços praticados traz dificuldades aos produtores. Assim, o impacto da produção de maravalha deve, então, ser contextualizado para cada região demandante, considerando seu reflexo nas demais condições agronômicas e socioeconômicas da área em questão.

Reutilizar a cama de frango sugere atenção especial em seu manejo do ponto de vista da sustentabilidade da produção, considerando-se os aspectos sanitários, econômicos e ambientais pertinentes a essa prática. Essa deve ser uma busca constante por parte da indústria que almeja novas alternativas para reduzir os custos de produção sem prejudicar o desempenho animal. Isso tem sido constante na avicultura atual.

Outras formas de reutilização da cama de frango podem também apresentar sustentabilidade. Seu uso correto como fertilizante é a forma de maior sustentabilidade, pois promove o retorno ou a ciclagem dos nutrientes ao solo, principalmente para atender às demandas do milho e da soja, matérias-primas para a produção de ração. Como outras formas de reaproveitamento da cama, pode-se citar sua utilização na produção de biogás, através de biodigestores, o que poderá gerar energia elétrica para diversos fins na propriedade e energia térmica para aquecimento da granja, além de energia mecânica se for o caso.

Nesse contexto, verifica-se a necessidade de pesquisas e técnicas de manejo em relação às utilizadas em sistemas convencionais, visando à redução de

emissões e remoção de GEE da atmosfera e, assim, embasar políticas governamentais voltadas para o desenvolvimento do setor, em âmbito nacional.

Pesquisadores brasileiros buscam definir os FE de gases de efeito estufa específicos para as diferentes condições edafoclimáticas regionais do Brasil e para as atividades agropecuárias. No entanto, para a avicultura brasileira ainda não existe um FE para avaliar seu impacto de produção. Poucos são os estudos disponíveis na literatura sobre as emissões de N_2O e CH_4 do manejo dos dejetos de frangos na sua própria criação, muito menos informações acerca do comportamento desses gases em galpões típicos de regiões tropicais. Para a avicultura brasileira, os estudos limitam-se a avaliar a concentração de amônia (MIRAGLIOTA et al., 2004; LIMA et al., 2011; OSORIO-SARAZ et al., 2014; MENDES et al., 2014; LIMA et al., 2015) em aviários, visando o desempenho e bem-estar animal (OWADA et al., 2007). Embora a amônia não seja diretamente causadora do efeito-estufa, devido à sua alta produção na atividade avícola, seu efeito indireto deve ser considerado nos inventários.

As emissões modeladas de N-NH_3 neste estudo variaram de 3,5 a 24,4 g ave^{-1} ciclo^{-1} para cama nova (1º ciclo) e cama reutilizada (4º ciclo), respectivamente (Tabela 3.5). Esses valores estão abaixo dos apresentados por Guizieu e Béline (2005), que reportaram valores de 5,74 g N-NH_3 ave^{-1} ciclo^{-1} para cama de 1º ciclo. Demmers et al. (1999) encontraram valores de 10 g de N-NH_3 ave^{-1} ciclo^{-1} . Whates et al. (1997) determinaram valores superiores a 26,2 g de N-NH_3 ave^{-1} ciclo^{-1} , enquanto Wheeler et al. (2006) mensuraram emissões inferiores de NH_3 em 12 aviários nos EUA, obtendo valores médios de 0,031 g N-NH_3 ave^{-1} d^{-1} , o que corresponde a 1,3 g N-NH_3 ave^{-1} ciclo^{-1} . Essa variabilidade de resultados evidencia a dificuldade de se estabelecer comparação de resultados de emissão de NH_3 proveniente da avicultura. Isso pode ser devido às variações em localidades de pesquisa, métodos utilizados e manejo das aves e da cama (PESCATORE et al., 2005; WHEELER et al., 2006).

3.3.4 Fatores de emissão

Na Tabela 3.6 estão apresentados os FE de N_2O , CH_4 e NH_3 obtidos neste estudo em comparação com resultados de outras pesquisas. Para isso, os valores encontrados na literatura (g de gás ave^{-1} d^{-1}) foram convertidos para g de gás

ave-alojada⁻¹ ano⁻¹, considerando anualmente 6,4 lotes de produção de frangos de corte.

Na Tabela 3.5, as emissões foram expressas em proporção de C e N (N-N₂O, C-CH₄ e N-NH₃), sendo realizadas conversões em razão dos pesos moleculares. Para as emissões de N-N₂O, o fator é de 1,57 (44/28), 1,33 para C-CH₄ (16/12) e 1,21 para proporção de N-NH₃ (17/14). Em comparação com outros estudos, os FE para NH₃ variam de 51 a 141 g NH₃ ave-alojada⁻¹ ano⁻¹. Esse intervalo inclui o valor obtido neste estudo de 72 g NH₃ ave-alojada⁻¹ ano⁻¹.

Em condições brasileiras, Mendes et al. (2014) estimaram emissões acumuladas de NH₃ de 58 g ave-alojada⁻¹ ano⁻¹ para produção de frangos de corte em galpões abertos e fechados. Para tanto, foi considerada uma densidade média de 12,3 aves m⁻² com 43 d de criação e intervalo de 14 d entre ciclos e cama utilizada apenas uma vez. Especificamente para aviários de ventilação natural, esses autores determinaram uma emissão de NH₃ de 0,27 ± 0,07 g ave⁻¹ d⁻¹, o que corresponde a uma emissão anual de 72,6 g NH₃ ave-alojada⁻¹ ano⁻¹. Resultado esse relativamente idêntico, em comparação com as emissões acumuladas estimadas neste estudo (72 g NH₃ ave-alojada⁻¹ ano⁻¹). No entanto, o estudo de Mendes et al. (2014) realizou-se somente 1 ciclo de criação para estimar o FE para as emissões de NH₃.

Lima et al. (2015), no Estado de Mato Grosso do Sul, propuseram uma emissão de NH₃ de 12 g ave⁻¹ ciclo⁻¹ em aviários com pressão negativa, assumindo 2 kg de peso ao abate. As concentrações de NH₃ foram medidas na saída de ar dos galpões, utilizando um método sugerido por Jeppsson (1999) aos 7, 21, 35 e 40 d de criação. Utilizaram-se também métodos determinísticos (software desenvolvido por MIRAGLIOTTA, 2004) para predizer as emissões de NH₃, estimada em 76,8 g NH₃ ave-alojada⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 3.6).

Em outro estudo realizado por Lima et al. (2011) em São Paulo/Brasil, esses autores propuseram uma emissão média diária de NH₃ de 0,19 g ave⁻¹ d⁻¹ para cama nova e reutilizada. Esse estudo foi realizado em aviários com pressão negativa (Sistema Túnel) e densidade de 14 aves m⁻². Para medição, utilizou-se um analisador de gás portátil (BW Technologies®). Para comparar os resultados com os deste estudo, considerou-se 6,4 lotes de produção para estimar a emissão anual de NH₃. Dessa forma, essa estimativa para a emissão anual de NH₃ (51 g ave-alojadas⁻¹ ano⁻¹) foi inferior às apresentadas neste estudo (Tabela 3.6).

Os valores nas emissões de NH_3 na produção de frangos de corte brasileira foram semelhantes (Tabela 3.6). Embora existam diferenças metodológicas, ambiente térmico e tipo de manejo (como peso de abate e manejo de uso da cama) entre os estudos.

Tabela 3.6 – Fatores de emissão ($\text{g ave-alojada}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) modelados neste estudo comparados com dados de literatura

Estudos	Estado/País	N_2O	CH_4	NH_3
Presente estudo	SP ¹ /Brasil	0,14	0,35	72
Lima et al. 2011	SP ¹ /Brasil	--	--	51
Mendes et al. 2014	MG ¹ /Brasil	--	--	73
Lima et al. 2015	MS ¹ /Brasil	--	--	77
Winkel et al. 2009	Wageningen ² /Holanda	6,0	3,0	72
Gates et al. 2008	Kentucky ³ /USA	--	--	141
IPCC, 2006	Mundial	1,1	13,4	--

¹Estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul; ²Cidade dos países baixos, ³ Estado do leste dos EUA

Comparando as emissões acumuladas anuais de NH_3 com as obtidas em outros países, observou-se maior discrepância entre os valores. Devido às diferenças de manejo e condições de galpão, fica difícil a comparação desses valores. Para as emissões acumuladas de NH_3 , Winkel et al. (2011) encontraram, em média, $72 \pm 25 \text{ g ave-alojada}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, a partir do monitoramento de vários galpões com ventilação mecânica na Holanda. Essa emissão foi exatamente igual a obtida neste estudo, e diferentemente obtida por Gates et al. (2008) nos EUA, os quais encontraram valores muito acima dos disponíveis na literatura. Essa discrepância pode ser explicada devido às condições norte-americanas de produção de frangos de corte, em que os animais são alimentados com rações de elevado teor de proteína, e o manejo é totalmente diferente de outros países, principalmente os de clima tropical. Já os países do Norte da Europa têm implementado tecnologias para manipular os alimentos, entre elas a redução do teor de proteína bruta da dieta (MENDES et al., 2014), além da não reutilização da cama de frango, com o propósito de reduzir as emissões de NH_3 (GROOT KOERKAMP et al., 1998).

De acordo com Gates et al. (2008), devido às constantes alterações no manejo da produção de frangos de corte, é necessário o desenvolvimento de metodologias para avaliar a emissão de gases, através de inventários realizados de forma regional ou nacional, mas com base nas peculiaridades da produção da região ou do país. Segundo Meda et al. (2011), uma das principais fontes de variação nos

inventários nacionais de emissões são a idade e o peso ao abate, pois cada estudo segue o padrão de mercado do país.

As emissões de N_2O e CH_4 para a produção de frangos de corte disponíveis na literatura são mais escassos (MEDA et al., 2011) e apresentam maiores discrepâncias em relação aos valores deste estudo. Contudo, devem-se verificar se as emissões desses gases têm impacto significativo sobre os inventários nacionais.

O IPCC (2006) propõe a emissão de $0,004 \text{ g ave}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de N_2O e $0,05 \text{ g ave}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de CH_4 (assumindo um peso vivo médio de $1,7 \text{ kg ave}^{-1}$), respectivamente, mas não consideram o manejo (reutilização) da cama. Considerando 42 d de criação e 6,4 lotes realizados anualmente, essas emissões em base anual correspondem a valores superiores quando comparados com as emissões obtidas neste estudo (Tabela 3.6) e novamente representam certa discrepância. Contudo, estimativas apresentadas no relatório do IPCC podem ser bastante variáveis e contestadas em vários trabalhos de caráter mais específico (ou seja, em escalas que não as globais ou nacionais), pois não levam em consideração práticas de manejo, tipo de substrato e o clima da região, fatores importantes que interferem na produção de GEE e NH_3 (BARTON et al., 2008).

Estudo realizado por Lessa et al. (2014) no Brasil indicou que o fator de emissão de N de excretas de bovinos em pastagens extensivas no Cerrado seria de 0,5 a 0,7%, em comparação com o valor de referência do IPCC (2006), que é de 2%. Mazzeto et al. (2015), avaliando as emissões de N_2O e CH_4 provenientes da urina de bovino de corte no Estado de Rondônia (clima tropical, Brasil), determinaram uma média de FE de 0,4% para o verão e 0,1% para o inverno, o que é significativamente menor que o valor-padrão de 1% proposto pelo IPCC. Esses autores concluíram que o FE padrão do IPCC para sistemas tropicais pode ser reduzido.

3.3.5 Emissões de dióxido de carbono equivalentes

As emissões acumuladas anuais de NH_3 , CH_4 e N_2O (Tabela 3.6) podem ser expressas em CO_2 equivalente (CO_2eq), em função do conceito de potencial de aquecimento global (PAG) (IPCC, 2006). O PAG do CH_4 (com base em um horizonte de tempo de 100 anos) é 25 vezes mais do que o CO_2 , enquanto N_2O é 298.

Já as emissões de NH_3 são definidas como emissões secundárias de N_2O . Dessa forma, o cálculo considera que $0,01 \text{ kg N-N}_2\text{O kg}^{-1}$ de N-NH_3 é emitido na

forma de N_2O (IPCC, 2006). Parte-se do princípio de que uma fração do N excretado é volatilizada na forma de NH_3 e retorna ao solo pela deposição atmosférica, ficando novamente passível de ser emitida na forma de N_2O . Dessa forma, a emissão total de GEE (emissões diretas e indiretas) modelada neste estudo, durante a criação de frangos de corte, corresponde a $0,5 \text{ kg CO}_2\text{eq ave-alojada}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ou $0,08 \text{ kg CO}_2\text{eq ave}^{-1}$, ao considerar que ao longo de um ano são realizados 6 lotes de produção. De acordo com o peso médio ao abate dos animais obtido neste estudo ($3,1 \text{ kg ave}^{-1}$), essa emissão corresponde a $0,03 \text{ kg CO}_2\text{eq por kg}$ ganho de peso vivo animal (GPV^{-1}). Assumindo que cada frango produz $2,0 \text{ kg}$ de carne, a emissão total de GEE (NH_3 , CH_4 e N_2O) modelada corresponde a $0,04 \text{ kg CO}_2\text{eq por kg}$ de carne.

A contribuição percentual dos GEE nas emissões em CO_2eq foi de 3% ($8,8 \text{ g CO}_2\text{eq ave-alojada}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para CH_4 , 13% ($41,7 \text{ g CO}_2\text{eq ave-alojada}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) emissões diretas de N_2O e 84% ($276,5 \text{ kg CO}_2\text{eq ave-alojada}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) indiretas pela perda por volatilização de NH_3 . Essa proporção confirma a participação significativa de NH_3 na avicultura como um gás nocivo para o ambiente (MENDES et al., 2014; LIMA et al., 2015) e a importância de considerá-la nos inventários de GEE, devido à sua alta produção na atividade avícola.

Philippe et al. (2012) obtiveram emissões bem superiores com suínos em cama profunda de palha ($0,91 \text{ kg CO}_2\text{eq animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Essas emissões corresponderam a 46% de CH_4 , 49% de emissões diretas de N_2O e 5% de emissões indiretas desse gás. Pecoraro (2015), em estudo recente no Brasil com suínos, determinou que para cada kg de carne suína são emitidos, em média, $0,0002$; $0,004$; e $0,012 \text{ kg}$ de N_2O , CH_4 e NH_3 , respectivamente. Esse estudo foi realizado em uma unidade de produção de suínos na fase de crescimento e terminação, para o que se utilizou um analisador de gás (INNOVA 1412) para mensurar as concentrações dos gases no ar interior e exterior da instalação.

Gac et al. (2007) realizaram um inventário, para a França, das emissões de GEE (NH_3 , CH_4 e N_2O) provenientes do manejo dos dejetos para as principais categorias de animais. Os dejetos de suínos e aves contribuíram com as mesmas proporções para as emissões de N_2O e NH_3 , com 7% a 6% e 14% e 15% das emissões totais, respectivamente. Para as emissões de CH_4 , a contribuição dos dejetos de suínos foi maior (21% das emissões totais) do que a de aves (9%).

Com base na emissão total de GEE modeladas (NH_3 , CH_4 e N_2O) neste estudo, pode-se estimar a emissão no sistema de produção anual de frangos de corte brasileira. Se tomarmos como referência o ano de 2015, a produção de carne de frango de corte no Brasil atingiu 13.146 milhões de toneladas (ABPA, 2015), o que representou um alojamento de frangos de corte de aproximadamente 6,5 bilhões de cabeças (APINCO, 2016). O manejo dos dejetos desses animais (considerando 6 ciclo de criação) dentro das instalações emitiu cerca de 545,1 Gg CO_2eq .

No Brasil, ainda são poucos os estudos realizados com animais. De modo geral, as estimativas de emissões de GEE da agropecuária apresentam mais incertezas do que os demais setores, em decorrência da maior complexidade dos sistemas de produção, por envolver o componente animal (ALMEIDA; MEDEIROS, 2013).

Prudêncio da Silva et al. (2014), através da análise de ciclo de vida (ACV), compararam os impactos ambientais de quatro sistemas de produção de aves no Brasil e na França: um de grande escala no Centro-Oeste (CO) brasileiro e outro de pequena escala no Sul e dois sistemas na França, um semi-intensivo, conhecido como “Label Rouge”, e um sistema convencional. Os dois sistemas brasileiros tiveram menor emissão de CO_2eq em relação aos sistemas franceses. A produção em larga escala no CO brasileiro apresentou 2,0 Mg de CO_2eq , contra 1,7 no sistema em pequena escala no Sul, por tonelada de frango resfriado e embalado, pronto para distribuição. O sistema semi-intensivo “Label Rouge” da França emite 3,3 e o sistema tradicional, 2,6 Mg de CO_2eq . Comparando os dois sistemas brasileiros avaliados com relação à contribuição relativa para a emissão de GEE, a produção de frangos dentro das instalações representou 25% no Centro-Oeste e 30% no Sul.

Esses autores, no entanto, utilizaram dados de emissões de GEE provenientes da criação de frango na França para os cálculos, pois no Brasil ainda não se tem essa informação. Assim, eles adotaram dados de Gac et al. (2007) para a emissão de NH_3 e os determinados por Dollé et al. (2009) para a emissão de FE de CH_4 e N_2O . Foram consideradas as emissões provenientes da cama durante a criação e da compostagem, bem como as emissões do destino final do dejetos, sendo as maiores emissões provenientes da cama de frango (24% em média). No entanto, essas emissões adotadas são superiores às emissões obtidas nesta pesquisa. As

distorções nos dados indicam níveis de emissões superiores à realidade brasileira. Portanto, os FE gerados nesta pesquisa preenchem a lacuna, até o momento, da literatura brasileira.

Existe a necessidade de melhorar a qualidade das informações utilizadas nos inventários brasileiros, como a quantidade de dejetos e o tamanho dos rebanhos, assim como utilizar FE adequados para a agricultura tropical. Nesse caso, é preciso analisar o sistema de produção como um todo, e não apenas o animal isoladamente.

A ausência de dados relativos à emissão de GEE no Brasil está ligada exatamente ao perfil de emissões do país e à maneira com que se faz a quantificação dessas emissões. Em um país com o tamanho e a diversidade de climas e condições ambientais como o Brasil, estimar o que é emitido pela agropecuária ou pelas alterações de uso do solo é muito mais difícil do que estimar o que é emitido para a geração de energia ou queima de combustíveis fósseis, já que os sistemas e processos envolvidos na emissão são muito mais complexos e as fontes usadas são diversas (GREGORY et al., 2005). O avanço na quantificação de GEE está de acordo com esforços nacionais e internacionais para incluir os sistemas agropecuários numa agenda política para a mitigação e adaptação dos impactos causados pelas mudanças climáticas (OLANDER et al., 2013).

Em estudos sobre a produção de bovinos de corte, as emissões de GEE têm sido mensuradas a partir de unidades que envolvam a produtividade animal, em que unidades como $\text{kgCO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de carne ou leite produzidos têm sido empregados. Essas estimativas são normalmente realizadas por modelagens matemáticas (OGINO et al., 2007; VERGÉ et al., 2008). Costa Junior et al. (2015) realizaram simulações com o modelo Manure-DNDC, cujos resultados sugeriram que, em um típico manejo de dejetos de bovinos confinados no Brasil, foram emitidos, em 2010 ($\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$), cerca de 376,6 Gg CO_2eq , dos quais 69% foram provenientes diretamente, o que corresponde a $0,19 \pm 0,10 \text{ kg CO}_2\text{eq por kg de GPV}$.

No geral, as avaliações realizadas nesta pesquisa, no que se refere às emissões de GEE e NH_3 determinadas no Brasil para a produção de frangos de corte, foram menores quando comparadas com as de outros países. As informações fornecem dados de 365 dias das emissões de GEE (NH_3 , N_2O e CH_4) oriundos dos dejetos de frangos de corte com base nas práticas atuais de criação e representam um avanço significativo em caracterizar as emissões dentro das instalações avícolas brasileiras. No entanto, outros estudos são necessários para compreender melhor as

emissões de GEE diretas e indiretas e que apontem formas de mitigação associadas ao manejo dos dejetos. Esses estudos devem focar na redução de incertezas nas medições no campo, bem como avaliar a interface meio ambiente e bem-estar animal para serem contempladas sob respaldo científico, abrangendo estudos longitudinais e de análises dos custos da produção ética de proteína animal em consonância com a preservação ambiental.

3.4 Conclusões

Os FE modelados para os dejetos de frangos durante quatro ciclos de criação corresponderam a 0,14 g de N₂O, 0,35 g de CH₄ e 72,0 g de N-NH₃ ave-alojada⁻¹ ano⁻¹.

Os cenários de maior reúso da cama (seis ciclos) simulados nesta pesquisa estimou uma emissão de 0,5 kg CO₂eq ave-alojada⁻¹ ano⁻¹ correspondentes a 0,08 kg CO₂eq ave⁻¹ ou a 0,04 kg CO₂eq por kg de carne. Considerando o plantel de aves alojadas em 2015, o Brasil emitiu cerca de 545,1 Gg CO₂eq.

O manejo de reutilização da cama aumenta a emissão dos GEE e NH₃. Os cenários de menor reúso da cama simulados nesta pesquisa podem ser considerados como opções de mitigação de GEE em aviários de frangos de corte no Brasil. Realizar a troca da cama no lugar de reutilizá-la por seis ciclos resultaria em redução nas emissões de 21% para N₂O, 40% para CH₄ e 78% para NH₃. Essa redução de emissão expressa em CO₂eq representa 72%. Essa informação tem grande utilidade no que se refere às práticas mitigadoras das emissões de gases na produção de frangos de corte.

Referências

ALMEIDA, R. G.; MEDEIROS, S.R. Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CONGRESSO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2013, Campo Grande. **10 anos de pesquisa; anais....** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2013. p. 1-23.

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

APINCO. **Avicultura industrial.** Disponível em: <<http://www.avisite.com.br/noticias/index.php?codnoticia=16616>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

ARAÚJO, E. S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; BARROS, L. H.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. e ALVES, B.J.R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, p. 769-776, 2009 .

ARCEIVALA, S.J. **Wastewater treatment and disposal**. New York: Marcel Dekker, 1981. 892 p.

AVILA, V. S.; ABREU, V. M. N.; FIGUEIREDO, E. A. P.; BRUM, P. A. R.; OLIVEIRA, U. **Valor agrônomo da cama de frangos após reutilização por vários lotes consecutivos**. Concórdia: Embrapa, 2007. (Comunicado Técnico).

BARTON, L.; KIESE, R.; GATTER, D.; BUTTERBACK-BAHL, K.; BUCK, R.; HINZ, C.; MURPHY, D. V. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. **Global Change Biology**, Oxford, v. 14, p. 177-192, 2008.

BAIÃO, N. C. Quando o ambiente fica carregado. **Revista Aves e Ovos**, São Paulo, p. 20-22, 1996.

BARNES, D.; BLISS, P. J. **Biological control of nitrogen in wastewater treatment**. London: E. & F.N. Spon, 1983.

BLAKE, J. P.; HESS, J. B. **Litter treatments for poultry**. Auburn: The Alabama Cooperative Extension System and Auburn University, 2001.

BREMMER, J. M. Sources of nitrous oxide in soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 49, p. 7-16, 1997.

BOWDEN, R. D.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J. M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soil in the northeastern United States. **Journal of Geophysical Research**, Washington, DC, v. 95, p. 13997-14005, 1990.

BURNS, R. T.; XIN, H.; GATES, R. S.; LI, H.; OVERHULTS, D.; MOODY, L.; EARNEST, J. W. Ammonia emission from poultry broiler systems in the southeastern United States. In: International SYMPOSIUM ON AIR QUALITY AND WASTE MANAGEMENT FOR AGRICULTURE, 2007, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph, 2007.

CALVET, S.; ESTELLE'S, F.; CAMBRA-LÓPEZ, M.; TORRES, A. G.; VAN DEN WEGHE, H. F. A. The influence of broiler activity, growth rate and litter on carbon dioxide balances for the determination of ventilation flow rates in broiler production. **Poultry Science**, Oxford, v. 90, p. 2449-2458, 2011.

CARR, L. E.; WHEATON, F. W.; DOUGLAS, L. W. Empirical models to determine ammonia concentrations from broiler chicken litter. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 33, p. 1337-1342, 1990.

CASEY, K. D.; GATES, R. S.; WHEELER, E. F.; XIN, X.; ZAJACKOWSKI, J. L.; TOPPER, P. A.; LIANG, Y. Ammonia emissions from Kentucky broiler houses during Winter and Spring. In: NATIONAL CLEAN AIR CONFERENCE: linking air pollution science, policy and management, 2003, Newcastle. **Proceedings...** Newcastle, 2003a.

CASEY, K. D.; GATES, R. S.; WHEELER, E. F.; XIN, X.; ZAJACKOWSKI, J. L.; TOPPER, P. A.; LIANG, Y. Ammonia emissions from broiler houses in Kentucky during Winter. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GASEOUS AND ODOUR EMISSIONS FROM ANIMAL PRODUCTION FACILITIES. **Proceedings...** Horsens, 2003b.

CASEY, K. D.; GATES, R. S.; WHEELER, E. F.; XIN, X.; ZAJACKOWSKI, J. L.; TOPPER, P. A.; LIANG, Y. Ammonia emissions from Kentucky broiler houses during winter, spring and summer. In: A&WMA'S 97TH ANNUAL CONFERENCE, 2004, Indianapolis. **Proceedings...** Indianapolis: A&WMA, 2004.

CASEY, K. D.; GATES, R. S.; SHORES, R. C.; THOMAS, D.; HARRIS, D. B. Ammonia emissions from a U.S. broiler house comparison of concurrent measurements using three different technologies. **Journal of the Air & Waste Management Association**, Philadelphia, v. 60, p. 939-48, 2010.

CHADWICK, D. R.; SNEATH, R. W.; PHILLIPS, V. R.; PAIN, B. F.. A UK inventory of nitrous oxide emissions from farmed livestock. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 33, p. 3345–3354, 1999.

CHAMBLEE, T. N.; TODD, R. L. **Mississippi broiler litter**: fertilizer value and quantity produced. Starkville: Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station, 2002. (Research Report, 23).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília, DF, 2014.

CORDEIRO, D. C.; SONODA, L. T. E.; MOURA, D. J. Reúso de cama de frango e seus efeitos na qualidade do ar e bem-estar das aves. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 18., 2010, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2010.

COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; PIRES, A. V. Net greenhouse gas emissions from manure management using anaerobic digestion technology in a beef cattle feedlot in Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 505, p. 1018-1025, 2015.

CLAYTON, H.; ARAH, J. R. M.; SMITH, K. A. Measurement of nitrous oxide emissions from fertilized grassland using closed chambers. **Journal of Geophysical Research. Atmosphere**, Washington, DC, v. 99, p. 16599-16607, 1994.

DAVIDSON, E. A.; KELLER, M.; ERICKSON, H. E.; VERCHOT, L. V.; VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. **BioScience**, Uberlândia, v. 50, p. 667-680, 2000.

DEMMERS, T. G. M.; BURGESS, L. R.; SHORT, J. L.; PHILIPS, V. R.; CLARK, J. A.; WATHES, C. M. Ammonia emissions from two mechanically ventilated UK livestock buildings. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 33, p. 217-227, 1999.

DOWNING, A. L. **Selected subjects in waste treatment**. 3. ed. Delf: IHE, 1978.

DOLLÉ, J.-B. et al. **GES'TIM, guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre**. Paris: Institut de l'Elevage, 2009.

ELWINGER, K.; SVENSSON, L. Effect of dietary protein content, litter and drinker type on ammonia emission from broiler houses. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 64, p. 197-208, 1996.

ELLIOT, H. A.; COLLINS, N. E. Factors affecting ammonia release in broiler houses. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 25, p. 413-424, 1982.

FERGUSON, N. S. R. S.; GATES, J. L.; TARABA, A. H.; CANTOR, A. J.; PESCATORE, M. L.; STRAW, M. J.; BURNHAM, D. J. The effect of dietary protein and phosphorus on ammonia concentration and litter composition in broilers. **Poultry Science**, Oxford, v. 77, p. 1085-1093, 1998.

FIGUEIREDO, E. B.; LA SCALA JUNIOR, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 141, p. 77-85, 2011.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; SHIMEL, D. S. **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. New York: John Wiley, 1989.

GAC, A.; BÉLINE, F.; BIOTEAU, T.; MAGUET, K. A French inventory of gaseous emissions (CH₄, N₂O, NH₃) from livestock manure management using a massflow approach. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 112, p. 252-260, 2007.

GATES, R. S.; CASEY, K. D.; WHEELER, E. F.; XIN, H.; PESCATORE, A. J. U. S. Broiler housing ammonia emissions inventory. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 42, p. 3342-3350, 2008.

GLANCEY, J. L.; HOFFMAN, S. C. Physical properties of solid waste materials. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 12, p. 441-446, 1996.

GREGORY, P. J.; INGRAM, J. S. I.; BRKLACICH, M. Climate change and food security. **Philosophical Transactions of the Royal Society. Series B. Biological Sciences**, London, v. 360, p. 2139-2148, 2005.

GUIZIOU, F.; BÉLINE, F. In situ measurement of ammonia and greenhouse gas emissions from broiler house in France. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 96, p. 203-207, 2005.

HENN, J. D.; BOCKOR, L.; RIBEIRO, A. M. L.; COLDEBELLA, A.; KESSLER, A. de M. Growth and deposition of body components of intermediate and high performance broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 16, p. 319-328, 2014.

HUTCHINSON, G. L.; MOSIER, A. R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 311-316, 1981.

HAYES, E. T.; CURRAN, T. P.; DODD, V. A. Odour and ammonia emissions from intensive poultry units in Ireland. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 97, p. 933-939, 2006.

HOU, Y.; VELTHOF, G.; OENEMA, O. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta analysis and integrated assessment. **Global Change Biology**, Oxford, v. 21, p. 1293-1312, 2015.

IPCC. **Scientific assessment**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: EGGLESTON, H.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **The National Greenhouse Gas Inventories Programme**. Kanagawa: IPCC, 2006.

JACINTHE, P. A.; DICK, W. A. Soil management and nitrous oxide emissions from cultivated fields in southern Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 41, p. 221-235, 1997.

JANTALIA, C. P.; HALVORSON, A. D.; FOLETT, R. F.; ALVES, B. J. R.; POLIDORO, J. C.; URQUIAGA, S. Nitrogen source effects on ammonia volatilization as measured with semi-static chambers. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, p. 1093-1098, 2012.

JEPPSSON, K. H. Volatilization of ammonia in deep litter systems with different bedding materials for young cattle. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 7, p. 49-57, 1999.

JONES, S. K.; REES, R. M.; SKIBA, U. M.; BALL, B. C. Greenhouse gas emissions from a managed grassland. **Global Planetary Change**, Amsterdam, v. 47, p. 201-211, 2005.

KOERKAMP, P. W. G. G.; METZ, J. H. M.; UENK, G. H.; PHILLIPS, V. R.; HOLDEN, M. R.; SNEATH, R. W.; SHORT, J. L.; WHITE, R. P. P.; HARTUNG, J.; SEEDORF, J.; SCHRÖDER, M.; LINKERT, K. H.; PEDERSEN, S.; TAKAI, H.; JOHNSEN, J. O.; WATHES, C. M. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in northern Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 70, p. 79-95, 1998.

LESSA, A. C.; MADARI, B. E.; PAREDES, D. S.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Journal Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 104-111, 2014.

LIMA, K. A. O.; MOURA, D. J.; CARVALHO, T. M. R.; BUENO, L. G. F.; VERCELLINO, R. A. Ammonia emissions in tunnel-ventilated broiler houses. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 13, p. 265-270, 2011.

LIMA, N. D. S.; GARCIA, R. G.; NÄÄS, I. A.; CALDARA, F. R.; ONSO, R. Model-predicted ammonia emission from two broiler houses with different rearing systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, p. 393-399, 2015.

LIN, X. J.; CORTUS, E. L.; ZHANG, R.; JIANG, S.; HEBER, A. J. Air emissions from broiler houses in California. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 55, p. 1895-1908, 2012.

LIU, Z.; WANG, L.; BEASLEY, D. B. **A review of emission models of ammonia released from broiler houses**. St. Joseph: ASABE, 2006. (Meeting Presentation Paper, 064101).

ROSS AN AVIAGEM BRAND. **Ross Broiler Management Handbook**. Huntsville, AL, 2014. Disponível em: http://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-Broiler-Handbook-2014i-EN.pdf. Acesso em: 11 nov. 2015.

MAZZETO, A. M.; BARNEZE, A. S.; FEIGL, B. J.; VAN GROENIGEN, J. W.; OENEMA, O.; DE KLEIN, C. A. M.; CERRI, C. C. Use of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) does not mitigate N₂O emission from bovine urine patches under Oxisol in Northwest Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 101, p. 83-92, 2015.

MEDA, B.; HASSOUNA, M.; AUBERT, C.; ROBIN, P.; DOURMAD, J. Y. Influence of rearing conditions and manure management practices on ammonia and greenhouse gas emissions from poultry houses. **World's Poultry Science Journal**, Columbus, v. 67, p. 441-456. 2011.

MEDEIROS, R.; SANTOS, B. J.; FREITAS, M.; SILVA, O. A.; ALVES, F. F.; FERREIRA, E. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2321-2326, 2008.

MENDES, L.; TINOCO, I.; OGINK, N.; ROCHA, K.; OSORIO, J.; SANTOS, M. Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 1179-1185, 2014.

MILES, D. M.; OWENS, P. R.; ROWE, D. E. Spatial variability of litter gaseous flux within a commercial broiler house: ammonia, nitrous oxide, carbon dioxide, and methane. **Poultry Science**, Oxford, v. 85, p. 167-172, 2006.

MILES, D. M. Vertical stratification of ammonia in a broiler house. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, GA, v. 17, p. 348-353, 2008.

MILES, D. M.; BROOKS, J. P.; SISTANI, K. Spatial contrasts of seasonal and intraflok broiler litter trace gas emissions, physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 40, p. 176-87, 2011.

MIRAGLIOTTA, M. Y.; NÄÄS, I. A.; MURAYAMA, M. C.; MOURA, D. J. Software para estimativa de emissão de amônia em alojamento de frangos de corte. **Revista Brasileira de Agroinformática**, São Paulo, v. 6, p. 79-89, 2004.

MOSIER, A.; WASSMAN, R.; VERCHOT, L.; KINK, J.; PALM, C. **Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils**: sources, sinks and mechanisms. Dordrecht: Springer, 2004. p. 11-49.

MÜLLER, H. J.; BRUNSCH, R.; HÖRNING, G.; JELINEK, A. Odour and Ammonia emissions from poultry houses with different keeping and ventilation systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GASEOUS AND ODOUR EMISSIONS FROM ANIMAL PRODUCTION FACILITIES, 2003, Horsens. **Proceedings...** Horsens, 2003. p. 172-179.

MONTENY, G. J.; GROENESTEIN, C. M.; HILHORST, M. A. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 60, p.123-132, 2001.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: ASA, 1982. p. 539-579.

NI, J. Mechanistic models of ammonia release from liquid manure: a review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 72, p. 1-17, 1999.

OLANDER, L. et al. Advancing agricultural greenhouse gas quantification. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 8, p. 011002, 2013.

OLIVEIRA, M. C. et al. 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, p. 951-954, 2003.

OLIVEIRA, M. C.; GODOI, C. R. Tratamento da cama de frango sobre o desempenho das aves e qualidade da carcaça e da cama: revisão de literatura. **PUBVET**, Londrina, v. 4, Art. 755, 2010.

OSORIO-SARAZ, J. A.; TINOCO, I. F. F.; GATES, R.; OLIVEIRA-ROCHA, K. S. O.; COMBATT-CABALERO, E. M.; SOUSA, F. C de. Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. **Dyna**, Medellín, v. 81, p. 137-143, 2014.

OWADA, A. N.; NÄÄS, I.A.; MOURA, D.J.; BARACHO, M.S. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade do galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 611-618, 2007.

PECORARO, C. A. **Contribuição da produção confinada de suínos na emissão de amônia e gases de efeito estufa mediante avaliação das metodologias contínua e simplificada**. 2015. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

PESCATORE, A. J.; CASEY, K. D.; GATES, R. S. Ammonia emissions from broiler houses. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, GA, v. 14, p. 635-637, 2005.

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. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 132, p. 66-73, 2009.

PHILIPPE, F. X.; LAILAT, M.; NICKS, B.; CABARAUX, J. F. Ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs kept on two types of straw floor. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 150, p. 45-53, 2012.

POPE, M. J.; CHERRY, T. E. An evaluation of the presence of pathogens on broilers raised on poultry litter treatment-treated litter. **Poultry Science**, Oxford, v. 79, p. 1351-1355, 2000.

PRUDÊNCIO DA SILVA, V.; VAN DER WERF, HAYO M. G.; SOARES, S. R.; CORSON, M. S. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: an LCA approach. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 133, p. 222-231, 2014.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV, 2011.

REDWINE, J. S.; LACEY, R.; MUKHTAR, S.; CAREY, J. B. Concentration and emissions of ammonia and particulate matter in tunnel-ventilated broiler barns under summer conditions in Texas. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 45, p. 1101-1109, 2002.

REIS, B.; BERGAMIN, F. Evolução dos injetores empregados em sistemas de análise química por injeção em fluxo. **Química Nova**, São Paulo, v. 16, p. 570-573, 1993.

RIGOLOT, C.; ESPAGNOL, S.; ROBIN, P.; HASSOUNA, M.; BÉLINE, F.; PAILLAT, J.M.; DOURMAD, J.Y. 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, v. 4, p. 1413-1424, 2010.

SAGGAR, S.; ANDREW, R. M.; TATE, K. R.; HEDLEY, C. B.; RODDA, N. J.; TOWNSEND, J. A. Modelling nitrous oxide emissions from dairy-grazed pastures. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 68, p. 243-255, 2004.

SANTOS, E. C.; COTTA, J. T. B.; MUNIZ, J. A.; FONSECA, R. A.; TORRES, D. M. Avaliação de alguns materiais usados como cama sobre o desempenho de frangos de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 1024-1030, 2000.

SIEFERT, R. L.; SCUDLARK, J. R.; POTTER, A. G.; SIMONSEN, K. A.; SAVIDGE, K. B. Characterization of atmospheric ammonia emissions from a commercial chicken house on the Delmarva Peninsula. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 38, p. 2769-2778, 2004.

SILVA, F. S.; SANTOS, B. J. M.; FERREIRA, E. Uso de aditivos químicos para controle da volatilização de amônia em cama de frango. **PUBVET**, Maringá, v. 2, n. 17, p. 2321-2326, 2008.

SMITH, K. A.; CLAYTON, H.; MCTAGGART, I. P.; THOMSON, P. E.; ARAH, J. R. M.; SCOTT, A. The measurement of nitrous oxide emissions from soil by using chambers. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, London, v. 351, p. 327-338, 1995.

SNEATH, R. W.; PHILLIPS, V. R.; DEMMERS, T. G. M.; BUERGESS, L. R.; SHORT, J. L.; WELCH, S. K. Long Term Measurements of Greenhouse Gas Emissions from UK Livestock Buildings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIVESTOCK ENVIRONMENT, 5., 1997, Bloomington. **Proceedings...**Bloomington, 1997. p. 146-153.

SOMMER, S. G.; ZHANG, G. Q.; BANNINK, A.; CHADWICK, D.; MISSELBROOK, T.; HARISON, R.; HUTCHINGS, N. J.; MENZI, H.; MONTENY, G. J.; NI, J. Q.; OENEMA, O.; WEBB, J. Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 89, p. 261-335, 2006.

SRI INSTRUMENTS. Disponível em: <<http://www.srigc.com>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

SUTTON, M. A.; ERISMAN, J. W.; DENTENER, F.; MÖLLER, D. Ammonia in the environment: From ancient times to the present. **Environmental Pollution**, London, v. 156, p. 583-604, 2008.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 3, p. 1-26, 2001.

VERGÉ, X. P. C.; DYER, J. A.; DESJARDINS, R. L.; WORTH, D. Long-term trends in greenhouse gas emissions from the Canadian poultry industry. **The Journal of Applied Poultry Research**, Athens, GA, v. 18, p. 210-222, 2009.

WATHES, C. M.; HOLDEN, M. R.; SNEARTH, R. W.; WHITE, R. P.; PHILLIPS, V. R. Concentrations and emission rate of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 38, p. 14-28, 1997.

WANG, S. Y.; HUANG, D. J. Assesment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 18, p. 873-878, 2005.

WHITTAKER, E. T.; ROBINSON, G. **Trapezoidal and parabolic rules. the calculus observation**: a treatise of numerical mathematics. New York: Dover, 1967.

WHEELER, E.; CASEY, K.; ZAJACZKOWSKI, J. S.; TOPPER, P. A.; GATES, R. S.; XIN, H.; LIANG, Y.; TANAKA, A. Ammonia emissions from U.S. poultry houses: Part III-Broiler houses. In: INTERNATIONAL CONFERENCE: AIR POLLUTION FROM AGRICULTURE OPERATIONS 3., 2003, Raleigh. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2003. p. 159-166.

WHEELER, E.; CASEY, K.; GATES, R. S.; XIN, H.; ZAJACZKOWSKI, J. L.; TOPPER, P. A.; LIANG, Y.; PESCATORE, A. J. Ammonia emissions from twelve U.S.A. broiler chicken houses. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 49, p. 1495-1502, 2006.

WHEELER, E.; CASEY, K.; GATES, R. S.; XIN, H.; TOPPER, P. A.; LIANG, Y. Ammonia Emissions from USA Broiler Chicken barns managed with new bedding, built-up litter, or acid-treated litter. In: CONFERENCE LIVESTOCK ENVIRONMENT, 8., 2008, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Foz do Iguaçu, 2008.

WINKEL, A.; MOSQUERA, J.; KWIKKEL, R. K.; GERRITS, F. A.; OGINK, N. W. M.; AARNINK, A. J. A. **Fijnstofemissie uit stallen**: vleeskuikens. Wageningen: Wageningen University, 2011. 23 p. (Livestock Research, 275).

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Water vapour and carbon dioxide (CO₂) are the major greenhouse gases (GHGs), with CO₂ the main driver of climate change. Water vapour changes largely happen as a response to the change in CO₂. **WMO Greenhouse Gas Bulletin**, n. 11, p. 1-4, 2015.

4 BALANÇO DE NITROGÊNIO NA CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

Resumo

A indústria brasileira de carne de frango é tida como maior exportadora e a segunda maior produtora do mundo. Paralelamente a essa produção ocorre também maior produção de cama de frango, a qual necessita ser devidamente manejada. Determinar o caminho percorrido pelo N em sistemas de produção pode ser de grande valia para se compreender onde esse nutriente está sendo utilizado, acumulado ou perdido, através de outras formas moleculares e para outros sistemas. O objetivo deste estudo foi contabilizar as entradas e saídas de N na produção de frangos de corte durante quatro ciclos de criação e reutilização da cama de frango. Dados de consumo e composição da ração, composição química dos dejetos, juntamente com as saídas nas formas gasosas de NH_3 e N_2O provenientes dos dejetos, foram utilizados no balanço de massa, em quatro ciclos de criação. A diferença entre o total de entrada e saída correspondeu ao N não contabilizado. A principal entrada de N na unidade de produção foi pela ração, e proporções semelhantes foram obtidas nos quatro ciclos avaliados. A entrada de N pela cama de frango aumentou consideravelmente a cada ciclo de reutilização. Após cada ciclo de criação, os totais de N retidos na carcaça, o N acumulado na cama e as perdas de N via emissões gasosas variaram de 45 a 65%, de 24 a 47% e de 4 a 6%, respectivamente. As perdas por volatilização de NH_3 foram maiores no 4º ciclo, com 14 g N ave^{-1} . Esses resultados suportam a teoria de que a prática de reutilização da cama favorece as emissões de NH_3 para a atmosfera. O balanço de N revelou um bom ajuste de entradas e saídas do sistema para os quatro ciclos de criação avaliados (variação de 4 a 6%). Os resultados desse balanço de massa são originais e anteriormente não disponíveis na literatura científica sobre a atividade de avicultura de corte no Brasil.

Palavras-chave: Amônia. Manejo de dejetos. Qualidade do ar. Ambiência. Entradas e saídas de N.

NITROGEN BALANCE IN BROILER PRODUCTION

Abstract

The Brazilian poultry industry is regarded as the largest exporter and the second producer in the world. Paralleling with this production is also increased production of poultry litter, which needs to be well managed. Determine the path taken by N in production systems can be of great importance to understand where this nutrient is being used, accumulated or lost, through other ways and other systems. The aim of this study was to account N inputs and outputs in the production of broiler during four cycles of creation and reuse of poultry litter. Consumption, composition of the feed, the chemical composition of manure, along with the outputs in gaseous forms of NH_3 and N_2O from manure data were used in the mass balance in four breeding cycles. The difference between the total input and output corresponds the N unaccounted. The main input of N in the production system was the ration, similar proportions were obtained in all evaluated cycles. The entry of N by poultry litter increased considerably each reuse cycle. After each cycle, where calculated the total of N retained in the carcass, the N accumulated in the litter and losses by gas emissions of N, which vary in the four lots 45 to 65%, 24 to 47% and 4 to 6% respectively. The losses by NH_3 volatilization were higher in the 4th cycle, with 14 g N bird⁻¹. These results support the theory that the reuse of litter practice favors the emission of NH_3 to atmosphere. The N balance showed a better adjustment of inputs and outputs in the system for the four cycles of this setting (range of 4 to 6%). The results of this N balance are original and not previously available in the scientific literature on poultry production activity in Brazil.

Keywords: Ammonia. Manure management. Air quality. Ambience. Inputs and outputs of N.

4.1 Introdução

A avicultura industrial evoluiu muito nas últimas décadas, reflexo dos avanços em melhoramento genético, nutrição, sanidade e manejo, que possibilitaram em melhor desempenho animal e produtividade. Resultado disso foi a obtenção de linhagens de frango capazes de serem abatidas aos 42 dias de idade e com média de 2,5 kg de peso vivo, ao passo que anteriormente o mesmo peso era obtido era alcançado com mais de 100 dias de criação.

O Brasil possui uma das maiores indústrias avícolas do mundo, posicionando-se como o segundo maior produtor e o maior exportador de carne de frango do mundo (ABPA, 2015). Paralelamente a esta produção ocorre também maior produção de resíduos “cama de frango”, que necessitam ser devidamente manejados com o objetivo de tornar a atividade ambiental, social e economicamente viável. Em virtude das condições climáticas brasileiras que, permitem a produção em aviários abertos, criam-se condições de reutilização da cama que, dependendo da qualidade, volume e manejo, pode ser reutilizada em até 12 lotes de frangos. De maneira geral, nos sistemas de produção brasileira, costuma-se reutilizar a cama por quatro lotes consecutivos (ÁVILA et al., 2007).

A cama de frango tem influência direta na produção de amônia (NH_3), poluente tóxico mais encontrado no interior das instalações avícolas, a qual pode causar queda no desempenho das aves e à saúde dos trabalhadores (TINÔCO, 2004; OSÓRIO et al., 2009). Contudo, a observação detalhada do caminho percorrido pelo N em sistemas de produção pode ser de grande valia para se compreender onde esse nutriente está sendo utilizado, acumulado ou perdido, através de outras formas e para outros sistemas. A nitrificação, a desnitrificação, a lixiviação de nitratos e a volatilização de NH_3 são possíveis caminhos de transformação que podem ser sofridos pelas moléculas que contém nitrogênio (N).

A principal entrada de N na produção de frangos de corte é através da dieta. A ração de frangos de corte é baseada na combinação de ingredientes escolhidos para atender às exigências dos animais, principalmente em energia e proteína que, por sua vez, são elevadas em razão da capacidade de ganho de peso das linhagens de frangos de corte.

As rações formuladas fornecidas aos animais, geralmente apresentam um percentual de proteína bruta na faixa de 18-22% (ROSTAGNO et al., 2011). Isso

mostra a alta taxa de inclusão de alimentos ricos em proteína, principalmente o farelo de soja (DONG et al., 2011). Como todo sistema biológico, o trato digestório desses animais apresenta ineficiência no uso desses alimentos, ou seja, nem tudo que é consumido é metabolizado, sendo parte excretada. Por conseguinte, dado o elevado aporte de proteína, é importante determinar os fluxos e a rota de produção do N dentro das instalações avícolas.

As saídas podem ser contabilizadas a partir da quantidade de N excretado pelas aves. Do total excretado, parte é acumulada na cama de frango e parte é perdida via volatilização de NH_3 , N_2O e N_2 (OENEMA et al., 2005), sendo a volatilização de amônia o processo responsável pelas maiores perdas de N para a atmosfera (BOUWMAN et al., 1996).

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi contabilizar as entradas e saídas de N na produção de frangos de corte durante os quatro ciclos de criação, com a reutilização da cama de frango.

4.2 Material e métodos

O trabalho foi realizado no aviário experimental do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, situada em Piracicaba, SP. A criação das aves foi realizada em gaiolas metálicas desenvolvidas neste estudo, descritas anteriormente no Capítulo 2 e 3 desta tese, intitulado: **Sistema de amostragem de gases do efeito estufa na avicultura (SISAVE)**. Foram alojadas em lote misto (macho e fêmea) aves da linhagem Ross®, com densidade de oito aves m^{-2} , com cinco repetições.

A cama utilizada foi constituída inicialmente de maravalha nova, sendo colocados 5 kg m^{-2} de maravalha de pinus dentro da bandeja do SISAVE (cerca de 10 cm de altura). Com o intuito de obter dados mais representativos para esse setor, quatro lotes de aves (duração de 42 d cada ciclo) foram criados, consecutivamente, sobre a mesma cama, implicando que a cama foi reutilizada quatro vezes.

4.2.2 Desempenho e manejo das aves

As dietas ofertadas aos frangos foram formuladas à base de milho, farelo de soja, óleo de soja, suplemento vitamínico, mineral e de aminoácido, conforme níveis nutricionais recomendados pelas tabelas brasileiras (ROSTAGNO et al., 2011), de

acordo com um programa nutricional dividido em quatro fases de criação das aves: pré-inicial (idade de 1-7 d), inicial (idade 8-21 d), de crescimento (idade 22-33 d) e final (idade 34-42 d). Informações detalhadas sobre as dietas estão na Tabela 3.1 (seção 3.2.3) do Capítulo 3. Cada gaiola foi equipada com comedouro e bebedouro, permitindo livre acesso das aves ao alimento e à água durante todo o período experimental.

Semanalmente, as aves e as rações foram pesadas para quantificar o consumo por unidade experimental (gaiola). Os cálculos para o peso corporal médio (PV, g ave⁻¹) e consumo médio de ração (Cra, g ave⁻¹) foi conforme descrito no capítulo 3 desta tese.

4.2.3 Balanço de nitrogênio

O cálculo do balanço de nitrogênio (g N ave⁻¹) para cada ciclo em estudo foi obtido pela diferença entre a entrada e saída de N do sistema de criação, conforme descrito na eq. (1), proposta por Philippe et al. (2012).

$$N_{\text{n\~ao contabilizado}} = (N\text{-cama inicial} + N\text{-ração}) - (N\text{-cama} + N\text{-NH}_3 + N\text{-N}_2\text{O} + N\text{-retido}) \quad (1)$$

A entrada de N-cama inicial (g N ave⁻¹) foi determinada no início e final de cada ciclo com base no teor de N (g kg⁻¹) total da cama, bem como pela quantidade de cama (kg ave⁻¹). O N-ração (g N ave⁻¹) foi determinado de acordo com o consumo de ração (g ave⁻¹) pelas aves, assim como pelos teores de proteína bruta (PB) na ração nas quatro fases de criação (23,09; 21,28; 19,81; 18,60%), pressupondo-se que a proteína alimentar contenha 16% de N (BLAXTER; ROOK, 1953).

Quanto à produção de cama de material seco (kg MS), adotou-se um coeficiente de resíduo (Cr) de 0,4 para a cama de 1º ciclo, proposto por Santos et al. (2005). Este Cr contempla que, para cada kg de frango vivo produzido em cama nova, foi gerado 0,4 kg MS de resíduo. Para os ciclos posteriores, foi acrescentado a cada ciclo, 0,2 kg MS de excreta por ave (dados medidos experimentalmente, porém não apresentados nesta tese).

O N-retido foi estimado com base no ensaio metabólico realizado por Vasconcellos et al. (2011), assumindo que as aves retêm 65% do N consumido e o restante, excretado (35%). As perdas de N na forma de emissões gasosas de NH₃ e N₂O (g N ave⁻¹ ciclo⁻¹) foram determinadas anteriormente no Capítulo 3

(“MONITORAMENTO E MODELAGEM DAS EMISSÕES DE GEE E NH_3 NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE COM MULTIPLOS REÚSOS DA CAMA”). Assim, o N não contabilizado foi determinado pela diferença entre a entrada e saída de N no sistema.

4.3 Resultados e discussão

O balanço de massa do N foi realizado para verificar a coerência dos dados observados no capítulo anterior desta tese.

Com base nos dados de composição química da ração e dos dejetos, juntamente com a estimativa de retenção corporal dos nutrientes, o balanço de massa foi realizado considerando o período de coleta de dados para os 42 d de criação das aves, em quatro ciclos de criação e reúso da cama.

Na Tabela 4.1 estão apresentados os valores médios obtidos experimentalmente para o balanço de N.

Tabela 4.1 – Balanço de nitrogênio ao longo da criação de frangos de corte

Entradas/Saídas	Ciclos			
	1°	2°	3°	4°
Entradas de N (g N ave⁻¹)				
N-cama inicial ²	1,08 ± 0,0	28,7 ± 1,1	52,6 ± 0,4	73,1 ± 0,1
N-ração ²	162,8 ± 2,6	169,0 ± 3,5	153,2 ± 4,3	163,6 ± 2,6
Saídas de N (g N ave⁻¹)				
N-retido ¹	105,9 ± 0,7	109,9 ± 1,0	99,6 ± 1,3	106,4 ± 0,8
N-excretado ¹	57,0 ± 0,4	59,1 ± 0,5	53,6 ± 0,7	57,3 ± 0,4
N-cama ²	39,8 ± 0,9	66,8 ± 1,45	88,9 ± 1,0	110,9 ± 3,2
N-NH ₃ ²	9,9 ± 0,4	11,0 ± 0,2	9,2 ± 0,3	14,3 ± 0,2
N-N ₂ O ²	0,0027 ± 0,0001	0,0052 ± 0,0002	0,0058 ± 0,0002	0,0075 ± 0,0002
N-não contabilizado ²	8,4 ± 1,2	10,0 ± 1,3	8,2 ± 1,3	5,2 ± 3,3

Valores representam: média (n=5) ± erro padrão

¹ Dados estimados e ²Dados medidos

A entrada de N na unidade de produção por meio da ração (N-ração) e a quantidade de N retido nos tecidos dos animais (N-retido) apresentaram proporções semelhantes ao longo dos quatro ciclos avaliados (Tabela 4.1). A entrada de N pela cama de frango aumentou, de modo significativo, a cada ciclo de reutilização (Figura 4.1). Essa entrada inicial de N pela cama foi contabilizada de acordo com os dados de teores de N_{total} determinados a cada ciclo de criação.

Os teores de N_{total} determinados em amostras da cama coletadas no final de cada ciclo de criação corresponderam a $31,5 \pm 0,8$ (1º ciclo); $36,7 \pm 0,8$ (2º ciclo); $36,1 \pm 0,6$ (3º ciclo); $34,8 \pm 0,7$ (4º ciclo) g kg^{-1} de cama. A massa de dejetos acumulada na cama com o passar dos ciclos correspondeu, em média, a 1,3; 1,82; 2,5 e 3,2 kg ave^{-1} no 1º, 2º, 3º e 4º ciclos, respectivamente.

Na Figura 4.1, observam-se as entradas de N no sistema pela dieta e pela cama de frango. O teor de N representativo da ração consumida pelas aves permaneceu aproximadamente constante ao longo dos ciclos, o que sugere uma padronização ideal no manejo de criação dos frangos ao longo do período experimental (Figura 4.1).

Nota-se que a entrada de N na cama foi crescente a cada ciclo de reutilização, o que já era esperado devido ao contínuo acúmulo de N via excremento.

Figura 4.1 – Entradas de N (g ave^{-1}) no sistema para cada ciclo de reuso da cama

Na Figura 4.2 são apresentadas as saídas de N do sistema. Observa-se, nessa figura, que o total de N retido na carcaça da ave foi bastante constante nos quatro ciclos de criação, o que era esperado devido ao consumo de N semelhante obtido em cada ciclo. O teor de N na cama de frango foi crescente à medida que a cama foi reutilizada.

Nesta pesquisa, as perdas de N na forma de NH_3 corresponderam às maiores perdas desse elemento para a atmosfera, no entanto, permaneceram relativamente constantes ao longo dos ciclos de reutilização da cama, assim, como o N não contabilizado no balanço.

O N passa a ser volátil se assumir as formas moleculares N_2 , N_2O e NH_3 . Essas formas de N correspondem às maiores perdas do elemento para a atmosfera. A forma de N molecular (N_2) não foi monitorada neste estudo, portanto parte desse N não contabilizado pode ter sido perdida na forma de N_2 .

Figura 4.2 – Saídas de N (g ave⁻¹) no sistema para cada ciclo de reuso da cama

O fluxo de N no sistema de criação de frangos foi representado em diagramas de Sankey, como se pode observar na Figura 4.3, nos quatro ciclos avaliados. O lado esquerdo dos diagramas representa o total da entrada de N no sistema de criação, em função do consumo de N via ração e quantidade inicial de N na cama de frango; nesse caso, as somas dos valores percentuais dos termos de entrada devem resultar em 100%. No lado direito estão representadas as saídas do sistema e a diferença de entrada e saída correspondente. Para as saídas, a diferença entre o valor de 100% e o total da soma de todos os termos de saída, resultou no N, que não foi contabilizado. Essa diferença deve ser relativamente pequena, para que o fechamento do balanço esteja correto.

Figura 4.3 - Diagrama de Sankey para o fluxo de N (g ave^{-1}) no sistema de criação de frangos de corte em 1° (a), 2° (b), 3° (c) e 4° (d) ciclo de uso da cama

No 1º ciclo de criação, o N da ração totalizou 99% ($162,8 \pm 2,6 \text{ g N ave}^{-1}$) da entrada total de N no sistema, somente 1% ($1,08 \pm 0,03 \text{ g N ave}^{-1}$) foi a entrada de N pela maravalha limpa. O N retido nos tecidos dos frangos foi de $106,0 \text{ g N ave}^{-1}$, ou seja, 65% do total da saída. Já 24% do N (40 g N ave^{-1}) permaneceu na cama de frango (N-cama) e 11% representam o restante das saídas (Figura 4.3). Perda por volatilização de NH_3 representou 6% (10 g N ave^{-1}) do total da entrada de N e apenas 0,002% consistiram nas perdas de N_2O ($0,003 \text{ g N ave}^{-1}$), enquanto 5% ($8,0 \text{ g N ave}^{-1}$) da entrada total do N, não foi contabilizado.

Nos ciclos consecutivos, a contribuição da cama na entrada total de N no sistema foi crescente a cada ciclo de reúso, o que já era esperado devido ao N remanescente do ciclo anterior. Essa contribuição foi de 15, 26 e 31% para 2º, 3º e 4º ciclos, respectivamente.

Os diagramas (Figura 4.3) também ilustram o acúmulo de N na cama de frango (N-cama) a cada ciclo de reutilização. Os teores de N acumulados na cama variaram de 40 a 111 g N ave^{-1} entre o 1º e 4º ciclo, correspondendo, respectivamente, a 24, 34, 43 e 47% do total de entrada de N no balanço.

As maiores perdas de N no balanço via emissão foram contabilizadas no 4º ciclo por perdas de N- NH_3 ($14,0 \text{ g N ave}^{-1}$), e nesse ciclo de criação apenas 2% ($5,0 \text{ g N ave}^{-1}$) não foi contabilizado no balanço de N.

A menor de emissão de NH_3 no 3º ciclo pode ser explicada pelas condições de clima seco observadas no período experimental (dados apresentados na Tabela 3.1 do Capítulo 3), que resultou em baixa umidade da cama. Essa variabilidade de condições climáticas é fator importante nas emissões (COUFAL et al., 2006).

O aumento das emissões de NH_3 está diretamente relacionado à quantidade de N consumido e excretado pelas aves e à reutilização da cama. Tal fato está de acordo com a literatura (ELWINGER; SVENSSON, 1996; REDWINE et al., 2002; LIU et al., 2006; MITRAN et al., 2008; DONG et al., 2011). Isso ocorre devido ao aumento da excreção do nitrogênio com o crescimento das aves.

Segundo Mitran et al. (2008), as perdas de NH_3 podem variar amplamente dentro dos aviários, pois são vários os fatores que afetam a volatilização de NH_3 (teor e perfil de proteínas na dieta, temperatura e ventilação nas instalações, estação do ano, manejo da cama, pH e umidade), além do método de medição usado em cada situação específica.

Neste estudo, as emissões de NH_3 foram influenciadas principalmente pelo pH, resultado obtido no Capítulo 3 (Tabela 3.4, seção 3.3.1). Notou-se um aumento da alcalinidade da cama já no primeiro ciclo de uso da cama, o que já era esperado devido acúmulo de excretas. Assim, a atividade microbiana é acelerada provocando reações químicas com liberação de bases (OH^-), o que eleva o pH da cama (CORDEIRO et al., 2010).

Os valores do balanço de N apresentados nesta pesquisa estão de acordo com os de outros estudos reportados na literatura (PATTERSON et al., 1998; COUFAL et al., 2006; MITRAN et al., 2008; DONG et al., 2011; BOBRUTZKI et al., 2013). No balanço de N desta pesquisa, comparado com o estudo realizado por Mitran et al. (2008), verificaram-se proporções semelhantes de entradas e saídas. Esses autores determinaram que o N da ração das aves representou 99% das entradas totais de N. Depois de 42 d de criação, a porcentagem de N recuperado foi de 67% retido pelo frango, 26% acumulado na cama e 13% resultou em perdas de N ($17,5 \pm 0,5 \text{ g N ave}^{-1}$). Também, encontraram diferença média de 5% entre as entradas e saídas de N no sistema. No entanto, não contabilizaram as outras perdas de N, somente a emissão de NH_3 . Já Bobrutzki et al. (2013) consideraram as emissões de N_2O e NH_3 no balanço de massa. Da mesma forma, eles determinaram que a ração contribuiu com 99% da entrada total de N. Após um ciclo de crescimento de 36 d em cama de primeiro uso, as saídas de N foram contabilizadas em 59% ($1741,3 \text{ kg N}$) retido nos frangos, 37% ($1.121,3 \text{ kg N}$) acumulado na cama e 4% relacionado às emissões ($114,3 \text{ kg N}$). As médias de emissões de NH_3 e N_2O determinadas neste estudo foram de 4,9 e 0,4 g N ave^{-1} , respectivamente.

Na China, Dong et al. (2011) avaliaram, em gaiolas, o balanço de C e N durante a criação de frangos comerciais. Depois de 42 d de criação, a ingestão total de N pelo frango foi de $148,2 \pm 3,8 \text{ g N ave}^{-1}$ sendo que $58,6 \pm 2,2\%$ ficaram retidos na carcaça do frango, $34,5 \pm 1,4\%$ na cama e $3,1 \pm 0,6\%$ ($4,65 \text{ g N ave}^{-1}$) corresponderam às perdas de N, com diferença de 3,8% no fechamento do balanço. Da mesma forma que nesta pesquisa, esses autores encontraram quantidades insignificantes de N_2O , enquanto que a emissão total de NH_3 foi estimada em $5,6 \pm 1,0 \text{ g N ave}^{-1}$.

Patterson et al. (1998), nos EUA, utilizaram o balanço de N em dois aviários comerciais de frangos de corte, e a estimativa das emissões de N-NH_3 variaram de 28,5 e 19,6 g N ave^{-1} . Esses autores contabilizaram que, do total de N entrada, 57% ficaram retidos no tecido dos animais, 31 % acumulou na cama e 18% foi perdido via emissões gasosas.

Coufal et al. (2006) realizaram o balanço de N durante 18 ciclos de criação, determinando que o N da dieta foi distribuído da seguinte forma: 57% retido na carcaça de frangos de corte, 22% na cama e 21% de perda de N-NH_3 , que foi determinada por diferença. A taxa média de perdas foi estimada em 24,8 g N ave^{-1} ao longo de todos os 18 ciclos.

Nesta pesquisa, adotou-se uma recuperação de 65% do N que foi ingerido pelas aves (VASCONCELLOS et al., 2011), pressuposição confirmada pela pesquisa de Mitran et al. (2008) e Bobrutzki et al. (2013). Esses autores apontaram que maiores recuperações por parte dos frangos correspondem a menores perdas de N, o que, provavelmente, foi devido a uma melhor seleção genética em frangos de corte comerciais e à melhor formulação de dietas, com melhor balanceamento de aminoácidos.

Aletor et al. (2000) relataram maior eficiência de utilização e redução de 41% na eliminação de N de uma dieta de 22,5% de PB para outra com 15,3%. A redução na excreção nitrogenada com diminuição de PB da ração também foi constatada por Kerr e Kidd (1999). A redução do teor proteico das dietas pode ser uma importante ferramenta na redução do N excretado e também no aumento considerável da eficiência de utilização do nitrogênio pelos animais. Adicionalmente, diminui o poder poluente de dejetos da produção animal.

A recuperação do N pelos frangos de corte adotado está dentro do que é preconizado na literatura. Mesmo assim, considerável quantidade de N na alimentação ainda é excretada e depositada na cama ou é emitida na forma de NH_3 . Estudos mencionados anteriormente também suscitaram pressuposições semelhantes às que foram adotadas neste estudo.

De qualquer forma, em estudos futuros, sugere-se a determinação mais precisa do N retido nos animais, como também a quantificação de excretas geradas ao longo da criação. Normalmente, os procedimentos para testar as pressuposições são feitos via análise de sensibilidade, o que não foi realizado no presente estudo, pois foge do seu escopo. No entanto, os valores de N não contabilizados no balanço

de massa permaneceram abaixo de 10%, o que é considerado tolerável para experimentos em aviários (DONG et al., 2011; BOBRUTZKI et al., 2013).

Os resultados apresentados neste estudo sugerem atenção especial ao manejo em reutilizar a cama de frango. No entanto, novas tecnologias também podem ajudar a melhorar a qualidade do ambiente, bem como melhorar a saúde humana e desempenho das aves.

4.4 Conclusões

O balanço de N apresentou bom ajuste de entradas e saídas do sistema em quatro ciclos de criação.

Durante o período de 42 dias de criação de cada ciclo e de acordo com o total de entrada de N, os totais de N retidos na carcaça, acumulados na cama e perdas via emissões gasosas variaram de 45 a 65%, de 24 a 47% e de 4 a 6%, respectivamente. O N não contabilizado no sistema variou entre 4 e 6%.

As perdas por volatilização de NH_3 foram maiores no 4º ciclo, com 14 g N ave^{-1} . Esses resultados estão de acordo com a prática de reutilização da cama, que favorece as emissões de NH_3 para atmosfera.

Referências

ALETOR, V. A.; HAMID, I. I.; NIEB, E. et al. Low-protein amino acid-supplemented diets in broiler chickens: effects on performance, carcass characteristics, whole-body composition and efficiencies of nutrient utilization. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 80, p. 547-554, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Relatório anual 2015**. Disponível em: <www.abpa-br.com.br/>. Acesso em: 25 jan. 2016.

AVILA, V. S.; ABREU, V. M. N.; FIGUEIREDO, E. A. P.; BRUM, P. A. R.; OLIVEIRA, U. **Valor agrônomo da cama de frangos após reutilização por vários lotes consecutivos**. Concórdia: Embrapa, 2007. (Comunicado Técnico).

BLAXTER, K. L.; ROOK, J. A. F. The heat of combustion of the tissues of cattle in relation to their chemical composition. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 7, p. 83-91, 1953.

BOBRUTZKI, K.; AMMON, C.; BERG, W.; FIEDLER, M. Quantification of nitrogen balance components in a commercial broiler barn. **Czech Journal of Animal Science**, Prague, v. 58, p. 566-577, 2013.

BOUWMAN, A. F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 46, p. 53-70, 1996.

CORDEIRO, D. C.; SONODA, L. T. E.; MOURA, D. J. Reuso de cama de frango e seus efeitos na qualidade do ar e bem-estar das aves. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 18., 2010, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2010.

COUFAL, C. D.; CHAVEZ, C.; NIEMAYER, P. R.; CAREY, P. Nitrogen emissions from broilers measured by mass balance over eighteen consecutive flocks. **Poultry Science**, Oxford, v. 85, p. 384–391, 2006.

DONG, H.; ZHOU, Z.; ZHU, Z.; CHEN, Y.; Carbon and nitrogen budget of commercial cage-grown broilers. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2011, Louisville. **Proceedings...** St. Joseph: ASABE, 2011.

ELWINGER, K.; SVENSSON, L. Effect of dietary protein content, litter and drinker type on ammonia emission from broiler houses. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 64, p. 197–208, 1996.

IPCC. **Scientific assessment**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

KERR B. J.; KIDD, M. T. Amino acid supplementation of low - protein broiler diets. 2. Formulation on an ideal amino acid basis. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, GA, v. 8, p. 310-320, 1999.

LIU, Z.; WANG, L.; BEASLEY, D.B. **A review of emission models of ammonia released from broiler houses**. St. Joseph: ASABE, 2006. (Meeting Presentation Paper, 064101).

MITRAN, L.; HARTER- nitrogen emissions from commercial broilers grown in environmental chambers. **Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 17, p.34-46, 2008.

OENEMA, O.; WRAGE, N.; VELTHOF, G. L.; GROENIGEN, J. W. V.; DOLFING, J.; KUIKMAN, P. J. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 72, p. 51-65, 2005.

OSORIO, J. A.; TINOCO, F. F.; CIRO, H. J. Ammonia: a review about concentration and emission models in livestock structures. **Dyna**, Medellín, v. 76, p. 89-99, 2009.

PATTERSON, P. H.; LORENZ, E. S.; WEAVER, W. D. Litter production and nutrients from commercial broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, GA, v. 7, p. 247–252, 1998.

PHILIPPE, F. X.; CANART, B.; LAILAT, M.; WAVREILLE, J.; VANDENHEEDE, M.; BARTIAUX-THILL, N.; NICKS, B.; CABARAU, J. F. Gaseous emissions from group housed gestating sows kept on deep litter and offered an ad libitum high-fibre diet. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 132, p. 66-73, 2009.

REDWINE, J. S.; LACEY, R.; MUKHTAR, S.; CAREY, J. B. Concentration and emissions of ammonia and particulate matter in tunnel-ventilated broiler barns under summer conditions in Texas. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 45, p. 1101–1109, 2002.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa: UFV, 2011.

SANTOS, T.M.B.; LUCAS JR, J.; SAKOMURA, N.K. Efeitos de densidade populacional e da reutilização da cama sobre o desempenho de frangos de corte e produção de cama. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v.100, p.45-52, 2005.

TINÔCO, I. F. F.; SINGH, A.; BICUDO, J. R.; TINÔCO, A. L. A.; GATES, R. S.; CASEY, K. D.; PESCATORE, A. J. Characterization of Nutrients in Built-up Broiler Litter Using Trench and Random Walk Sampling Methods. **World's Poultry Science Journal**, Columbus, v. 3, p. 426-432, 2004.

VASCONCELLOS, C. H. F.; FONTES, D. O.; LARA, L. J. C.; VIDAL, T. Z. B.; SILVA, M. A.; SILVA, P. C. Determinação da energia metabolizável e balanço de nitrogênio de dietas com diferentes teores de proteína bruta para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, n. 3, p. 659-669, 2011.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa abrangeu a etapa comumente chamada de “dentro da porteira” da cadeia de produção de frangos de corte, com dados relativos aos animais (frangos de um dia até os 42 d de idade) e à cama de frango. Não compreendeu as etapas de produção de grãos, transportes, aquecimento e ou, refrigeração de ambientes e industrialização. Maior ênfase foi dada à emissão proveniente dos dejetos e da reutilização da cama de frango, assim como à determinação do primeiro fator de emissão gerado no Brasil para essa importante fonte de GEE.

Quantificar e monitorar diretamente as emissões gasosas nos sistemas de criação das aves têm sido o grande desafio enfrentado pela comunidade científica. O principal problema está relacionado à ausência de padronização metodológica. Além disso, as informações disponíveis na literatura sobre as emissões de GEE e NH_3 em aviários são variáveis e incertas, devido às diversidades e condições particulares das instalações, às inúmeras diferenças no sistema de criação e às complexas interações observadas nos dejetos dos animais. Esse desafio é ainda maior para o Brasil em razão das suas condições climáticas, expansão territorial, manejo e criação das aves de corte – ainda predominantes em instalações abertas – e controle ambiental mínimo.

Diante dessa complexidade nas medições de GEE na avicultura, o maior desafio enfrentado nesta pesquisa foi o desenvolvimento de instrumentação necessária e adequada para poder, a partir de então, iniciar, de forma satisfatória, a aquisição dos resultados das emissões de GEE e NH_3 dos dejetos de frangos de corte. Na prática, essa etapa, se tornou bastante complexa, o que demandou maior tempo e dedicação, não previsto inicialmente no projeto. Contudo, esta pesquisa propôs uma metodologia prática e inovadora, denominada de SISAVE (Sistema de Amostragem de GEE na Avicultura), para determinar os fluxos de GEE em aviários, principalmente os de ventilação natural.

Nos ensaios iniciais, dois modelos aplicáveis de vedação foram testados: por água e por borracha. Concentrações de gases na câmara vedada por água apresentaram menor variabilidade em comparação com aquelas na vedação por borracha. Em seguida, um sistema de medição foi desenvolvido, chamado de SISAVE, composto por uma gaiola de criação e câmara estática fechada e vedada por água, no interior da qual foram aplicadas todas as práticas típicas de manejos

relacionados com a criação de frangos de corte. Propriedades da cama (pH, umidade e teores de C e N) no interior do SISAVE foram comparadas com as da cama formada no piso do aviário, ambas produzidas a partir de frangos criados simultaneamente. Acredita-se que obter dados de fluxos de GEE a partir de câmaras estáticas instaladas em locais pontuais no ambiente de criação possa apresentar incoerência e maior variação nos resultados. Em contrapartida, o SISAVE estimou de maneira mais adequada, os fluxos de GEE, por amostrar a área total de criação, além de permitir fazer medições de GEE em outras categorias de aves, como poedeiras.

Os modelos matemáticos obtidos neste estudo representam uma contribuição prática para as estimativas das emissões totais de NH_3 , CH_4 e N_2O pelo frango e pela cama, com diferentes idades dos animais, condições ambientais de criação e físico-químicas da cama. Os FE modelados para quatro lotes de criação a 0,14 g de N_2O , 0,35 g de CH_4 e 72 g de NH_3 ave-alojada⁻¹ ano⁻¹. A emissão total de CO_2eq projetada para 3,1 kg de peso vivo dos frangos foi de 0,08 kg CO_2eq ave⁻¹, equivalente a 0,04 kg CO_2eq por kg de carne.

Em 2015, o Brasil emitiu 545,1 Gg CO_2eq (excluindo CO_2 oriundo da respiração das aves), dos quais 84% foram provenientes da volatilização de NH_3 , sendo consideradas como emissões de N_2O indiretas.

De modo geral, os resultados desta pesquisa confirmam a hipótese de que a reutilização da cama aumenta as emissões gasosas, principalmente as emissões de NH_3 . Realizar a troca da cama em vez de reutilizá-la por seis ciclos reduziria as emissões de 21% para N_2O , 40% para CH_4 e 78% para NH_3 . Essa redução de emissão expressa em CO_2eq representa 72%. As perdas por volatilização de NH_3 teve efeito significativo sobre a magnitude das emissões de GEE e devem ser consideradas, como emissões indiretas de N_2O , nos cálculos em inventários nacionais. O balanço de N realizado neste estudo também confirma essa teoria, em que maiores perdas de N ocorreram no 4º ciclo (14 g N ave⁻¹) de reúso da cama de frango, pela volatilização de NH_3 .

Os cenários de menor reúso da cama simulados nesta pesquisa podem ser considerados como opções de mitigação de GEE em aviários de frangos de corte no Brasil. No entanto, para conferir sustentabilidade ambiental, é necessária a busca por novas estratégias de manejo, atreladas aos aspectos econômicos, de forma a obter produtos ambientalmente corretos, de alta qualidade e com menor custo.

Anexos

ANEXO 2A

Composições percentuais e valores nutricionais da dieta

Ingredientes, %	Pré-inicial	Inicial	Crescimento	Final
Milho	52,05	57,66	60,98	64,77
Farelo de soja	41,02	36,22	32,47	29,15
Óleo de soja	2,71	2,40	3,25	3,23
Fosfato bicálcico	1,88	1,49	1,26	1,05
Calcário calcítico	0,91	0,92	0,86	0,77
Sal comum	0,50	0,48	0,45	0,44
DL-Metionina	0,33	0,27	0,24	0,22
L-Lisina HCl	0,20	0,17	0,16	0,17
Vitini-Ave ¹	0,1	0,1	0,08	0,06
Cloreto de Colina (60%)	0,08	0,08	0,06	0,04
L-Treonina	0,06	0,03	0,02	0,02
Min-Aves ²	0,05	0,05	0,05	0,05
Bacitracina	0,03	0,03	0,03	----
Monensina sódica	0,02	0,02	0,02	----
Total (kg)	100	100	100	100
-----Composição calculada-----				
Energia Metabolizável (kcal/kg)	2950	3000	3100	3150
Poteína Bruta (%)	23,09	21,28	19,81	18,6
Lisina digestível (%)	1,31	1,17	1,07	1,01
Met.+cistina digestível(%)	0,94	0,84	0,78	0,73
Metionina digestível (%)	0,633	0,555	0,513	0,477
Treonina digestível (%)	0,8520	0,7630	0,7010	0,6560
Cálcio (%)	0,920	0,819	0,732	0,638
Fósforo disponível (%)	0,470	0,391	0,342	0,298
Potássio (%)	0,9017	0,8302	0,7711	0,7213
Sódio (%)	0,220	0,210	0,200	0,1950

¹DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Vit, A – 6.000 UI; Vit, D3 - 1800 UI; Vit, E - 24 UI; Vit, K3 – 1,8 mg; Vit, B1 – 1,2 mg; Vit, B2 – 3,6 mg; Vit, B6–2,4 mg; Vit, B12 - 12 µg; Ácido Nicotínico - 24 mg; Ácido Pantotênico – 7,2 mg; Biotina–0,09 mg; Ácido Fólico–0,6 mg; Selênio -0,15mg.

²DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Manganês - 80 mg; Ferro - 50 mg; Zinco - 50 mg; Cobre - 10 mg; Cobalto - 1 mg; Iodo - 1 mg

ANEXO 3A

Matrizes de gráficos de dispersão para os pares de variáveis com os dados em escala original geradas com o PROC SGPLOT

ANEXO 3B

A análise de co-variância para as emissões de N_2O , conduzida no procedimento PROC MIXED do aplicativo SAS versão 9.2.

1FN₂O

The Mixed Procedure

Covariance Parameter Estimates

Cov Parm	Subject	Estimate
CS	rep	-0.00123
Residual		0.2034

Fit Statistics

-2 Res Log Likelihood	598.2
AIC (smaller is better)	602.2
AICC (smaller is better)	602.2
BIC (smaller is better)	601.4

Null Model Likelihood Ratio Test

DF	Chi-Square	Pr > ChiSq
1	0.81	0.3676

Solution for Fixed Effects

Effect	activity	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > t
activity	0	-9.2017	1.6403	3	-5.61	0.0112
activity	1	-8.4643	1.6403	3	-5.16	0.0141
cycle		0.3190	0.03922	413	8.13	<.0001
age		0.03975	0.003344	413	11.89	<.0001
lug		3.3189	0.5247	413	6.33	<.0001
pH		1.9310	0.2906	413	6.64	<.0001
Ntotal_sqr		-0.00488	0.000707	413	-6.90	<.0001
Tmean		0.04307	0.01387	413	3.11	0.0020
lug*pH		-0.6048	0.09422	413	-6.42	<.0001
lug*Ntotal_sqr		0.001358	0.000216	413	6.30	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
activity	2	3	157.52	0.0009
cycle	1	413	66.17	<.0001
age	1	413	141.35	<.0001
lug	1	413	40.01	<.0001
pH	1	413	44.14	<.0001
Ntotal_sqr	1	413	47.56	<.0001
Tmean	1	413	9.64	0.0020
lug*pH	1	413	41.21	<.0001
lug*Ntotal_sqr	1	413	39.68	<.0001

A análise de co-variância para as emissões de CH₄, conduzida no procedimento PROC MIXED do aplicativo SAS versão 9.2.

```

                                1FCH4

The SAS System      11:50 Tuesday, January 12, 2016 268

                                The Mixed Procedure

                                Covariance Parameter Estimates

Cov Parm      Subject      Estimate

CS            rep          -0.00124
Residual                        0.2131

                                Fit Statistics

-2 Res Log Likelihood          594.8
AIC (smaller is better)       598.8
AICC (smaller is better)      598.8
BIC (smaller is better)       598.0

                                Null Model Likelihood Ratio Test

DF      Chi-Square      Pr > ChiSq

1          0.76          0.3827

                                Solution for Fixed Effects

Effect      activity      Estimate      Standard      DF      t Value      Pr > |t|
              Error

activity    0              2.0920      0.2373          3          8.81          0.0031
activity    1              2.5275      0.2373          3         10.65          0.0018
cycle              0.1812      0.03359        416          5.40          <.0001
age              0.03352      0.003054        416         10.98          <.0001
lug              -0.2678      0.08096         416         -3.31          0.0010
pH              0.3810      0.04845         416          7.86          <.0001
Ntotal_sqr      -0.00073      0.000123        416         -5.91          <.0001

                                Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect      Num      Den      F Value      Pr > F
              DF      DF

activity      2          3          95.41          0.0019
cycle          1         416          29.11          <.0001
age            1         416         120.47          <.0001
lug            1         416          10.94          0.0010
pH             1         416          61.85          <.0001
Ntotal_sqr     1         416          34.96          <.0001

```

A análise de co-variância para as emissões de NH_3 , conduzida no procedimento PROC MIXED do aplicativo SAS versão 9.2.

```

1FNH3

The Mixed Procedure

Covariance Parameter Estimates
Cov Parm      Subject      Estimate
CS             rep         -0.00401
Residual              0.3730

Fit Statistics
-2 Res Log Likelihood      477.4
AIC (smaller is better)    481.4
AICC (smaller is better)   481.5
BIC (smaller is better)    480.7

Null Model Likelihood Ratio Test
DF      Chi-Square      Pr > ChiSq
1         0.62          0.4312

Solution for Fixed Effects

Effect              Estimate      Standard      DF      t Value      Pr > |t|
                  Error
cycle              -0.3374      0.08032      203      -4.20      <.0001
age                0.003461      0.004074      203       0.85      0.3966
pH                 1.4978      0.07424      203      20.18      <.0001
Ctotal            -0.01004      0.000936      203     -10.73      <.0001
Ntotal_sqr        -0.01097      0.002619      203      -4.19      <.0001
pH*Ntotal_sqr      0.000481      0.000172      203       2.80      0.0055
Ctotal*Ntotal_sqr  0.000020      4.769E-6      203       4.15      <.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect              Num      Den      F Value      Pr > F
                  DF      DF
cycle              1      203      17.64      <.0001
age                1      203       0.72      0.3966
pH                 1      203     407.06      <.0001
Ctotal             1      203     115.09      <.0001
Ntotal_sqr         1      203      17.53      <.0001
pH*Ntotal_sqr      1      203       7.86      0.0055
Ctotal*Ntotal_sqr  1      203      17.26      <.0001

```