

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

MATHEUS DIAS OLIVEIRA

**INVENTÁRIO DE EMISSÃO DE AMÔNIA GERADA PELA AVICULTURA DE
CORTE EM INSTALAÇÕES HÍBRIDAS NA ZONA DA MATA MINEIRA
UTILIZANDO PMU**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

MATHEUS DIAS OLIVEIRA

**INVENTÁRIO DE EMISSÃO DE AMÔNIA GERADA PELA AVICULTURA DE
CORTE EM INSTALAÇÕES HÍBRIDAS NA ZONA DA MATA MINEIRA
UTILIZANDO PMU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Fernanda Campos de Sousa

Coorientadores: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
Antônio Policarpo Souza Carneiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa – Campus Viçosa**

T

Oliveira, Matheus Dias, 1994-

O48i
2021

Inventário de emissão de amônia gerada pela avicultura de corte em instalações híbridas na Zona da Mata Mineira utilizando PMU / Matheus Dias Oliveira. – Viçosa, MG, 2021.

57 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Fernanda Campos de Sousa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Frangos de corte - Instalações - Engenharia ambiental.
2. Bem-estar animal. 3. Construções rurais - Aquecimento e ventilação. 4. Ar - Controle de qualidade. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 636.0831

MATHEUS DIAS OLIVEIRA

**INVENTÁRIO DE EMISSÃO DE AMÔNIA GERADA PELA AVICULTURA DE
CORTE EM INSTALAÇÕES HÍBRIDAS NA ZONA DA MATA MINEIRA
UTILIZANDO PMU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

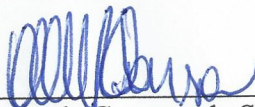
APROVADA: 24 de fevereiro de 2021.

Assentimento:



Matheus Dias Oliveira

Autor



Fernanda Campos de Sousa

Orientadora

A Deus, por todas as graças concedidas, aos meus pais, Rogério e Elizabeth, por todo apoio e amor, sem os quais eu não teria chegado até aqui.

Ao meu irmão, João Victor, grande companheiro e amigo.

Em memória dos meus avós Maria José Dias, exemplo de humildade e simplicidade, e Manoel do Carmo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todos os dons e graças derramados sobre mim, por guiar os movimentos do meu corpo e espírito e pelas pessoas boas que colocou em meu caminho.

Aos meus pais, Rogério de Oliveira e Elizabeth Dias Oliveira, por me ampararem em todos os aspectos, sem vocês nada disso seria possível, sou eternamente grato.

Ao meu irmão, João Victor Dias Oliveira, por ser um excelente irmão, amigo e companheiro de todas as horas.

Aos meus familiares pelo incentivo e pelo carinho, em especial à minha avó Maria das Dores pelas orações.

À Universidade Federal de Viçosa pelas oportunidades e suporte de qualidade prestados por todos esses anos.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e seus colaboradores.

À minha orientadora Fernanda Campos de Sousa pela orientação, apoio e ensinamentos.

Aos meus coorientadores Ilda de Fátima Ferreira Tinôco pelas sugestões e correções e Antônio Policarpo Souza Carneiro pelas contribuições no projeto de pesquisa.

Ao PhD em ciência animal, Alex Lopes da Silva, pelas sugestões e aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos professores Sérgio Zolnier, Fernando da Costa Baêta, Daniel Marçal de Queiroz, Sebastião Martins Filho, Cecília de Fátima Souza, Márcio Arêdes Martins e Valmir Sartor que contribuíram para a minha formação ao longo desse mestrado.

Aos que aceitaram compor a banca examinadora, Prof. Dr. Jairo Alexander Osório Saraz, Prof. Dr. Arele Arlindo Calderano, Dr. Diogo José de Rezende Coelho e Profa. Dra. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, gratidão pelas sugestões oferecidas para aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos companheiros do AMBIAGRO por todo o apoio prestado.

Ao Pr. Geraldo Márcio pelos conselhos, pelo suporte espiritual e pela amizade.

Ao CNPq, CAPES, FAPEMIG pelo apoio financeiro e concessão de bolsa para realização desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Departamento de Zootecnia e aos colaboradores da UEPE – Produção e Nutrição de Aves, pelo apoio à realização deste trabalho.

Ao estudante de doutorado do departamento de Zootecnia da UFV, Hallef Rieger Salgado, por todo o suporte prestado.

RESUMO

OLIVEIRA, Matheus Dias, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2021. **Inventário de emissão de amônia gerada pela avicultura de corte em instalações híbridas na Zona da Mata Mineira utilizando PMU.** Orientadora: Fernanda Campos de Sousa. Coorientadores: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco e Antônio Policarpo Souza Carneiro.

A avicultura de corte se destaca entre os setores da pecuária brasileira. A utilização da cama aviária é o principal sistema de criação estabelecido em todo o país. A decomposição dos dejetos das aves na cama promove a emissão da amônia, um gás danoso ao ambiente, à saúde dos animais e à saúde humana. Há uma demanda por estudos acerca da emissão de amônia na avicultura brasileira, devido a importância dessa atividade comercial e da magnitude da produção avícola no território brasileiro. Assim, objetivou-se, com essa dissertação, aprofundar os estudos referentes aos processos envolvidos na emissão de amônia, principalmente na avicultura de corte, por meio do desenvolvimento de uma revisão de literatura, estabelecer experimentalmente um fator de emissão de amônia em uma instalação híbrida para frangos de corte, mapear a produção avícola da Zona da Mata Mineira e desenvolver um inventário da emissão de amônia proveniente da avicultura de corte na região da Zona da Mata Mineira. No artigo de revisão foram apresentados diversos tópicos acerca da emissão de amônia nas instalações de frangos de corte. Foram pontuadas as principais transformações químicas da amônia na cama aviária, as metodologias para mensuração dessas emissões, os fatores de emissão de amônia na produção de frangos de corte desenvolvidos por diversos autores e os inventários de emissões já realizados em diversos países. No segundo artigo foram desenvolvidas as etapas para condução do inventário de emissão de amônia gerada pela avicultura de corte na Zona da Mata Mineira, utilizando a PMU (Unidade de Monitoramento Portátil). A produção avícola foi mapeada com base nos dados do censo agropecuário 2017 realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Contabilizou-se 9.648.000 frangos de corte na Zona da Mata Mineira, foi obtido o fator de emissão de amônia diário de $0,422 \text{ g}_{\text{NH}_3} \cdot \text{ave}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ e estimada uma emissão anual de amônia para toda a avicultura de corte da Zona da Mata mineira de $1,49 \text{ kT NH}_3 \cdot \text{ano}^{-1}$.

Palavras-chave: Ambiência Animal. Bem-estar Animal. Construções Rurais. Frangos de Corte. Qualidade do Ar.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Matheus Dias, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2021. **Ammonia emission inventory generated by broiler poultry in hybrid facilities at Zona da Mata Mineira using PMU.** Advisor: Fernanda Campos de Sousa. Co-advisors: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco and Antônio Policarpo Souza Carneiro.

Poultry farming stands out among the sectors of Brazilian livestock. The use of poultry litter is the main breeding system established throughout the country. The decomposition of avian manure in the litter promotes the emission of ammonia, a gas harmful to the environment, animal health and human health. There is a demand for studies on the emission of ammonia in Brazilian poultry, due to the importance of this commercial activity and the magnitude of poultry production in the Brazilian territory. Thus, the objective of this dissertation was to deepen the studies related to the processes involved in the emission of ammonia, mainly in the poultry industry, through the development of a literature review, to experimentally establish an ammonia emission factor in a hybrid broiler facility, map the poultry production in Minas Gerais Wood Zone and develop an inventory of ammonia emissions from poultry farming in the region of the Minas Gerais Wood Zone. In the review article, several topics were presented about the emission of ammonia in broiler facilities. The main chemical transformations of ammonia in poultry litter, the methodologies for measuring these emissions, the ammonia emission factors in the production of broilers developed by several authors and the emission inventories already carried out in several countries were scored. In the second article, steps were taken to conduct the ammonia emission inventory generated by poultry farming in the Minas Gerais Wood Zone, using the PMU (Portable Monitoring Unit). Poultry production was mapped based on data from the 2017 agricultural census conducted by IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics). 9,648,000 broilers were counted in the Minas Gerais Wood Zone. The daily ammonia emission factor of $0.422 \text{ g}_{\text{NH}_3} \cdot \text{bird}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ was obtained an annual ammonia emission was estimated for all the poultry industry in Minas Gerais Wood Zone, of $1.49 \text{ kT NH}_3 \cdot \text{year}^{-1}$.

Keywords: Air Quality. Animal Ambience. Animal Welfare. Boilers. Rural Buildings.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERÊNCIAS	11
ARTIGO 1 – EMISSÃO DE AMÔNIA EM INSTALAÇÕES DE FRANGOS DE CORTE, PROCESSOS QUÍMICOS, MÉTODOS DE MENSURAÇÃO E INVENTÁRIOS: UMA REVISÃO	13
1 INTRODUÇÃO	14
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1 Sistemas de criação de frangos de corte e a geração de amônia.....	17
3.2 Processos de formação da amônia na avicultura de corte	17
3.3 Formas de controle e diminuição das emissões de amônia	18
3.4 Metodologias para determinação das emissões de amônia	19
3.5 Inventários de emissão de amônia.....	22
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
AGRADECIMENTOS	27
REFERÊNCIAS	27
ARTIGO 2 – FATOR DE EMISSÃO E INVENTÁRIO DA EMISSÃO DE AMÔNIA EM GALPÃO HÍBRIDO NA AVICULTURA DE CORTE DA ZONA DA MATA MINEIRA – BRASIL USANDO PMU	32
1 INTRODUÇÃO	33
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1 Determinação do fator de emissão de amônia.....	34
2.2 Condução do inventário de emissão de amônia na Zona da Mata Mineira.....	38
2.3 Análises estatísticas	39
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40

3.1 Ambiente térmico	40
3.2 Qualidade do ar	42
3.3 Fator de emissão de amônia.....	47
3.4 Inventário de emissão de amônia na Zona da Mata Mineira	49
3.5 Possíveis Fontes de Incertezas	52
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
AGRADECIMENTOS	53
REFERÊNCIAS	54
CONCLUSÕES GERAIS	57

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior exportador de carne de frango do mundo. O estado de Minas Gerais é o quinto maior produtor de frangos de corte brasileiro. A mesorregião da Zona da Mata Mineira responde por cerca de 8,5% da produção no estado (ABPA, 2020). A produção avícola brasileira tem apresentado diversos avanços tecnológicos que proporcionaram a oferta de proteína animal de baixo custo e a geração de emprego e renda nos diversos ramos da cadeia produtiva (FONSECA; BRAGA, 2017; PROCÓPIO; LIMA, 2020).

A cama aviária é o principal sistema de criação estabelecido em todo o país, ela possui a função de incorporar os dejetos gerados, proteger e impedir o contato direto dos animais com o piso. Na produção avícola, parte do nitrogênio não absorvido como nutriente pelas aves é eliminado na forma de ureia e ácido úrico na urina. Assim, a amônia provém da quebra enzimática desses compostos orgânicos realizada pelos microrganismos presentes no ambiente (EPA, 2004; VILELA et al., 2020).

As práticas agrícolas são responsáveis pela maior parte da amônia lançada na atmosfera (HUTCHINGS et al., 2001; VELTHOF et al., 2012). A amônia é o mais proeminente poluente atmosférico da avicultura de corte em sistemas de criação em cama sobreposta ao piso. As consequências da liberação de NH_3 na atmosfera abrangem a eutrofização e acidificação do solo e água, além da perda da biodiversidade (GROOT KOERKAMP et al., 1998; STARMANS; VAN DER HOEK, 2007; ZHANG et al., 2010). A amônia também é um gás nocivo aos seres humanos e animais. Os danos vão desde a irritação nos olhos à problemas respiratórios no homem e desde a redução no ganho de peso até a morte nas aves (DONHAM, 1999; GROOT KOERKAMP et al., 1998; LOTT; DONALD, 2003).

Uma prática que pode auxiliar no processo de tomada de decisões acerca do controle da emissão de amônia é o conhecimento dos valores reais dessas emissões em forma de inventários (BITTMAN et al., 2015). Em diversos países, incluindo Reino Unido, Dinamarca, França, Holanda, EUA, China e Irlanda, são conduzidos inventários anuais de emissões de amônia de instalações para produção animal. Esses inventários contribuem para o monitoramento e controle das emissões desse gás em todos os setores produtivos (GATES et al., 2008; HAYES et al., 2006; PHILIPPE et al., 2011; ZHAO et al., 2016).

Porém, há uma carência de dados relacionados aos valores reais de emissão de amônia nos setores agroindustriais brasileiros. Ainda faltam estudos específicos para as instalações híbridas, predominantemente adotadas nos países de clima tropical e consequentemente as mais

encontradas na região da Zona da Mata Mineira (MENDES et al., 2014; OSORIO-SARAZ et al., 2017).

Diante disso, objetivou-se com essa dissertação aprofundar os estudos referentes aos processos envolvidos na emissão de amônia, principalmente na avicultura de corte, por meio do desenvolvimento de uma revisão de literatura e desenvolver experimentalmente um fator de emissão de amônia em instalação híbrida para avicultura de corte, mapear a produção avícola da Zona da Mata Mineira e elaborar um inventário da emissão de amônia proveniente da avicultura de corte na Zona da Mata Mineira. Os resultados deste estudo são demonstrados em dois capítulos, intitulados:

- Capítulo 1: Emissão de amônia em instalações de frangos de corte, processos químicos, métodos de mensuração e inventários: uma revisão.
- Capítulo 2: Fator de emissão e inventário da emissão de amônia em galpão híbrido na avicultura de corte da Zona da Mata Mineira – Brasil usando PMU.

REFERÊNCIAS

- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual de Atividades 2019**. Associação Brasileira de Proteína Animal, 160p, 2020.
- BITTMAN, S. et al. Weekly agricultural emissions and ambient concentrations of ammonia: Validation of an emission inventory. **Atmospheric Environment**, v. 113, p. 108-117, 2015.
- DONHAM, K. A historical overview of research on the hazards of dust in livestock buildings. In: **Dust Control in Animal Production Facilities, Aarhus (Denmark), 30 May-2 Jun 1999**. DJF, 1999.
- EPA. National Emission Inventory — Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Draft Report. **Draft Report**, p. 131, 2004.
- FONSECA, A. A. V. V.; BRAGA, M. J. Dependência produtiva dos avicultores integrados de Viçosa. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 62-73, 2017.
- GATES, R.S. et al. U.S. broiler housing ammonia emissions inventory. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 14, p. 3342–3350, 2008.
- GROOT KOERKAMP, P.W.G. et al. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, n. 1, p. 79–95, maio 1998.
- HAYES, E. T. et al. Odour and ammonia emissions from intensive poultry units in Ireland. **Bioresource technology**, v. 97, n. 7, p. 933-939, 2006.
- HUTCHINGS, N. J. et al. A detailed ammonia emission inventory for Denmark. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 1959–1968, 2001.
- LOTT, B.; DONALD, J. Amônia: Grandes perdas mesmo quando você não percebe. **Avicultura Industrial**. 2003. Disponível em: <<http://www.aviculturaindustrial.com.br/>>. Acesso em 12 de julho de 2019.
- MENDES, L. B. et al. Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1179–1185, 2014.
- OSORIO-SARAZ, J. A. et al. An Approach to the Ammonia Inventory in the Poultry Production in Colombia: Antioquia Case. **Chemical Engineering Transactions**, v. 58, p. 799–804, 2017.
- PHILIPPE, F. X. et al. Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 141, n. 3-4, p. 245-260, 2011.
- PROCÓPIO, D. P.; LIMA, H. J. A. Avaliação Conjuntural da avicultura no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. 26, 2020.

STARMANS, D. A. J.; VAN DER HOEK, K. W. **Ammonia the case of The Netherlands**. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2007.

VELTHOF, G. L. et al. A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands. **Atmospheric Environment**, v. 46, p. 248–255, jan. 2012.

VILELA, M. O. et al. Nitrogen transformation stages into ammonia in broiler production: sources, deposition, transformation and emission to environment. **Dyna**, v. 87, n. 214, p. 221-228, 2020.

ZHANG, Y. et al. Agricultural ammonia emissions inventory and spatial distribution in the North China Plain. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 490–501, 2010.

ZHAO, L. et al. Ammonia concentrations and emission rates at a commercial poultry manure composting facility. **Biosystems Engineering**, v. 150, p. 69-78, 2016.

ARTIGO 1

EMISSÃO DE AMÔNIA EM INSTALAÇÕES DE FRANGOS DE CORTE, PROCESSOS QUÍMICOS, MÉTODOS DE MENSURAÇÃO E INVENTÁRIOS: UMA REVISÃO

RESUMO: O Brasil é o maior exportador de carne de frango do mundo. Esta importante atividade econômica faz girar a renda em diversos ramos da cadeia produtiva. Entretanto, a decomposição dos resíduos incorporados na cama aviária, que é utilizada para a criação dos animais, gera diversos gases, dentre eles a amônia. Quando emitida da cama para o ambiente, a amônia pode causar diversos danos aos animais e ao homem, além de poder se converter em um gás de efeito estufa. Assim objetivou-se com este artigo realizar uma revisão bibliográfica acerca dos fatores de emissão de amônia na produção de frangos de corte, das metodologias para mensuração dessas emissões e dos inventários de emissões já realizados em diversos países. Foram apresentados os principais processos químicos de geração de amônia na cama aviária e algumas práticas que podem contribuir para a redução da emissão de amônia nas instalações de produção animal. A PMU, *Portable Monitoring Unit*, e o SMDAE, *Saraz Method for Determination of Ammonia Emissions*, com as adaptações necessárias, são metodologias que podem ser utilizadas para quantificar a emissão de amônia em instalações híbridas com sistema de ventilação natural e artificial. Os resultados de emissão anual de amônia na avicultura obtidos de inventários realizados na Colômbia, Estados Unidos, Reino Unido, China e Dinamarca, indicam uma emissão de 8,41 kT NH₃ ano⁻¹, 323,65 kT NH₃ ano⁻¹, 43 kT NH₃ ano⁻¹, 0,218 kT NH₃ ano⁻¹ e 5,3 kT NH₃ ano⁻¹ respectivamente. Entretanto, a quantificação das incertezas acerca dos inventários de emissão de amônia e dos fatores de emissão é um desafio a ser superado. Assim, a condução de um inventário pode contribuir para o controle e o monitoramento das emissões de poluentes e um passo importante para a adoção de estratégias de redução das emissões.

Palavras-chave: avicultura, bem-estar animal, poluição do ar, qualidade do ar

ABSTRACT: Brazil is the largest broiler meat exporter in the world. This important economic activity turns income in different branches of the production chain. However, the decomposition of residues incorporated in the poultry litter, that is used for the breeding of animals, generates several gases, among them ammonia. When emitted from the litter to the environment, ammonia can cause several damages to animals and man, in addition to being able to convert

into a greenhouse gas. Thus, the aim of this article was to carry out a review about the ammonia emission factors in the production of broilers, the methodologies for measuring these transactions and the inventories of emissions already carried out in several countries. The main chemical processes for generating ammonia in poultry litter have been introduced and some practices that can contribute to the reduction of ammonia emissions have been provided. The PMU, Portable Monitoring Unit, and the SMDAE, Saraz Method for Determination of Ammonia Emissions, with the required adaptations, are methodologies that can be used to quantify the ammonia emissions in hybrid facilities with a natural and artificial ventilation system. The results of annual emission of ammonia in poultry obtained from inventories carried out in Colombia, United States, United Kingdom, China and Denmark indicating an emission of 8.41 kT NH₃ year⁻¹, 323.65 kT NH₃ year⁻¹, 43 kT NH₃ year⁻¹, 0,218 kT NH₃ year⁻¹ and 5.3 kT NH₃ year⁻¹ respectively. However, quantifying the uncertainties about ammonia emission inventories is a challenge to be overcome. So the conducting an inventory can contribute to the control and monitoring of pollutant emissions and an important step towards adopting emission reductions.

Keywords: air pollution, air quality, animal welfare, poultry farming

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que a população mundial alcançará os 9,3 bilhões de pessoas em 2050 (FAO, 2016). Com o aumento da população, demanda-se um aumento da produção de alimentos. Para atender a essa demanda, a pecuária moderna vem apresentando uma tendência em produzir animais confinados. Os confinamentos podem ser feitos em diferentes tipologias construtivas. Podem ser utilizadas instalações totalmente fechadas e climatizadas, totalmente abertas com acondicionamento térmico natural e ainda instalações híbridas que operam abertas ou fechadas utilizando sistemas de acondicionamento térmico artificial, dependendo das condições climáticas do local. A avicultura de corte se destaca entre os demais sistemas de produção de proteína de origem animal por apresentar baixo custo e ciclos produtivos curtos (SOUSA et al., 2016; OSORIO-SARAZ et al., 2017). Os EUA são hoje o maior produtor de carne de frango do mundo, seguido da China e do Brasil (USDA, 2020).

Em 2019, a produção de frangos de corte brasileira cresceu 3% em relação ao ano de 2018. Com 4,2 milhões de toneladas exportadas, o Brasil mais uma vez se consolidou como o maior exportador de carne de frango do mundo, posição que ocupa desde 2004. O consumo

anual dessa proteína animal, no Brasil, chegou a 42,8 kg per capita em 2019 (ABPA, 2020). Nos últimos anos, neste setor houveram avanços tecnológicos influenciados pelas demandas comerciais e produtivas. Estes avanços proporcionaram a oferta de proteína animal de baixo custo e a geração de emprego e renda nos diversos ramos da cadeia produtiva (FONSECA; BRAGA, 2017; PROCÓPIO; LIMA, 2020).

Nos países de clima tropical, como o Brasil, as instalações avícolas são predominantemente abertas ou híbridas, ou seja, podem operar de forma aberta ou fechada de acordo com as necessidades de acondicionamento térmico das aves e com as condições climáticas do local. Esta tendência tipológica se deve às vantagens do clima tropical, que permite a utilização da ventilação natural nos aviários, reduzindo os custos de produção (MENDES et al., 2014b; OSORIO-SARAZ et al., 2017; SOUSA et al., 2018a). Nos sistemas produtivos de frangos de corte utiliza-se cama aviária sobre o piso dos galpões para incorporar os dejetos gerados. Entretanto, a decomposição dos resíduos na cama gera diversos gases, sendo o principal deles a amônia (NH_3), por estar presente em maiores proporções que os demais gases (SOUSA et al., 2016) como o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO_2).

A amônia pode gerar efeitos globais quando presente na atmosfera, podendo contribuir com a formação de óxidos de nitrogênio, que são gases de efeito estufa (FELIX; CARDOSO, 2012). Além disso, a amônia na atmosfera pode contribuir para a formação de chuva ácida, que tem como consequência a acidificação e eutrofização do solo e de corpos d'água (GROOT KOERKAMP et al., 1998; STARMANS & VAN DER HOEK, 2007).

A amônia é um gás nocivo aos seres humanos e animais. No homem, a exposição contínua à amônia causa problemas respiratórios (DONHAM, 1999), irritação nos olhos (NIOSH, 2001), podendo levar à cegueira (PERRY, 2004). Nos frangos, os danos da exposição contínua abrangem: redução no ganho de peso (LOTT; DONALD, 2003), irritação nos olhos e maior incidência de doenças (CAFÉ; ANDRADE, 2001), podendo até mesmo levar à morte (GROOT KOERKAMP et al., 1998).

Alguns países da União Europeia, visando reduzir as emissões de amônia, criaram políticas de monitoramento e controle das emissões máximas para seus estados. Nos Países Baixos, o governo incentiva os produtores a reduzirem a emissão de gases em suas instalações por meio, por exemplo, da criação de um selo verde que recompensa os produtores que gerarem menos gases de efeito estufa (MOSQUERA et al., 2005). Em países como Reino Unido, Dinamarca, França (PHILIPPE et al., 2011), Inglaterra (MISSELBROOK et al., 2000) e EUA (GATES et al., 2008), são conduzidos inventários de emissões anuais de amônia de instalações

para produção animal. Esses inventários contribuem para o monitoramento e controle das emissões desse gás em todos os setores produtivos.

No Brasil, existe uma norma reguladora (NR) que determina a concentração máxima de amônia a qual os trabalhadores podem ser expostos durante sua jornada de trabalho. A NR 15 estabelece uma concentração máxima de exposição de até 20 ppm de amônia para jornadas de trabalho de 48 horas semanais (ABNT, 1978). No caso da saúde e desempenho dos animais, existem manuais de manejo que apresentam diretrizes de qualidade do ar e que determinam a taxa de ventilação mínima para a renovação do ar no interior da instalação, além de níveis máximos de concentração dos gases. No manual de manejo de frangos de corte da linhagem *Cobb* (COBB-VANTRESS, 2019) dentre as diretrizes de qualidade do ar é estabelecido o limite máximo de 10 ppm de amônia nas instalações.

Porém, ainda não existe, a nível nacional, uma legislação ambiental que regularize a exposição dos animais à amônia ou que imponha um limite de emissões para a atmosfera (OLIVEIRA; MONTEIRO, 2013), nem métodos padrões estabelecidos para se mensurar as taxas de emissão de amônia nas instalações agroindustriais. Ademais, há uma carência de dados relacionados aos valores reais de emissão de amônia nos setores agroindustriais brasileiros. Assim, objetiva-se realizar uma revisão bibliográfica sobre a emissão de amônia na produção de frangos de corte, elencar os possíveis métodos existentes para mensuração da emissão de amônia em instalações para frangos de corte em condições brasileiras e pontuar os inventários de emissão de amônia já desenvolvidos em outros países.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Uma pesquisa na literatura científica foi realizada para identificar os fatores relacionados a emissão de amônia na agroindústria, as principais metodologias que se aplicam as condições das instalações de produção animal em clima quente e os inventários de emissões já realizados e publicados no meio científico. A busca foi realizada na base de dados Web of Science e incluiu 20 anos de dados, de 2000 a 2020. Foram utilizadas as palavras-chave: inventário de amônia, emissão de amônia, amônia na avicultura, métodos de quantificação de amônia, cama aviária e reutilização de cama aviária. Como a busca foi limitada a produção de frangos de corte outros tipos de produção animal, como suinocultura ou bovinocultura, foram considerados além dos objetivos deste artigo.

A pesquisa inicial resultou em 77 artigos, que foram posteriormente selecionados com base nas leituras dos resumos. Os artigos não relacionados ao tema proposto foram excluídos.

Ao final restaram 36 artigos. Contudo, pesquisas complementares relacionadas a tópicos específicos incluídos no esboço do manuscrito e ainda sem informações nos artigos selecionados, foram realizadas usando *Google* e *Google Scholar*. Assim, um total de 60 publicações preencheram os critérios de inclusão e foram incorporados na revisão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Sistemas de criação de frangos de corte e a geração de amônia

A criação de frangos de corte é predominantemente realizada em galpões com cama aviária. Esta cama trata-se de um material que recobre o piso da instalação, destinado a receber os dejetos dos animais e absorver a umidade dos resíduos, além de outras funções como proteção e isolamento (CARVALHO et al., 2011). Sua utilização na produção de frangos de corte é considerada um método padrão de criação estabelecido em praticamente todo o mundo (SOUSA et al., 2016).

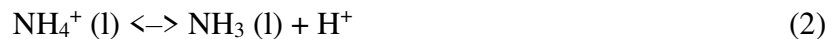
No Brasil é comum a prática de reutilização da cama por diversos ciclos produtivos devido a indisponibilidade de material que possa ser utilizado como substrato. É possível reutilizar a cama aviária por até seis vezes, sem que ocorram danos significativos ao desempenho produtivo dos animais. Entretanto, quanto mais vezes se reutiliza a cama, maior a quantidade de resíduos acumulados, afetando a relação entre carbono e nitrogênio e o potencial de geração e emissão de amônia. Assim, a prática da reutilização deve ser realizada com precaução e monitoramento das concentrações de amônia no interior da instalação (QUEIROZ, 2015; WHEELER et al., 2006).

3.2 Processos de formação da amônia na avicultura de corte

Na produção de frangos de corte, a amônia provém de duas fontes principais. Uma delas é a hidrólise da ureia presente na urina dos animais, realizada pela enzima urease, processo este denominado ureólise. Porém, a degradação da ureia proporciona uma menor contribuição para a formação de amônia. A principal fonte de amônia na avicultura é a degradação do nitrogênio excretado na forma de ácido úrico. O nitrogênio na forma de ácido úrico excretado pelas aves corresponde por cerca de 50% das proteínas não digeridas pelas aves. O processo de decomposição do ácido úrico ocorre de acordo com a Equação 1 (SOUSA et al., 2017; VILELA et al., 2020).



O processo de formação do NH_3 gasoso chama-se volatilização, onde a amônia na fase gasosa é proporcional à sua forma na fase líquida segundo a lei de Henry (Equações 2 e 3). Este equilíbrio é deslocado para a direita conforme há o aumento da temperatura, da velocidade do ar e da área de contato onde ocorre a reação (GROOT KOERKAMP et al., 1998).



Segundo Starmans & Van der Hoek (2007), as emissões de um gás podem ser do tipo transiente, reativa ou estática. A emissão estática ocorre em fossos com armazenamento de resíduo líquido. Esse tipo de emissão pouco influencia na taxa de emissão propriamente dita. A emissão reativa ocorre através de reações químicas como, por exemplo, reações enzimáticas, reações de combustão ou reações de decomposição. Como é o caso da amônia, onde ocorre uma quebra enzimática do ácido úrico. A emissão transiente ocorre em curtos períodos, geralmente provocada pela ação humana em situações de manejo de cama, alimentação dos animais, limpeza e manutenção da instalação.

3.3 Formas de controle e diminuição das emissões de amônia

Com a prática de reutilização das camas aviárias torna-se indispensável adotar formas de controlar e diminuir a emissão de amônia. Quando ocorre elevação do pH em camas aviárias, em condições de elevados teores de umidade o processo de transformação do íon NH_4^+ em amônia é favorecido. Entretanto, a aplicação de aditivos salinos como o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) é capaz de reduzir o pH da cama aviária a valores abaixo de 7. Além de reduzir o pH da solução, esse aditivo atua reagindo com as moléculas de NH_3 , formando o íon NH_4^+ , este por sua vez reage com os íons de sulfato, inibindo assim, a volatilização de NH_3 (QUEIROZ, 2015).

Medeiros et al., (2008) avaliaram o desempenho de diversos aditivos na contenção da volatilização de amônia e seus efeitos sob diferentes teores de umidade. Entre os aditivos testados, o sulfato de cobre (CuSO_4), o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e o fosfato (PO_4^{3-}) foram

os que apresentaram maior eficiência na inibição da volatilização. Neste estudo, as camas com elevados teores de umidade apresentaram os menores níveis de volatilização por conta da afinidade dissociativa da amônia com a água. Entretanto, um tratamento baseado no aumento do teor de água da cama não seria interessante, visto que uma das funções da cama aviária é a absorver a umidade dos dejetos.

Uma dieta com menor teor de proteínas também pode contribuir significativamente para a redução da emissão de amônia, visto que a maior parte do nitrogênio consumido na ração é eliminado na cama aviária (VILELA et al., 2020). Inoue et al., (2012) analisaram a relação entre dietas com teores distintos de proteína e a concentração de NH_3 no interior de uma instalação para aves de corte. Neste estudo, nas instalações onde as aves receberam dietas com elevados níveis de proteína e suplementação mínima de aminoácidos foram detectadas maiores concentrações de amônia. Por outro lado, nas instalações onde as aves receberam dietas compostas por níveis ideais de proteína, foram detectadas menores concentrações de NH_3 . Segundo Rostagno et al., (2017), o teor de proteína bruta recomendado na ração para frangos de corte machos de desempenho médio varia de 24,27% (1 a 7 dias de idade) a 17,47% (43 a 46 dias de idade).

3.4 Metodologias para determinação das emissões de amônia

Os principais métodos para mensuração das emissões de amônia foram desenvolvidos nos países do Hemisfério Norte (GATES et al., 2008; HUTCHINGS et al., 2001; MISSELBROOK et al., 2000; MOSQUERA et al., 2005), onde as instalações de produção animal são predominantemente fechadas e com isolamento térmico. Por outro lado, nos países de clima tropical como o Brasil, as instalações de produção animal são, predominantemente, abertas, com sistemas de ventilação natural, ou híbridas, com a possibilidade de uso da ventilação natural ou mecanizada, e sem controle adequado do volume de ar interno. Isso dificulta a utilização dos métodos, considerados padrões, para mensurar as emissões de amônia (MENDES et al., 2014a; OSORIO-SARAZ et al., 2013; SOUSA et al., 2015).

Em instalações de produção animal dotadas de grandes aberturas, cujo sistema de ventilação seja natural ou artificial, a quantificação da emissão de gases deve ser realizada preferencialmente do lado externo às aberturas da instalação. Para contornar os problemas relacionados ao fluxo de ar nessas instalações, uma alternativa é calcular a emissão de amônia por meio da determinação da sua concentração, utilizando-se sensores eletroquímicos, e da velocidade do ar, utilizando-se anemômetros. Essa abordagem requer alguns cuidados como

medições contínuas e simultâneas da velocidade do ar e das concentrações de amônia no mesmo ponto de localização para realizar o cálculo da emissão de amônia naquele ponto de medição específico (GROOT KOERKAMP et al., 1998; MOSQUERA et al., 2005).

Os métodos de fluxo passivo são considerados ideais para as condições de galpões ventilados naturalmente, pois não dependem do fluxo de ar para quantificar a emissão de amônia. Portanto, esses métodos são apropriados para a tipologia adotada nos galpões brasileiros, além de apresentarem vantagens como não necessitarem de fonte de energia para mensuração (SOUSA et al., 2015), possuírem equipamentos fáceis de construir, transportar e manusear (MOSQUERA et al., 2005). Entre os métodos de fluxo passivo existentes, o Método Saraz ou SMDAE (Saraz Method for Determination of Ammonia Emissions) se destaca, principalmente a nível de pesquisa, por apresentar precisão satisfatória nas medições (OSORIO-SARAZ et al., 2013; SOUSA et al., 2018b).

No método proposto por Osorio-Saraz et al., (2014), são utilizados tubos de policloreto de vinila (PVC) de 30 cm de altura e 20 cm de diâmetro, além de espumas de poliuretano, posicionadas internamente nos tubos contendo solução ácida (H_2SO_4) e glicerina ($C_3H_8O_3$), componentes que fixam o gás amônia por microdifusão. As espumas impregnadas em solução ácida são posicionadas, uma a 10 cm de altura, com a função de reter a amônia, e outra, a 30 cm de altura, no topo do tubo de PVC, para evitar qualquer contaminação por gases externos na amostra.

Após o período de coleta, as espumas são levadas ao laboratório onde a concentração de NH_3 é quantificada, utilizando-se o método Kjeldhal (AOAC, 2005). A emissão de amônia pelo método SMDAE é determinada pela Equação 4, estabelecida por Osorio-Saraz et al. (2014).

$$SMDAE = \frac{NH_3}{A \cdot t} \quad (4)$$

Em que:

SMDAE: fluxo de massa de NH_3 ($g NH_3 m^{-2} s^{-1}$);

NH_3 : massa de NH_3 ($g NH_3$);

A: área de absorção da esponja (m^2);

t: tempo de exposição da esponja (s).

O método SMDAE apresenta como limitação o tempo de coleta de amônia elevado, que pode variar de duas a quatro horas, tornando as mensurações demoradas (OSORIO-SARAZ et

al., 2013). Além disso, a necessidade de utilização de componentes químicos e análises laboratoriais, inviabiliza a sua utilização em campo.

Os métodos de difusão por fluxo ativo utilizam alguma fonte de energia para detecção de algum parâmetro. Nesses métodos o ar é forçado a passar em um ponto onde será analisado. Após a análise é determinada a concentração da amônia (CARLSON, 2013). Esta abordagem além de proporcionar resultados precisos, fornece informações acerca da dinâmica das emissões de NH₃ no interior da instalação (MOSQUERA et al., 2005).

A PMU, Portable Monitoring Unit, segundo Wheeler et al. (2003), é um método de monitoramento contínuo que utiliza dois sensores eletroquímicos para medição da concentração de NH₃, e um sensor para medição da concentração de CO₂. A concentração de CO₂ é utilizada para determinação da velocidade do ar, imprescindível no cálculo da taxa de emissão de amônia.

A emissão de amônia determinada pela PMU, pela Equação 5, proposta por Li et al. (2008), é baseada nas medições dos sensores eletroquímicos de NH₃ e na taxa de ventilação (Q), estabelecida pelo método de balanço de CO₂, onde a produção de calor metabólico relaciona-se com o consumo de oxigênio (O₂) e a produção de dióxido de carbono (CO₂) das aves no processo de respiração.

$$[ER_{NH_3}]_t = \sum_{e=1}^2 [Q]_t \left([CNH_3]_e - \frac{\rho_e}{\rho_i} [CNH_3]_i \right) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{W_m}{V_m} \cdot \frac{T_{std}}{T_a} \cdot \frac{P_a}{P_{std}} \quad (5)$$

Em que:

$[ER_{NH_3}]_t$: Taxa de emissão de NH₃ da instalação em um instante t (g_{NH₃} s⁻¹);

$[Q]_t$: Taxa de ventilação média no instante t a uma dada temperatura e pressão (m³s⁻¹);

$[CNH_3]_e$: Concentração média de NH₃ no ar externo (ppmv);

$[CNH_3]_i$: Concentração média de NH₃ no ar (ppmv);

ρ_e, ρ_i : Massa específica do ar exterior e interior da instalação (kg ar seco. m⁻³ ar úmido);

W_m : Massa molar de NH₃ (17,031 g mol⁻¹);

V_m : Volume molar de NH₃ à temperatura e pressão padrão (24,14 L mol⁻¹);

T_{std} : Temperatura padrão (°C + 273,12) K;

T_a : Temperatura absoluta do ar ambiente (°C + 273,12) K;

P_a : Pressão atmosférica local (kPa);

P_{std} : Pressão barométrica padrão (101,325 kPa).

A PMU é um método de monitoramento de baixo custo quando comparado a outros métodos que utilizam tecnologias de quimiluminescência e sensores fotoacústicos

ultrassônicos, além de ser preciso e de fácil instalação. No entanto, alguns cuidados devem ser observados como a calibração dos sensores e a possibilidade de condensação de amônia nos tubos de amostragem, contribuindo assim para a saturação do equipamento (AMARAL et al., 2007; JI et al., 2016; MOSQUERA et al., 2005; OSORIO-SARAZ et al., 2013).

3.5 Inventários de emissão de amônia

Um inventário de emissão de amônia é uma estimativa do quanto de amônia foi emitido para a atmosfera ao longo de um ano por uma ou mais práticas agrícolas em determinada região. Sua condução pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas de mitigação, visto que seus dados auxiliam no prognóstico da eficácia da implementação ou mesmo do custo da medida a ser implementada (BITTMAN et al., 2015). Um inventário de emissão é conduzido seguindo-se uma metodologia, que consiste em determinar a população de animais da região em que se pretende realizar o inventário e estimar o quanto de amônia foi lançado na atmosfera utilizando-se um fator de emissão retirado da literatura ou calculado pelo pesquisador (BITTMAN et al., 2015; EPA, 2004).

Vários inventários de emissão de amônia já foram desenvolvidos para diversos setores da agroindústria em diversos países. Para a produção animal já existem inventários de emissão de amônia proveniente da bovinocultura de corte e leiteira (HUTCHINGS et al., 2001; MISSELBROOK et al., 2000; SHEPPARD et al., 2011), suinocultura (PHILIPPE et al., 2011) e avicultura (GATES et al., 2008; MENDES et al., 2014a; OSORIO-SARAZ et al., 2017). Observam-se na Tabela 1 os resultados dos inventários de emissão de amônia provenientes, especificamente da avicultura, realizados por diversos autores, em diversos países.

Tabela 1 – Emissão anual de amônia ($\text{kT NH}_3 \cdot \text{ano}^{-1}$) pela avicultura em diversos países que já realizaram seus inventários de emissões

Fonte do inventário	Local	Fator de emissão de amônia ($\text{g.ave}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	Emissão de amônia ($\text{kT NH}_3 \cdot \text{ano}^{-1}$)
Misselbrook et al., (2000)	Reino Unido	0,52	43,00 ^a
Hutchings et al., (2001)	Dinamarca	0,55	5,30 ^b
Mendes et al., (2014a)	Brasil	$0,27 \pm 0,07$ ^c	-
Zhao et al., (2016)	China	$0,72 \pm 0,13$ ^d	0,218 ^d
Gates et al., (2008)	EUA	-	323,65 ^e
Osorio-Saraz et al., (2017)	Antioquia	$0,30 \pm 0,23$ ^f	8,41 ^f

^a Incluem as emissões de animais criados em confinamento e criados livres, armazenamento de dejetos e aplicação no solo.

^b Incluem a soma das emissões em confinamento, armazenamento de dejetos e aplicação no solo.

^c Fator de emissão determinado em instalações de ventilação natural.

^d Fator de emissão determinado em instalações de compostagem de dejetos de aves poedeiras.

^e Valores estimados considerando cama reutilizada, o fator de emissão varia conforme o modelo da Equação 8.

^f Valores estimados para instalações de ventilação natural.

Misselbrook et al., (2000), conduziram um inventário das emissões anuais de amônia nos países do Reino Unido. A emissão calculada considerou a contribuição estimada de cada classe de animais (suínos, bovinos, aves e ovinos) e a contribuição de práticas agrícolas. Foram utilizados dados estatísticos retirados de censos agropecuários e fatores de emissão descritos por Demmers et al., (2001), Jarvis et al., (1991), Groot Koerkamp et al., (1998) e Peirson, (1995).

Hutchings et al., (2001), desenvolveram um inventário de emissão de amônia para a Dinamarca. O modelo utilizado considerou a contribuição de cada classe de gado e de práticas agrícolas como uso de fertilizantes, colheita e aplicação no solo. Foram utilizados fatores de emissão descritos por Jarvis et al. (1989a,b), Pain et al., (1989) e Poulsen & Kristensen (1998).

Mendes et al., (2014a), calcularam o fator de emissão de amônia em instalações para frangos de corte com sistemas de ventilação natural e mecânico. A taxa de ventilação foi calculada segundo o método de Pedersen et al., 2008 e a taxa de emissão de amônia segundo a Equação 6 (MENDES et al., 2014b).

$$NH_3ER = \frac{Q \cdot \Delta[NH_3] \cdot W_{NH_3}}{V_{NH_3}} \quad (6)$$

Em que:

NH_3ER : taxa de emissão ($g NH_3 \cdot ave^{-1} \cdot d^{-1}$);

Q : taxa de ventilação no interior da instalação ($m^3 \cdot ave^{-1} \cdot d^{-1}$);

$\Delta[NH_3]$: diferença entre a concentração de amônia no interior e exterior da instalação (ppm);

W_{NH_3} : massa molar de NH_3 ($17,031 g mol^{-1}$);

V_{NH_3} : volume molar de NH_3 nas condições padrão ($25^\circ C$, 1 atm) ($0,0245 m^3 \cdot mol^{-1}$).

Zhao et al., (2016) quantificaram as concentrações e a taxa de emissão de NH_3 em uma instalação comercial de compostagem de dejetos de aves poedeiras e avaliaram as oscilações diurnas e sazonais. Foi realizado um monitoramento contínuo ao longo de um mês em cada estação do ano, ao longo de dois anos. As variações diurnas foram significativamente maiores que as noturnas, devido principalmente a condições térmicas e operações de manejo da

compostagem. A taxa de emissão foi calculada de acordo com a Equação 7 (ZHAO et al., 2016). Foi estimada uma emissão anual de 0,218 kT NH₃ em instalações de compostagem de dejetos de aves.

$$ER = Q_{total} \cdot (C_{NH3o} - C_{NH3i}) \cdot 24 \cdot N^{-1} \quad (7)$$

Em que:

ER: taxa de emissão da unidade de compostagem (g NH₃.ave⁻¹.d⁻¹);

Q: taxa de ventilação total utilizando as condições de ar seco padrão (m³.h⁻¹);

C_{NH3o}: concentração de amônia na saída do exaustor da instalação (mg.m⁻³);

C_{NH3i}: concentração de amônia no interior da instalação (mg.m⁻³);

N: número total de aves no interior da instalação.

Gates et al., (2008) desenvolveram uma metodologia para se realizar um inventário das emissões de amônia em instalações avícolas para o estado do Kentucky, nos Estados Unidos. Neste trabalho foi realizado um levantamento estatístico utilizando dados da USDA NASS (United States Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service) e da USDA ERS (United States Department of Agriculture Economic Research Service) acerca da produção de frangos de corte. Foi utilizado um modelo linear para a estimativa das emissões (Equação 8) que considera a condição da cama e a idade das aves.

$$ER = 0,031 \cdot x \quad (8)$$

Em que:

ER: taxa de emissão, g NH₃.ave⁻¹.d⁻¹;

x: Idade das aves, em dias, para os casos de cama reutilizada. Para casos de cama nova esse valor varia em função da idade das aves, sendo que até 7 dias x = 0 e acima de 7 dias deve-se considerar x = Idade das aves – 6.

Os parâmetros especificados pelo inventário conduzido por Gates et al. (2008) foram: a população de frangos por ciclo produtivo, o peso comercial, a idade dos animais, a condição da cama e o período entre ciclos produtivos (período onde ocorre a limpeza e manutenção dos galpões) adotado como sete dias. Segundo Gates et al. (2008), este método pode ser adaptado para emissões de outros gases em galpões de frango de corte, desde que observados os devidos

fatores de idade e condição da cama conforme observado na Equação (8). Foi estimada uma emissão anual no estado do Kentucky de 8,8 e 11,7 kT de NH₃ considerando-se camas novas e usadas, respectivamente. E para o EUA foi estimada uma emissão anual de 240 e 324 kT de NH₃, considerando-se camas novas e usadas, respectivamente.

Osorio-Saraz et al., (2017) desenvolveram um inventário de emissão anual de amônia para o Departamento de Antioquia na Colômbia. Foram selecionadas 30 instalações de frangos de corte, sendo 15 instalações com sistema de ventilação mecanizada e 15 instalações com sistema de ventilação natural. Para obter o fator de emissão diária de amônia em instalações com ventilação natural foi considerado o método proposto por Osorio-Saraz et al., (2014). E para obter o fator de emissão diária de amônia em instalações com ventilação mecanizada (Equação 9) foi utilizado o método proposto por Wheeler et al. (2006).

$$ER = Q \times M \times (NH_{3e} - NH_{3i}) \times 10^{-6} \times \frac{MW_{NH_3}}{MV} \times \frac{T_{std}}{T_a} \times \frac{P_a}{P_{std}} \quad (9)$$

Em que:

ER: taxa de emissão de NH₃ da instalação (g NH₃ h⁻¹ ave⁻¹);

Q: escoamento de ar no interior da instalação medido a cinco centímetros de cada esponja superior, nas condições naturais de temperatura e pressão (m³ h⁻¹ kg⁻¹);

M: massa média das aves na instalação (kg ave⁻¹);

NH_{3i}: concentração média de NH₃ no interior da instalação (ppm);

NH_{3e}: concentração média de NH₃ no exterior da instalação (ppm);

Wm: massa molar de NH₃ (17,031 g mol⁻¹);

Vm: volume molar de NH₃ a temperatura (0°C) e pressão (1 atm) padrão STD (24,14 L mol⁻¹);

Tstd: temperatura padrão (°C + 273,12) K;

Ta: temperatura absoluta do ar ambiente (°C + 273,12) K;

Pa: pressão atmosférica local (kPa);

Pstd: pressão barométrica padrão (101,325 kPa).

Osorio-Saraz et al. (2017) utilizaram os dados do censo agropecuário realizado pela FAO (Food and Agriculture Organization). Os dados como número de instalações com ventilação natural e mecanizada e população de aves de corte foram multiplicados pelos fatores

de emissão obtidos, chegando-se a um total de emissão para o Departamento de Antioquia. Foi estimada uma emissão anual de 8,41 kT NH₃.ano⁻¹ em instalações com ventilação natural e 0,14 kT NH₃.ano⁻¹ em instalações com ventilação mecanizada.

Um problema que envolve a elaboração de um inventário de emissões de amônia é a incerteza associada às medições. Segundo Bjerg et al. (2013a), realizar medições precisas das concentrações de amônia e das taxas de ventilação no interior de uma instalação com sistema de ventilação natural mostra-se um desafio. De acordo com Bjerg et al. (2013b), nas instalações com sistemas de ventilação natural as entradas e saídas de ar não são bem definidas, oscilando de acordo com as condições externas. Dessa forma, técnicas que medem o fluxo de ar de forma indireta podem levar a uma taxa de ventilação equivocada, por conta, principalmente, da mistura imperfeita do ar dentro da instalação.

Em relação a modelos que predizem a emissão de amônia, para validação do referido modelo, são necessários dados advindos de coletas experimentais. A carência de dados de referência acerca das emissões de amônia é uma importante lacuna, que se não for preenchida, pouco poderá ser feito em relação a validação de um modelo (BATTYE et al., 2003). A qualidade dos dados coletados e dos fatores de emissão adotados estão diretamente relacionadas com a qualidade do inventário de emissões de amônia. Se faltarem dados reais de emissão de amônia em determinada região onde se realizou um inventário, dificilmente poder-se-á quantificar a incerteza associada aos fatores de emissão calculados (ZHANG et al., 2010).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estratégias como o uso de aditivos e uso de dietas com menores níveis de proteína bruta são alguns exemplos de medidas que podem contribuir para diminuir as emissões de amônia nas instalações de produção de frangos de corte.

Os métodos SMDAE e PMU podem ser adaptados para mensurar a emissão de amônia em instalações avícolas com a tipologia construtiva de países de clima quente, como o Brasil.

Os resultados de emissão anual de amônia obtidos de inventários realizados na Colômbia, Estados Unidos, Reino Unido, China e Dinamarca, indicam uma emissão de 8,41 kT NH₃ ano⁻¹, 323,65 kT NH₃ ano⁻¹, 43 kT NH₃ ano⁻¹, 0,218 kT NH₃ ano⁻¹ e 5,3 kT NH₃ ano⁻¹ respectivamente.

A quantificação das incertezas acerca dos inventários de emissão de amônia e dos fatores de emissão é um desafio a ser superado. Diante da carência de dados reais de emissão de amônia, são demandados novos estudos para que sejam preenchidas essas lacunas.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Processo 421860/2018-9 e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NR 15 Atividades e Operações Insalubres**. Agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. Rio de Janeiro, 114p, 1978.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual de Atividades 2019**. Associação Brasileira de Proteína Animal, 160p, 2020.

AMARAL, M. F. P. et al. Comparison between two systems for ammonia emission monitoring in broiler houses. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AIR QUALITY AND WASTE MANAGEMENT FOR AGRICULTURE, 2007, Broomfield. **Proceedings** [...]. Broomfield, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007, p. 20. CD-ROM.

AOAC. Association of Official Agricultural Chemists. **Final report and executive summaries from the AOAC international presidential task force on best practices in microbiological methodology**. AOAC International, 2005.

BATTYE, W.; ANEJA, V. P.; ROELLE, P. A. Evaluation and improvement of ammonia emissions inventories. **Atmospheric Environment**, v. 37, n. 28, p. 3873-3889, 2003.

BITTMAN, S. et al. Weekly agricultural emissions and ambient concentrations of ammonia: Validation of an emission inventory. **Atmospheric Environment**, v. 113, p. 108-117, 2015.

BJERG, B. et al. Modelling of ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings. Part 1: Ammonia release modelling. **Biosystems Engineering**, v. 116, n. 3, p. 232-245, 2013a.

BJERG, B. et al. Modelling of ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings: Part 2: air change modelling. **Biosystems Engineering**, v. 116, n. 3, p. 246-258, 2013b.

CAFÉ, M. B.; ANDRADE, M. A. **Intoxicações – Parte 2**. In: Avicultura industrial. v. 1091, 2001.

CARLSON, B. R. **Development of a passive surface flux meter to estimate spatially distributed nutrient mass fluxes**. 2013. Dissertação (Mestrado). Iowa: Universidade de Iowa, Iowa City, 2013.

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

COBB-VANTRESS. Manual de manejo de frangos de corte. **Cobb-Vantress**. 2019. Disponível em: <<http://www.cobb-vantress.com/>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

DEMMERS, T. G. M. et al. SE – Structure and Environment: Validation of ventilation rate measurement methods and the ammonia emission from naturally ventilated dairy and beef buildings in the United Kingdom. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 79, n.1, p. 107-116, 2001.

DONHAM, K. A historical overview of research on the hazards of dust in livestock buildings. In: **Dust Control in Animal Production Facilities, Aarhus (Denmark), 30 May-2 Jun 1999**. DJF, 1999.

EPA. National Emission Inventory — Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Draft Report. **Draft Report**, p. 131, 2004.

FAO. **Food and Agriculture Organization**. Brasil será um dos maiores exportadores de alimentos, prevê FAO. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/>. Acesso em: 4 mar. 2021.

FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. A method for determination of ammonia in air using oxalic acid-impregnated cellulose filters and fluorimetric detection. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.23, n.1, p. 142-147, 2012.

FONSECA, A. A. V. V.; BRAGA, M. J. Dependência produtiva dos avicultores integrados de Viçosa. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 62-73, 2017.

GATES, R. S. et al. U.S. broiler housing ammonia emissions inventory. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 14, p. 3342-3350, 2008.

GROOT KOERKAMP, P. W. et al. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, n. 1, p. 79-95, 1998.

HUTCHINGS, N. J. et al. A detailed ammonia emission inventory for Denmark. **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 11, p. 1959-1968, 2001.

INOUE, K. R. A. et al. Análise da concentração de amônia em galpões de frango de corte submetidos a diferentes dietas. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 20, n. 1, p. 19-24, 2012.

JARVIS, S. C. et al. Micrometeorological studies of ammonia emission from sheep grazed swards. **The Journal of Agricultural Science**, v. 117, n. 1, p. 101-109, 1991.

JARVIS, S. C.; HATCH, D. J.; LOCKYER, D. R. Ammonia fluxes from grazed grassland: annual losses from cattle production systems and their relation to nitrogen inputs. **The Journal of Agricultural Science**, v. 113, n. 1, p. 99-108, 1989a.

JARVIS, S. C.; HATCH, D. J.; ROBERTS, D. H. The effects of grassland management on nitrogen losses from grazed swards through ammonia volatilization. The relationship to excretal N returns from cattle. **The Journal of Agricultural Science**, v. 112, n. 2, p. 205-216, 1989b.

Jl, B. et al. Design and performance evaluation of the upgraded portable monitoring unit for air quality in animal housing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 124, p. 132-140, 2016.

Ll, H. et al. Ammonia and PM emissions from a tom turkey barn in Iowa. In: **2008 Providence, Rhode Island, June 29-July 2, 2008**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p.1, 2008.

LOTT, B.; DONALD, J. Amônia: Grandes perdas mesmo quando você não percebe. **Avicultura Industrial**. 2003. Disponível em: <<http://www.aviculturaindustrial.com.br/>>. Acesso em 12 de julho de 2019.

MEDEIROS, R. et al. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2321-2326, 2008.

MENDES, L. B. et al. Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1179-1185, 2014a.

MENDES, L. B. et al. A refined protocol for calculating air flow rate of naturally-ventilated broiler barns based on CO₂ mass balance. **Dyna**, v. 81, n. 185, p. 189-195, 2014b.

MISSELBROOK, T. H. et al. Ammonia emission factors for UK agriculture. **Atmospheric Environment**, v. 34, n. 6, p. 871-880, 2000.

MOSQUERA, J.; MONTENY, G. J.; ERISMAN, J. W. Overview and assessment of techniques to measure ammonia emissions from animal houses: the case of the Netherlands. **Environmental Pollution**, v. 135, n. 3, p. 381-388, 2005.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Ministério do Meio Ambiente. **Ontario Air Standards for Ammonia**, v. 1988, p. 1-47. 2001

OLIVEIRA, P. A. V. DE; MONTEIRO, A. N. T. R. Emissão de amônia na produção de frangos de corte. In: **Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONFERÊNCIA FACTA, Campinas, 2013. Anais... Campinas: Facta, 2013. 1 CD-ROM., 2013.

OSORIO-SARAZ, J. A. et al. Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. **Dyna**, v. 81, n. 187, p. 137-143, 2014.

OSORIO-SARAZ, J. A. et al. Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. **Dyna**, v. 80, p. 51-60, 2013.

OSORIO-SARAZ, J. A. et al. An approach to the ammonia inventory in the poultry production in Colombia: Antioquia Case. **Chemical Engineering Transactions**, v. 58, p. 799-804. 2017.

PAIN, B. F. et al. Loss of nitrogen through ammonia volatilization during and following the application of pig or cattle slurry to grassland. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 47, n. 1, p. 1-12, 1989.

PEDERSEN, S. et al. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 10, p. 1-19, 2008.

PEIRSON, S.; NICHOLSON, R. Measurement of odour and ammonia emissions from livestock buildings. **Final Report to MAFF R&D Project WA0601, ADAS**, 1995.

PERRY, G. C. (Ed.) **Welfare of the Laying Hen**. World's Poultry Science Association, Bristol, v. 27, 2004.

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

POULSEN, H. D.; KRISTENSEN, V. F. **Standard values for farm manure: a revaluation of the Danish standard values concerning the nitrogen, phosphorus and potassium content of manure**. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Foulum, 1998.

PROCÓPIO, D. P.; LIMA, H. J. A. Avaliação Conjuntural da avicultura no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. 26, 2020.

QUEIROZ, P. D. P. **Características de cama aviária de casca de café submetida a diferentes condições ambientais e a influência no potencial de emissão de ammonia e em lesões do coxim plantar de frangos de corte**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2017. 488p.

SHEPPARD, S. et al. Modelling monthly NH₃ emissions from dairy in 12 Ecoregions of Canada. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 91, n. 4, p. 649-661, 2011.

SOUSA, F. C. et al. Características dos sistemas de produção de frangos de corte nos países destaques mundiais no setor. **VI Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável III Congresso Internacional de Agropecuária Sustentável. 20-21 Setembro, 2018, Viçosa, MG**. Universidade Federal de Viçosa, Biblioteca Central, 2018a.

SOUSA, F. C. et al. Quantificação de amônia em instalações de produção de frangos de corte

- em clima quente. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 3, p. 879-899, 2018b.
- SOUSA, F. C. et al. Gas emission in the poultry production. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 5, n. 2, p. 49-55, 2017.
- SOUSA, F. C. et al. Medidas para minimizar a emissão de amônia na produção de frangos de corte: revisão. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 1, p. 51-61, 2016.
- SOUSA, F. C. et al. Métodos De Difusão Passiva Para Quantificação De Amônia Em Instalações Abertas Para Produção Animal. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 3, p. 252-260 , 2015.
- STARMANS, D. A. J.; VAN DER HOEK, K. W. (Ed.). **Ammonia the case of The Netherlands**. Wageningen Academic Publishers, 2007.
- USDA. **United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service**. Chicken meat production. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/>>. Acesso em: 4 mar. 2021.
- VILELA, M. O. et al. Nitrogen transformation stages into ammonia in broiler production: sources, deposition, transformation and emission to environment. **Dyna**, v. 87, n. 214, p. 221-228, 2020.
- WHEELER, E. F. et al. Ammonia emissions from twelve U.S.A. broiler chicken houses. **Transactions of the ASABE**, v. 49, n. 5, p. 1495-1512, 2006.
- WHEELER, E. F. et al. Ammonia Emissions from Broiler Houses in Pennsylvania During Cold Weather. In: **Proceedings of International Symposium on Gaseous and Odour Emissions From Animal Production Facilities**. Horsens, Denmark. 1-4 June 2003, p. 221-228, 2003.
- ZHANG, Y. et al. Agricultural ammonia emissions inventory and spatial distribution in the North China Plain. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 490-501, 2010.
- ZHAO, L. et al. Ammonia concentrations and emission rates at a commercial poultry manure composting facility. **Biosystems Engineering**, v. 150, p. 69-78, 2016.

ARTIGO 2

FATOR DE EMISSÃO E INVENTÁRIO DA EMISSÃO DE AMÔNIA EM GALPÃO HÍBRIDO NA AVICULURA DE CORTE DA ZONA DA MATA MINEIRA – BRASIL USANDO PMU

RESUMO: A liberação de amônia na atmosfera pode acarretar diversos danos ambientais. O monitoramento da emissão de amônia é imprescindível para a adoção de estratégias mitigadoras. Na pecuária brasileira há uma carência de dados reais de emissão de amônia. Dessa forma, objetivou-se desenvolver experimentalmente um fator de emissão de amônia (f_{NH_3}) em instalação com tipologia construtiva híbrida para avicultura de corte, utilizando uma Unidade de Monitoramento Portátil (PMU), além de elaborar um inventário da emissão de amônia proveniente da avicultura de corte na Zona da Mata Mineira. O experimento foi realizado na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE, Produção e Nutrição de Aves) do Departamento de Zootecnia, da Universidade Federal de Viçosa. Os dados foram coletados durante um ciclo produtivo de 42 dias. A taxa de ventilação foi calculada com base no balanço de massa de dióxido de carbono, utilizando a PMU. O f_{NH_3} diário estimado foi de $0,422 \text{ g NH}_3 \cdot \text{ave}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, valor esse de acordo com outros estudos realizados em condições semelhantes. Cruzando esses valores com dados do alojamento de frangos de corte, promovido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estimou-se a emissão anual de amônia pela avicultura de corte da Zona da Mata Mineira, resultando em um total de $1,49 \text{ kT NH}_3 \cdot \text{ano}^{-1}$.

Palavras-chave: bem-estar animal, fator de emissão, poluição do ar, qualidade do ar

EMISSION FACTOR AND INVENTORY OF AMMONIA EMISSION IN A HYBRID FACILITIE IN THE BROILER POULTRY OF THE ZONA DA MATA MINEIRA – BRAZIL USING PMU

ABSTRACT: The release of ammonia into the atmosphere can cause several environmental damages. Monitoring ammonia emissions is essential for the adoption of mitigation strategies. In Brazilian livestock, there is a lack of real data on ammonia emissions. Thus, the objective was to experimentally develop an ammonia emission factor (f_{NH_3}) in an hybrid facility for broiler housing, using a Portable Monitoring Unit (PMU), in addition to prepare an inventory of ammonia emissions from broiler housing in the Zona da Mata Mineira. The experiment was carried out at the Teaching, Research and Extension Unit (UEPE – Poultry Production and Nutrition) of the Zootechnics Department, at the Federal University of Viçosa. The data were collected during a 42-day production cycle. The ventilation rate was calculated based on the mass balance of carbon dioxide, using the PMU. The estimated daily f_{NH_3} was $0.422 \text{ g}_{\text{NH}_3} \cdot \text{bird}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, a value according to other studies carried out under similar conditions. Crossing these values with data from broiler housing, promoted by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), the annual emission of ammonia by broiler poultry in Zona da Mata Mineira was estimated, resulting in $1.49 \text{ kT NH}_3 \cdot \text{year}^{-1}$.

Keywords: air pollution, air quality, animal welfare, emission factor

1 INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais é o quinto maior produtor de frangos de corte brasileiro. A mesorregião da Zona da Mata Mineira é responsável por cerca de 8,5% da produção no estado (ABPA, 2020). Caracterizada como uma região dependente de atividades agrícolas, constituídas principalmente de minifúndios, a Zona da Mata Mineira compõe uma das 12 mesorregiões do Estado de Minas Gerais, e abrange 142 municípios que formam sete microrregiões, sendo elas: Cataguases, Juiz de Fora, Manhuaçu, Muriaé, Ponte Nova, Ubá e Viçosa.

A produção de frangos de corte nos municípios da Zona da Mata Mineira se dá, prioritariamente, pelo sistema de integração, onde os produtores integrados firmam contratos com as empresas integradoras (FIGUEIREDO et al., 2006). A entidade mediadora entre os associados (produtores) e as empresas integradoras é a Associação dos Avicultores da Zona da Mata (Avizom). Instituída em 1983 e sediada em Visconde do Rio Branco, a associação abrange mais de 450 avicultores de 30 cidades da Zona da Mata Mineira (FONSECA; BRAGA, 2017).

Entretanto, as práticas agropecuárias, principalmente a produção animal, são responsáveis pela maior parte da amônia lançada na atmosfera (HUTCHINGS et al., 2001; VELTHOF et al., 2012). Na produção avícola, parte do nitrogênio não absorvido como nutriente pelas aves é eliminado na forma de ureia e ácido úrico na urina e depositada na cama. Assim, a amônia provém da quebra enzimática desses compostos orgânicos, realizada pelos microrganismos presentes no ambiente (EPA, 2004; VILELA et al., 2020).

A amônia é um dos principais poluentes atmosféricos da avicultura de corte em sistemas de criação em cama sobreposta ao piso. As consequências da liberação de NH_3 na atmosfera abrangem a eutrofização e acidificação do solo e água, além da perda da biodiversidade (GROOT KOERKAMP et al., 1998; STARMANS; VAN DER HOEK, 2007; ZHANG et al., 2010).

Nos países tropicais, as instalações avícolas são, em sua maioria abertas ou híbridas, pois o clima permite uma renovação do ar de forma natural ou seminatural. Alguns estudos recentes estabeleceram fatores de emissão de amônia em instalações para frangos de corte com a tipologia construtiva de países tropicais (MENDES et al., 2014; OSORIO-SARAZ et al., 2017). Porém, devido a magnitude do território brasileiro e da escala da produção avícola, ainda faltam estudos específicos para as instalações híbridas, predominantemente adotadas nos países de clima tropical e consequentemente as mais encontradas na região da Zona da Mata Mineira.

Além disso é necessário utilizar metodologias para mensuração dos fatores de emissão de amônia mais aplicáveis às condições tipológicas de países tropicais. Dentre os métodos disponíveis para essa condição a PMU (*Portable Monitoring Unit*) se destaca, por ser um método de fácil instalação, preciso e de baixo custo (AMARAL et al., 2007; JI et al., 2016). Uma prática que auxilia no processo de tomada de decisões acerca do controle da emissão de poluentes na produção animal é ter conhecimento da emissão real de determinado poluente por determinada atividade. Para isso é necessário ter conhecimento do fator de emissão e do inventário dessas emissões (BITTMAN et al., 2015). Países como China, França, Holanda e Irlanda conduzem anualmente inventários de emissão de amônia na agricultura (HAYES et al., 2006; PHILIPPE et al., 2011; ZHAO et al., 2016) enquanto no Brasil ainda existe uma carência de metodologias eficientes para determinação do fator de emissão e os inventários são praticamente inexistentes em qualquer área da agricultura. Por isso, objetivou-se desenvolver experimentalmente um fator de emissão de amônia em instalação híbrida para avicultura de corte, utilizando a PMU, mapear a produção avícola da região estudada e elaborar um inventário da emissão de amônia proveniente da avicultura de corte na Zona da Mata Mineira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Determinação do fator de emissão de amônia

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE, Produção e Nutrição de Aves) do Departamento de Zootecnia, da Universidade Federal de Viçosa, no período da primavera, entre outubro e dezembro de 2020. Foi utilizado um galpão experimental híbrido, com dimensões de 27 m x 12 m (Figura 1). O galpão construído no sentido leste – oeste, possui pilares de concreto armado e telhas de fibrocimento. As faces norte e sul do galpão possuem muretas de alvenaria de 0,70 m e fechamento com tela, enquanto as faces leste e oeste são fechadas com alvenaria e quatro portões metálicos, sendo dois em cada face. A instalação possui cortinas móveis de lona nas faces norte e sul e sistema de ventilação por pressão positiva, constituído de 8 ventiladores de 1 m de diâmetro, com motor de 0,5 cv de potência e vazão de ar de 300 m³/min instalados ao longo da face norte do galpão.

Figura 1 - Galpão experimental (A) Vista externa e (B) Vista interna

(A)



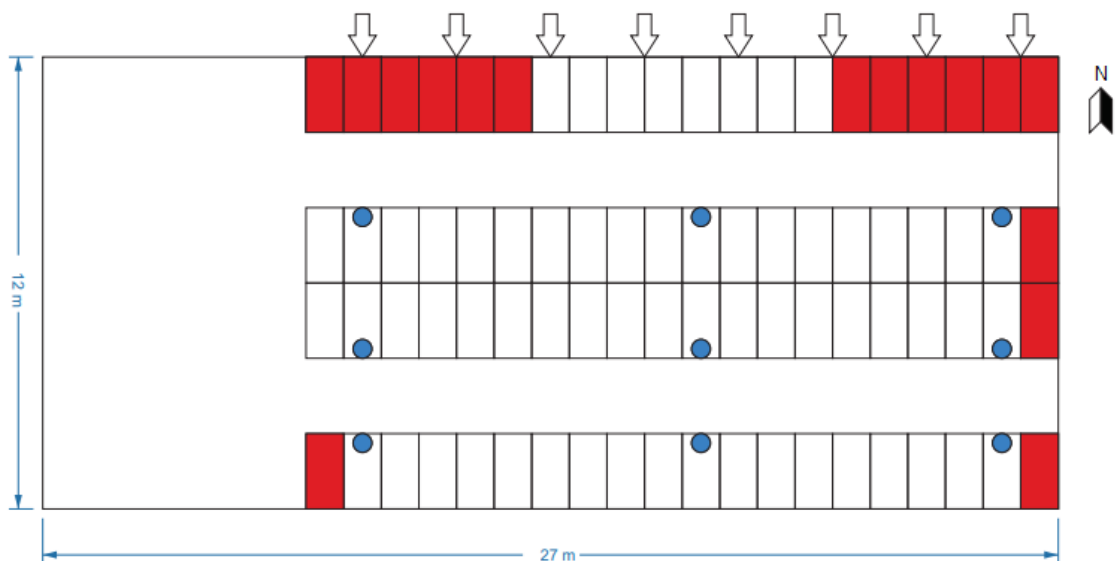
(B)



Fonte: Autores.

Como o galpão é de uso experimental, ele possui 80 boxes para criação de frangos em lotes menores (Figura 2), cada um possuindo 2 m x 1 m de área e 0,55 m de altura. Neste experimento foram utilizadas 64 boxes e em cada box foram alojados 20 frangos de corte machos da linhagem *Cobb 500*, totalizando em 1280 animais, com densidade de alojamento de 10 animais por metro quadrado. Foi utilizada cama nova de maravalha com 0,10 m de espessura.

Figura 2 - Representação esquemática do galpão experimental. As baias em vermelho não foram utilizadas no experimento. Os círculos azuis representam os pontos de coleta de dados internos. As setas designam a posição dos ventiladores



Fonte: Autores.

O ciclo produtivo compreendeu 42 dias. No período inicial de criação, durante os 14 primeiros dias, foram utilizadas campânulas para manter a temperatura do ar em torno de 32°C, dentro da faixa de conforto térmico animal (COBB, 2018). Nessa fase inicial, as cortinas permaneceram completamente fechadas durante todos os dias. A partir dos 14 dias, as cortinas eram abertas das 9:00 às 18:00 horas, para proporcionar ventilação natural no galpão e, conseqüentemente, conforto térmico aos animais nessa fase de criação.

O manejo da ambiência na instalação foi feito manualmente por meio do valor da temperatura do ar no interior da instalação e do comportamento dos animais. A partir dos 14 dias, caso a temperatura interna atingisse 28 °C ou os animais apresentassem comportamento que caracterizasse estresse térmico, o sistema de ventilação por pressão positiva era acionado manualmente. A partir do 21º dia de criação a cama aviária foi revolvida a cada 3 dias. Não foram realizados acréscimos de cama durante todo o ciclo produtivo. Os animais receberam três rações com teores de proteína diferenciados, atendendo as exigências nutricionais, separados por fase de produção, sendo elas: 1-7 dias com 23% de proteína; 8-21 dias com 21% de proteína e 22-42 dias com 19,5% de proteína.

Durante todo o ciclo produtivo, a cada três dias, foram realizadas coletas de dados para caracterização da condição térmica (temperatura e umidade relativa do ar), da qualidade do ar (concentração de amônia, dióxido de carbono e poeira) e da emissão de amônia na instalação. Todos os dados foram coletados em nove pontos distribuídos no interior do galpão conforme apresentado na Figura 2, e em ponto externo à instalação, nos horários de 6:00, 9:00, 12:00, 15:00 e 18:00 horas.

Para as mensurações foi utilizada uma Unidade de Monitoramento Portátil (PMU), um método de monitoramento contínuo que utiliza sensores eletroquímicos (WHEELER et al., 2003). Apesar de ser um método de monitoramento contínuo, a PMU foi utilizada de forma pontual, por conta da limitação de equipamentos disponíveis. A taxa de emissão de amônia foi calculada utilizando-se a Equação 1, proposta por Li et al. (2008).

$$[ER_{NH_3}]_t = \sum_{e=1}^2 [Q]_t \left([CNH_3]_e - \frac{\rho e}{\rho i} [CNH_3]_i \right) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{W_m}{V_m} \cdot \frac{T_{std}}{T_a} \cdot \frac{P_a}{P_{std}} \quad (1)$$

Em que:

$[ER_{NH_3}]_t$: Taxa de emissão de NH_3 da instalação em um instante t ($g_{NH_3} s^{-1}$);

$[Q]$: Taxa de ventilação média no instante t a uma dada temperatura e pressão ($m^3 s^{-1}$);

$[CNH_3]_e$: Concentração média de NH_3 no ar externo (ppmv);

$[C_{NH_3}]_i$: Concentração média de NH_3 no ar (ppmv);

ρ_e, ρ_i : Massa específica do ar no exterior e interior da instalação (kg de ar seco. m^{-3} ar úmido);

W_m : Massa molar de NH_3 (17,031 $g\ mol^{-1}$);

V_m : Volume molar de NH_3 à temperatura e pressão padrão (24,14 $L\ mol^{-1}$);

T_{std} : Temperatura padrão ($^{\circ}C + 273,12$) K;

T_a : Temperatura absoluta do ar ambiente ($^{\circ}C + 273,12$) K;

P_a : Pressão atmosférica local (kPa);

P_{std} : Pressão barométrica padrão (101,325 kPa).

A concentração de amônia determinada pela PMU foi baseada nas medições dos sensores eletroquímicos de NH_3 e na taxa de ventilação (Q) determinada pelo método de balanço de CO_2 , no qual a produção de calor metabólico (THP) estava relacionada com o consumo de oxigênio (O_2) e a produção de dióxido de carbono (CO_2) das aves no processo de respiração, conforme a Equação 2, proposta por Xin et al. (2009).

$$THP = 16,18 \cdot O_2 + 5,02 \cdot CO_2 \quad (2)$$

Em que:

THP: Produção total de calor animal (W);

O_2 : Consumo de oxigênio animal ($mL \cdot s^{-1}$);

CO_2 : Produção de CO_2 animal ($mL \cdot s^{-1}$).

Sabendo-se que o coeficiente de respiração (RQ) é a razão entre a produção de CO_2 e o consumo de O_2 e substituindo-se na Equação 2, obtém-se a taxa de produção de CO_2 , conforme Equação 3.

$$CO_2 = THP \times \left(\frac{16,18}{RQ} + 5,02 \right)^{-1} \quad (3)$$

A taxa de produção de calor metabólico (THP) foi estimada (Equação 4) adotando-se o coeficiente de respiração de 0,90 para frangos de corte (XIN et al., 2003). A massa das aves foi estimada para todos os dias do ciclo produtivo em função de três mensurações realizadas nos dias 1, 21 e 42 dias de idade das aves.

$$THP = 10,62 \cdot m^{0,75} \quad (4)$$

Em que:

m: Massa das aves (kg).

A taxa de ventilação (Q) foi obtida substituindo-se a taxa de produção de CO₂ da Equação 3 e as concentrações, interna e externa, de CO₂ obtidas com a PMU, na Equação 5.

$$Q = \frac{CO_2}{[CCO_2]_i - [CCO_2]_e} \quad (5)$$

Em que:

[CCO₂]_i e [CCO₂]_e são, respectivamente, as concentrações médias de CO₂ do ar no interior e exterior da instalação em ppmv.

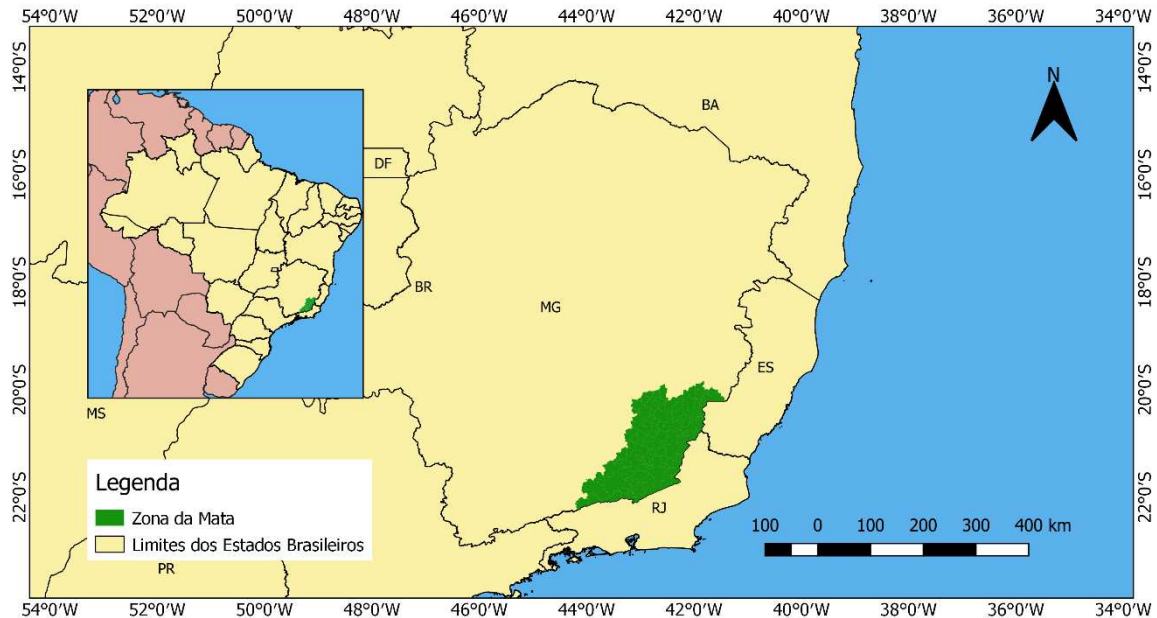
Os dados de pressão atmosférica necessários no cálculo da taxa de emissão de amônia (Equação 1) foram obtidos da estação meteorológica automática A510 de Viçosa-MG. Por fim, substituindo-se o valor da taxa de ventilação (Q) na Equação 1, e com os dados de concentração de NH₃ (internos e externos) obtidos com a PMU, determinou-se a taxa de emissão de amônia durante todo o ciclo produtivo nos diferentes horários do dia. O fator de emissão de amônia (g NH₃.ave⁻¹.dia⁻¹) foi determinado em função da integral da equação ajustada para a taxa de emissão de amônia durante os 42 dias do ciclo produtivo.

2.2 Condução do inventário de emissão de amônia na Zona da Mata Mineira

Para condução do inventário de emissão de amônia foi realizado o mapeamento da produção avícola da Zona da Mata Mineira, localizada no sudeste do estado de Minas Gerais, na divisa com os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo (Figura 3). Para este mapeamento foi utilizado o software livre QGIS versão 3.1415, desenvolvido pela Open Source Geospatial Foundation (OSGEO, 2020). Para composição das tabelas de atributos foram utilizados os dados do último censo agropecuário realizado no ano de 2017 pelo IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) com os dados relacionados ao total de cabeças de frango alojados e ao número de estabelecimentos produtores de frangos de corte em cada

município. As camadas utilizadas para a confecção dos mapas foram obtidas no Portal de Mapas do IBGE.

Figura 3 - Mapa da localização da Zona da Mata Mineira em Minas Gerais e no país



Elaboração: Matheus Dias Oliveira
 Fonte: IBGE (2017)
 Sistema de coordenadas geográficas: Datum SIRGAS 2000

Fonte: Autores.

2.3 Análises Estatísticas

Os dados foram analisados estatisticamente de acordo com um delineamento inteiramente casualizado, sendo os dias do ciclo produtivo considerados como tratamentos e os horários do dia considerados como repetições. Os dados foram submetidos a análise de regressão, utilizando o comando *lm* disponível no pacote *base* do R (RSTUDIO TEAM, 2020), sendo testados modelos de primeira e segunda ordem. Os parâmetros dos modelos ajustados foram considerados significativos quando $P < 0.05$ e a escolha entre os modelos de primeira ou segunda ordem foi realizada através de Critério de Informação de Akaike (AIC), sendo utilizado como modelo final aquele que retornou o menor valor de AIC.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

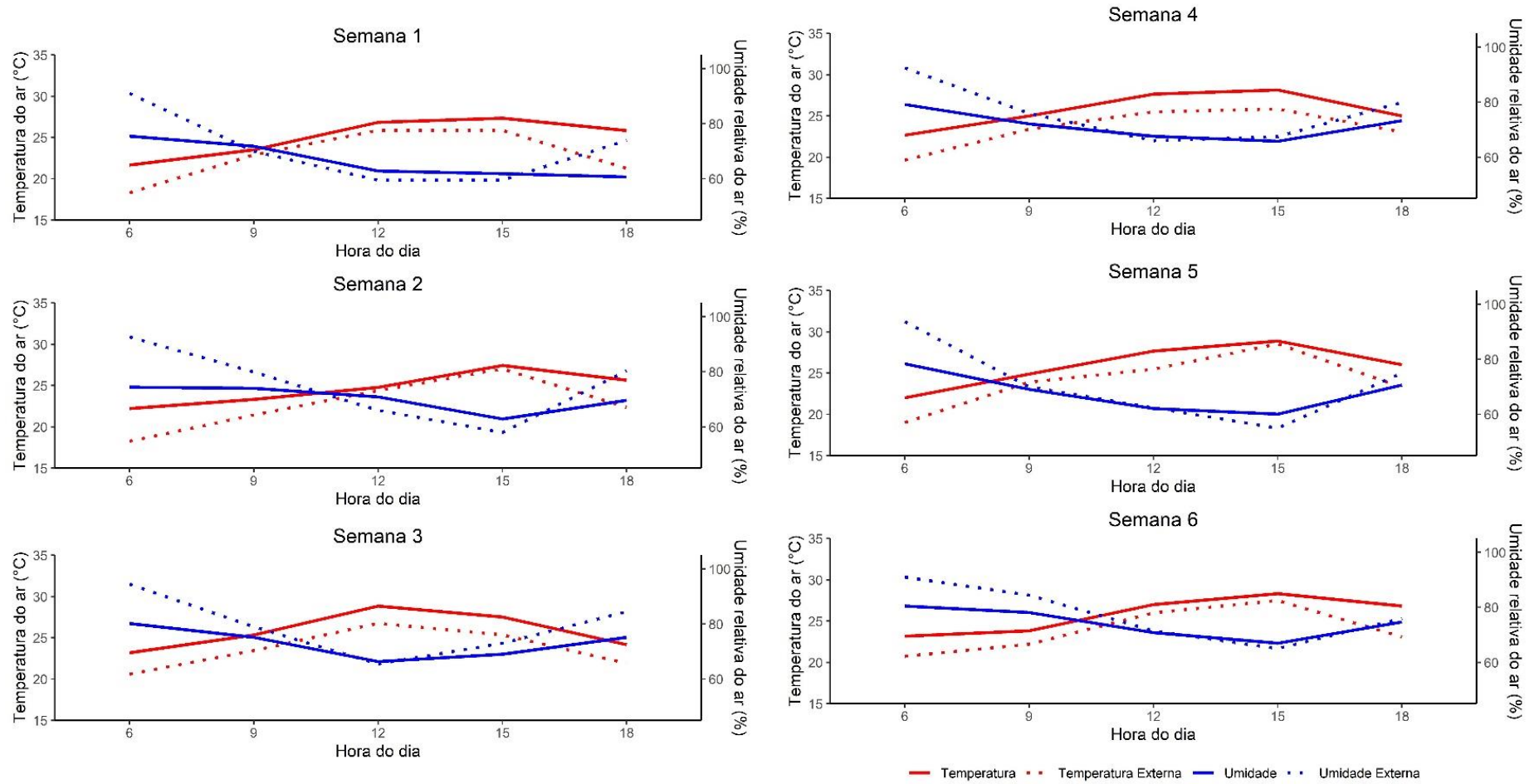
3.1 Ambiente térmico

O ambiente térmico da instalação foi caracterizado em função dos valores de temperatura e umidade relativa do ar, mensurados no interior e no exterior da instalação durante as seis semanas do ciclo produtivo. Durante a fase de aquecimento, na primeira e segunda semana de criação dos animais observou-se que os valores de temperatura do ar, entre as 6:00 e 18:00 horas, no interior foi superior aos valores de temperatura do ar no exterior da instalação (Figura 4). Os valores de umidade relativa do ar (Figura 4), no interior da instalação, permaneceram entre 60 e 80%, nas duas primeiras semanas do ciclo, valores esses próximos ao valor de até 70%, recomendado pelo manual da linhagem dos animais (COBB, 2018). Por outro lado, os valores de temperatura do ar observados na primeira e segunda semana de criação estiveram abaixo dos valores de temperatura do ar recomendados de 30°C na primeira semana e 28°C na segunda semana (COBB, 2018).

Cassuce et al. (2013), analisaram o desempenho zootécnico de frangos de corte em câmaras climáticas nos primeiros 21 dias de criação. A temperatura que proporcionou melhor desempenho na primeira semana de criação foi de 30°C, na segunda, de 27°C, e na terceira, de 24°C. Comparando com este estudo, as temperaturas do ar na segunda e terceira semanas se adequam às condições de bem estar animal. Porém, vale ressaltar que as medições de temperatura no interior da instalação realizadas neste trabalho foram conduzidas a uma certa distância das campânulas de aquecimento, utilizadas nas duas primeiras semanas, as quais os animais estavam mais próximos durante esta etapa de criação.

Arcila et al. (2014), constataram que o ganho de peso de frangos de corte em câmaras climáticas nas últimas 3 semanas de criação decresce de forma quadrática com o aumento da temperatura a partir dos 28 °C. Comparando com este estudo, as temperaturas do ar na quarta, quinta e sexta semanas, nos horários entre 12:00 e 15:00 estiveram no limite entre as faixas adequadas de conforto térmico e de estresse térmico das aves.

Figura 4 - Temperatura e umidade relativa do ar durante as seis semanas do ciclo produtivo em função das horas do dia



Fonte: Autores.

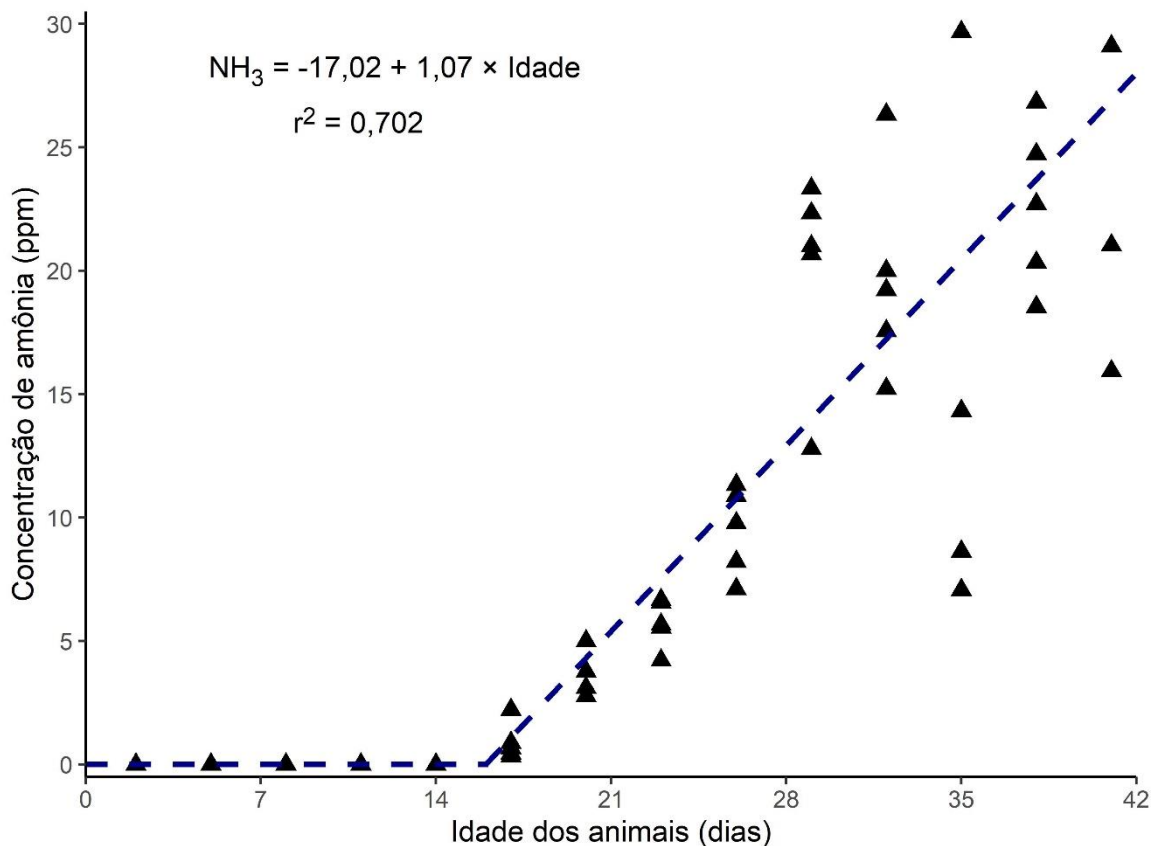
Após a fase de aquecimento, a partir da terceira semana de criação dos animais, observa-se, na Figura 4, que os valores de temperatura do ar no interior da instalação apresentaram o mesmo comportamento dos valores de temperatura do ar externo, porém com valores internos superiores aos valores externos. Enquanto os valores de umidade relativa do ar no interior da instalação estiveram muito próximos aos valores observados no ambiente externo.

Segundo Osorio Hernandez (2012), em instalações com tipologia construtiva híbrida, ou seja, com sistema de ventilação natural e mecanizado, a temperatura por si só não exprime a verdadeira sensação térmica das aves. Outros fatores devem ser observados em conjunto com a temperatura, como a umidade relativa do ar e a velocidade do ar. Por esta razão, o acionamento dos ventiladores foi realizado a partir do 14º dia, especialmente durante o dia, em função do comportamento apresentado pelos animais e dos valores de temperatura do ar observados nessa fase principalmente nos horários mais quentes do dia. Por isso, especialmente nas duas últimas semanas de criação houve maior necessidade de acionamento do sistema de ventilação diariamente para proporcionar o adequado arrefecimento no ar, visando atender aos critérios de conforto térmico animal.

3.2 Qualidade do ar

A qualidade do ar na instalação foi caracterizada em função das concentrações de amônia, dióxido de carbono e poeira durante todo o ciclo produtivo, mensurados em diferentes horários. Até o 15º dia de criação dos animais, a concentração de amônia na instalação foi nula, conforme observado por diversos autores (CALVET et al., 2011; GATES et al., 2008; MENDES et al., 2014; OGINK et al., 2013; OSORIO HERNANDEZ et al., 2016; OSORIO-SARAZ et al., 2017) quando é utilizada cama nova. A partir do 16º dia de criação foi ajustada uma equação de regressão para a concentração de amônia em função da idade dos animais (Figura 5), apresentando R^2 ajustado de 70,2%. Essa equação utilizou o modelo do tipo *Broken Line*, que criou um platô de concentração igual a 0 do primeiro ao 15º dia e um modelo linear ($P < 0,001$) gerado a partir dessa data até o final do ciclo.

Figura 5 - Concentração de amônia em função da idade dos animais



Fonte: Autores.

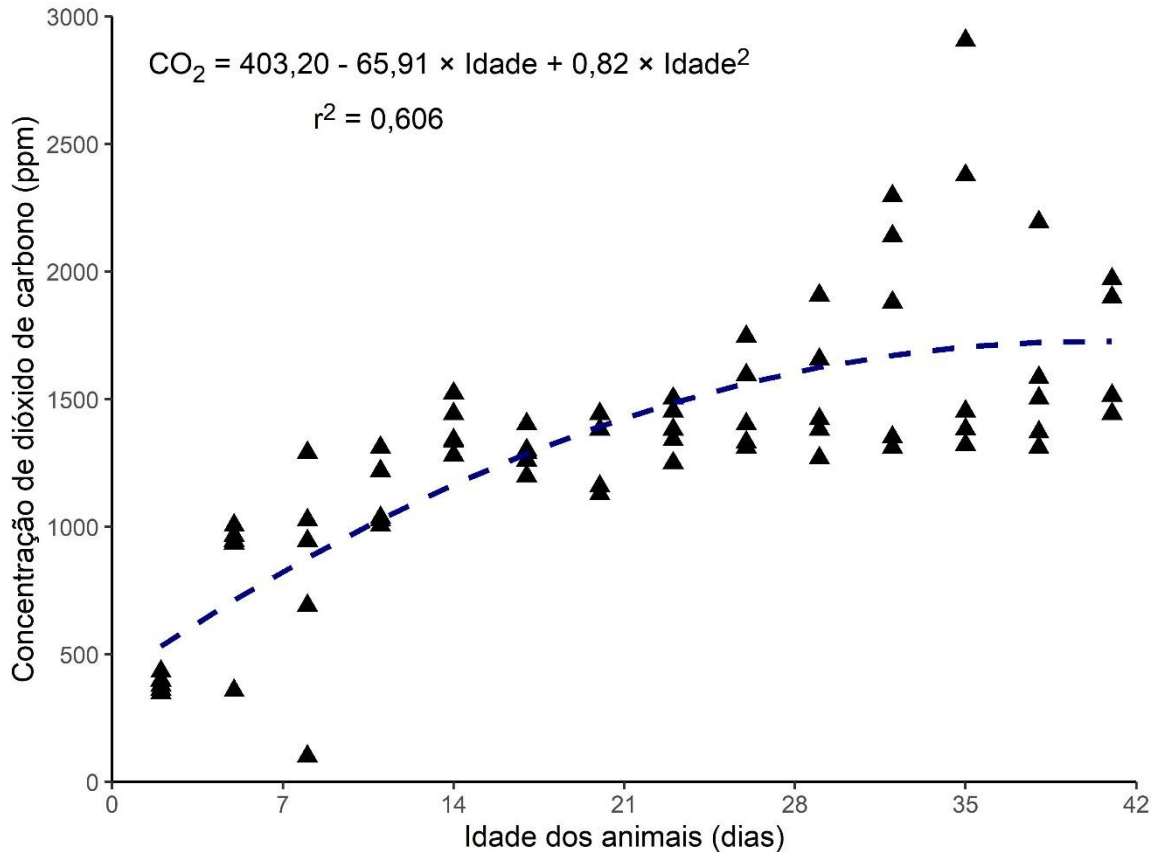
Esse aumento linear na concentração de amônia após o 16º dia de idade dos animais já era esperado, uma vez que a medida que os animais crescem eles passam a depositar maior quantidade de resíduos na cama, aumentando o teor de nitrogênio amoniacal. Além disso, as condições ambientais nas últimas semanas do ciclo tendem a favorecer a maior geração de amônia na instalação, dadas as condições do ar (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar) e às características da cama (temperatura e umidade). Por volta dos 35 dias ocorreu uma maior dispersão dos dados que pode ser justificada pela ocorrência de maior taxa de ventilação na instalação nos diferentes horários de coleta dos dados. Isso devido as maiores oscilações na temperatura do ar que demandaram maior frequência de utilização dos ventiladores para manter o conforto térmico dos animais. Nessa fase foram observadas temperaturas do ar elevadas, características de verão.

Amaral et al. (2007) determinaram as concentrações de amônia em instalações avícolas variando entre 0 a 52,7 ppm, durante todo o ciclo produtivo, utilizando a PMU. Osorio Hernandez (2012) determinaram as concentrações de amônia em instalações para aves de corte

com sistema de criação em cama aviária reutilizada pela quinta vez, onde as concentrações máximas alcançaram os 60 ppm. No presente estudo, as concentrações máximas mensuradas giraram em torno de 30 ppm, valor este acima do recomendado para a saúde dos animais e dos trabalhadores. De acordo com a NR 15 (ABNT, 1978) o limite de concentração de amônia para uma jornada de trabalho de 48 horas semanais é de até 20 ppm. No manual de manejo de frangos de corte da linhagem *Cobb* (COBB, 2018) é estabelecido o limite máximo de 10 ppm de exposição contínua dos animais a amônia nas instalações. Observa-se pela Figura 5, que somente nas três primeiras semanas os valores de concentração de amônia estiveram dentro do limite recomendado de até 10 ppm de amônia. Após o 21º dia os valores de concentração de amônia aumentaram linearmente chegando a 30 ppm. Concentrações de amônia acima do recomendado podem causar problemas de cegueira aos animais e tornar o ambiente danoso à saúde dos trabalhadores, conforme observado por Osorio Hernandez (2012).

Os valores de concentração de CO₂ apresentaram comportamento crescente quadrático conforme o modelo ajustado (Figura 6). O modelo quadrático gerado para a concentração de CO₂ apresentou R² igual a 60,6% ($P < 0,001$). No presente estudo, só foram registradas concentrações acima de 2000 ppm nas duas últimas semanas de criação. No decorrer do experimento, os valores de concentração de CO₂ estiveram abaixo do limite máximo estipulado, de 3000 ppm, para garantir as condições de bem estar animal no interior de instalações para criação de aves de corte (COBB, 2018). Menegali et al. (2009) mensuram as concentrações de CO₂ em instalações para frangos de corte com sistema de ventilação por pressão positiva e negativa. As concentrações médias de dióxido de carbono descritas variaram entre 1602,3 ppm e 1964,7 ppm para o galpão de pressão negativa e 2090,3 ppm e 2377,9 ppm para o galpão de pressão positiva.

Figura 6 - Concentração de dióxido de carbono (CO₂) em função da idade dos animais



Fonte: Autores.

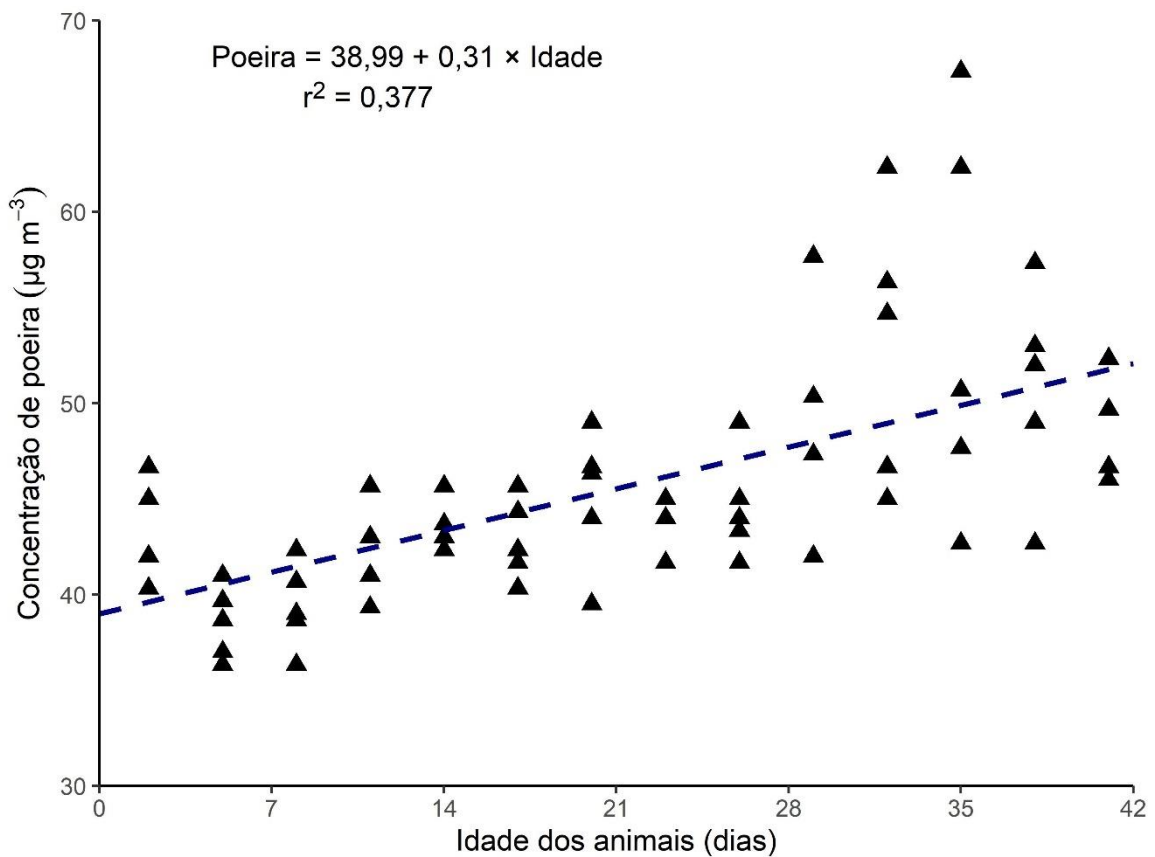
Os valores de concentrações de CO₂ aumentaram conforme o aumento da idade dos animais, apresentando relação direta com a massa deles. Ou seja, quanto maior a massa dos animais, maiores as taxas de produção de calor metabólico (THP) e, conseqüentemente, maiores os valores de concentrações de CO₂. Estes resultados estão de acordo com o observado por Wheeler et al., (2006), onde a taxa de ventilação, calculada em função da produção e de CO₂, aumentou conforme o aumento na idade das aves.

Neste estudo, a massa média dos animais variou de 42 g, no 1º dia de criação, a 997 g, no 21º dia de criação, até 3,03 kg aos 42 dias de vida. O comportamento dos valores de concentrações de dióxido de carbono observados neste estudo está de acordo com estudos conduzidos por Osorio Hernandez, (2012), onde a concentração de CO₂ apresentou tendência de crescimento de acordo com o aumento da massa dos animais.

Principalmente nos últimos dias do ciclo observa-se, pela Figura 6, uma maior dispersão dos valores de CO₂, dada em função da maior taxa de ventilação na instalação em determinados horários do dia para manter uma condição de conforto térmico aos animais.

Os valores da concentração de poeira apresentaram comportamento linear em função da idade dos animais (Figura 7). Entretanto foi observado um valor de R² igual a 37,7%, considerado de médio a baixo, ou seja, apenas 37,7% da variação é explicada pelo modelo gerado. Tal fato deve-se a elevada dispersão dos valores nos diferentes horários, devido a maior utilização do sistema de ventilação para promover conforto térmico aos animais principalmente nessa fase de criação, por volta dos 35 dias do ciclo produtivo.

Figura 7 - Concentração de poeira em função da idade dos animais



Fonte: Autores.

Os valores máximos de concentração de poeira encontrados neste estudo foram menores que 70 µg.m⁻³, valores estes consideravelmente abaixo do limite máximo recomendado de 3,4 mg.m⁻³ (COBB, 2018) para exposição contínua dos animais nas instalações. Esses baixos valores de concentração de poeira devem-se a menor área de cama em relação à área do galpão experimental (12m x 27m). Como foram utilizadas 64 boxes, a área de cama aviária

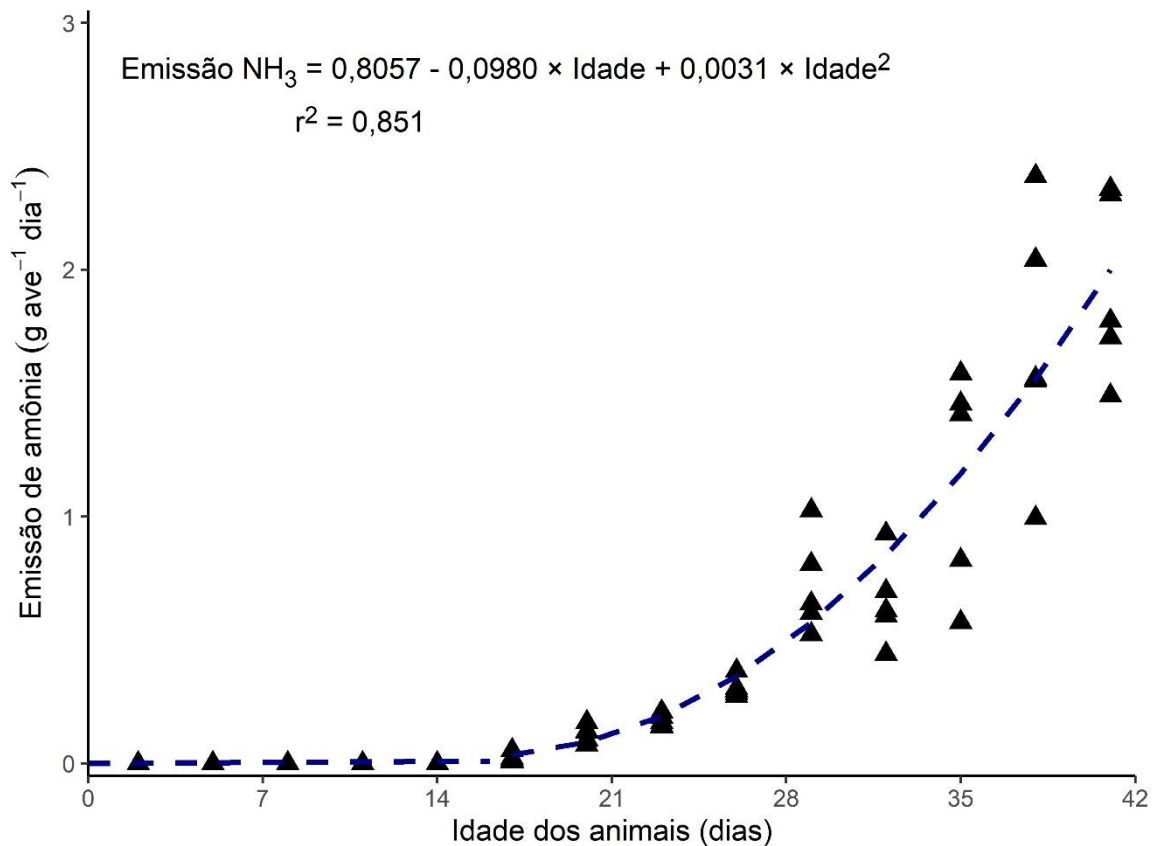
correspondia a 40% de toda a área do galpão. Nääs et al. (2007) mensuraram a concentração de poeira em galpões convencionais e tipo túnel, ambos possuindo 12m x 120m. A densidade animal em cada galpão era de 13 aves/m² para o convencional e 18 aves/m² para o tipo túnel. Os valores determinados de poeira chegaram ao valor máximo de 2,50 mg.m³ para o convencional e 2,26 mg.m³ para o tipo túnel, ambos abaixo dos limites máximos recomendados.

Conforme observado na Figura 4, nas duas últimas semanas de criação houve necessidade de acionamento do sistema de ventilação diariamente para proporcionar o arrefecimento das condições térmicas na instalação. Porém, esta prática causou uma grande dispersão nos dados acerca da qualidade do ar (Figuras 5, 6 e 7), visto que estes parâmetros (amônia, dióxido de carbono e poeira) são determinados em função da concentração de um componente presente no ar e que depende diretamente do fluxo de ar no local. Além disso, de acordo com Zhao et al. (2016), as coletas de parâmetros de qualidade do ar, realizadas próximas aos ventiladores tendem a ser mais incertas em relação às coletas realizadas em pontos mais distantes dos ventiladores.

3.3 Fator de emissão de amônia

Os valores de emissão de amônia em função da idade dos animais apresentaram comportamento quadrático conforme descrito pelo modelo de regressão (Figura 8), com R² igual a 85,1% e $P < 0,001$. Até o 15º dia do ciclo produtivo os valores de emissão de amônia foram nulos. Por isso, nessa equação utilizou-se o modelo do tipo *Broken Line*, para criar um platô de emissão igual a 0 do primeiro ao 15º dia.

Figura 8 - Emissão de amônia em função da idade dos animais



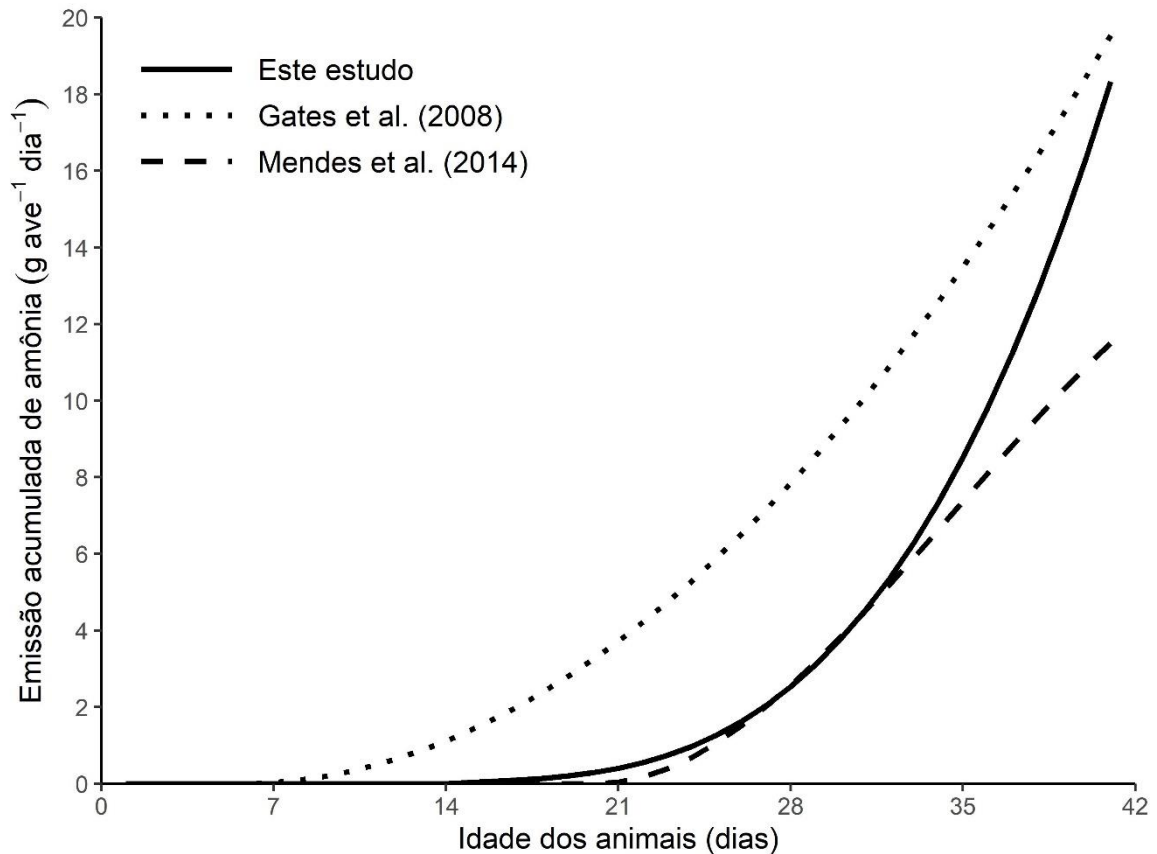
Fonte: Autores.

A partir da determinação da integral do modelo de regressão da emissão de amônia em função da idade dos animais (Figura 8), obteve-se o valor acumulado de 17,72 gNH₃.ave⁻¹ para os 42 dias do ciclo produtivo, sendo o fator de emissão diário de 0,422 gNH₃.ave⁻¹.dia⁻¹. Osorio-Saraz et al. (2017) determinaram o fator de emissão de amônia em instalações avícolas com sistemas de ventilação natural e mecanizado, sendo de 0,35 ± 0,18 gNH₃.ave⁻¹.dia⁻¹ para instalações mecanizadas e 0,30 ± 0,23 gNH₃.ave⁻¹.dia⁻¹ para instalações de ventilação natural. Mendes et al. (2014) determinaram um fator de emissão de amônia de 0,27 ± 0,07 gNH₃.ave⁻¹.dia⁻¹ em instalações de frangos de corte com sistema de ventilação natural. Outros fatores de emissão de amônia para instalações para frangos de corte encontrados na literatura são descritos por Misselbrook et al. (2000), Hutchings et al. (2001) e Zhao et al. (2016), sendo eles respectivamente, de 0,52, 0,55, e 0,72 ± 0,13 gNH₃.ave⁻¹.dia⁻¹. Assim, o fator de emissão de amônia obtido neste estudo corrobora com outros autores que desenvolveram estudos em condições semelhantes.

Na Figura 9 encontra-se a representação do modelo de emissão de amônia determinado no presente estudo e outros modelos desenvolvidos por Gates et al. (2008) e Mendes et al.

(2014), para instalações para frangos de corte, porém considerando-se um ciclo produtivo de 42 dias.

Figura 9 - Modelos de emissão de amônia acumulada em função da idade dos animais



Fonte: Autores.

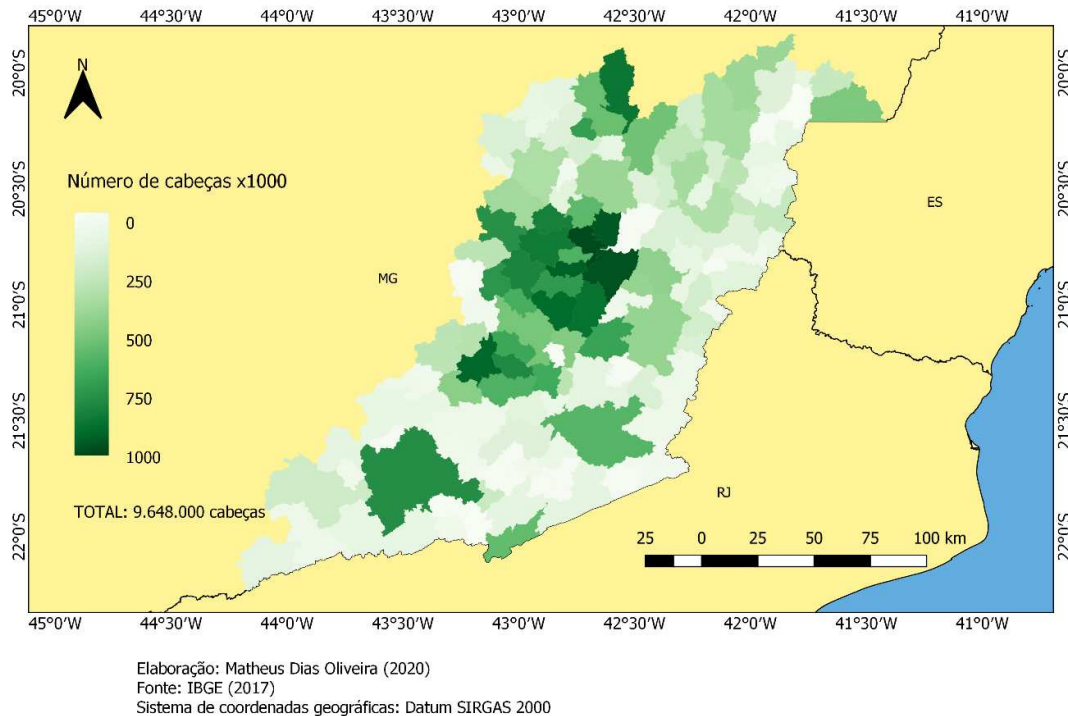
Pelas curvas (Figura 9) observa-se, nos três modelos, um aumento da emissão de amônia ao longo do ciclo produtivo, sendo que os valores observados nesse estudo estiveram entre os valores encontrados pelos outros autores. Vários fatores relacionados a instalação e ao manejo podem levar as diferenças encontradas na emissão acumulada de amônia, como o tipo de cama e o ciclo de utilização, o período de revolvimento da cama, o teor de proteína utilizado na ração e o sistema de ventilação adotado.

3.4 Inventário de emissão de amônia na Zona da Mata Mineira

De acordo com censo agropecuário 2017 estimou-se um total de 9.648.000 cabeças de frangos de corte na Zona da Mata Mineira. Pela Figura 10 constatamos que a maior parte da

produção se concentra na região central e norte, com algumas cidades se destacando ao sul como Juiz de Fora e Leopoldina.

Figura 10 - Distribuição da população de frangos de corte na Zona da Mata Mineira



Fonte: Autores.

Na Tabela 1 encontram-se os 10 municípios da Zona da Mata Mineira com maior produção de frangos de corte e as emissões diárias e anuais estimadas para esses municípios. Todos eles localizados no núcleo produtivo observado na Figura 10 onde se concentra a maior parte da produção avícola da Zona da Mata Mineira.

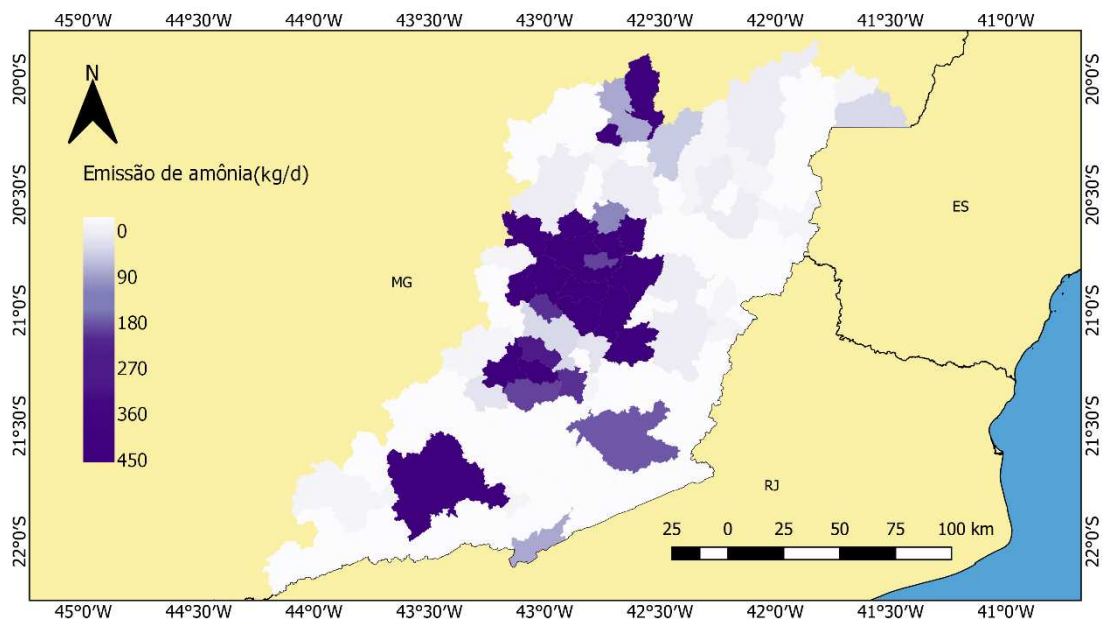
Tabela 1 - Municípios com maior produção de frangos de corte na Zona da Mata Mineira

Município	População de frangos de corte	Emissão diária (kg NH ₃ .d ⁻¹)	Emissão anual (t NH ₃ .ano ⁻¹)
São Miguel do Anta	1.083.000	457,03	166,81
Ervália	951.000	401,32	146,48
Canaã	838.000	353,64	129,08
Coronel Pacheco	689.000	290,79	106,13
Rio Pomba	537.000	226,61	82,71
Visconde do Rio Branco	493.000	208,05	75,94
Guiricema	469.000	197,92	72,24
São Pedro dos Ferros	449.000	189,48	69,16
Viçosa	405.000	170,91	62,38
Teixeiras	356.000	150,23	54,83

Fonte: IBGE (2017).

Relacionando o fator de emissão de amônia determinado no presente estudo (Figura 8), com os dados quantitativos do alojamento de frangos de corte (Figura 10), foram elaborados mapas das estimativas diária (Figura 11) e anual (Figura 12) da emissão de amônia pela avicultura de corte na Zona da Mata Mineira.

Figura 11 - Mapa da estimativa da emissão de amônia diária ($\text{kg}\cdot\text{dia}^{-1}$) pela avicultura de corte na Zona da Mata Mineira



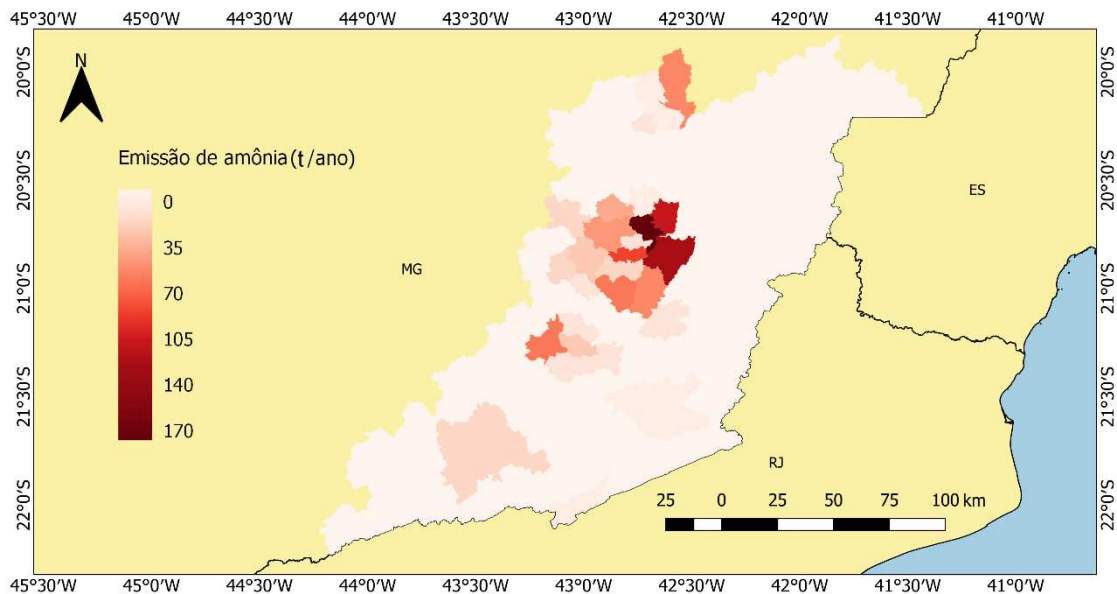
Elaboração: Matheus Dias Oliveira (2021)
 Fonte: IBGE (2017)
 Sistema de coordenadas geográficas: Datum SIRGAS 2000

Fonte: Autores.

Considerando-se o total de 9.648.000 cabeças de frangos de corte alojados na Zona da Mata Mineira e o fator de emissão diário obtido experimentalmente de $0,422 \text{ gNH}_3\cdot\text{ave}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$, estimou-se a emissão de amônia acumulada por ano pela avicultura de corte na Zona da Mata Mineira, de $1,49 \text{ kT NH}_3\cdot\text{ano}^{-1}$. Outros inventários para emissão anual de amônia proveniente da avicultura de corte conduzidos com fatores de emissão de amônia semelhantes aos encontrados no presente estudo estimaram valores totais anuais consideravelmente maiores devido a populações de frangos de corte alojados serem relativamente superiores ao total alojado na Zona da Mata Mineira. Segundo esses inventários, a emissão de amônia anual foi de $43 \text{ kT NH}_3\cdot\text{ano}^{-1}$ no Reino Unido (MISSELBROOK et al., 2000), $5,3 \text{ kT NH}_3\cdot\text{ano}^{-1}$ na Dinamarca (HUTCHINGS et al., 2001), $8,41 \text{ kT NH}_3\cdot\text{ano}^{-1}$ (OSORIO-SARAZ et al., 2017) no

Departamento de Antioquia, Colômbia e 11,7 kT $\text{NH}_3\cdot\text{ano}^{-1}$ no estado do Kentucky, EUA (GATES et al., 2008).

Figura 12 - Mapa da estimativa da emissão de amônia anual ($\text{t}\cdot\text{ano}^{-1}$) pela avicultura de corte na Zona da Mata Mineira



Elaboração: Matheus Dias Oliveira (2021)
 Fonte: IBGE (2017)
 Sistema de coordenadas geográficas: Datum SIRGAS 2000

Fonte: Autores.

Como o total de amônia emitida depende diretamente do total de animais alojados, a distribuição da emissão de amônia apresentada nos mapas das Figuras 11 e 12, já era esperada uma vez que a maior parte do alojamento de frangos de corte concentra-se na região central e norte, com apenas algumas cidades se destacando ao sul como Juiz de Fora e Leopoldina, conforme observado na Figura 10. Segundo as estimativas do presente estudo, na Zona da Mineira a região central seria a que demandaria maior atenção em relação a amônia emitida anualmente pela produção de frangos de corte, pois é onde são observados os maiores valores que podem chegar a 170 toneladas de amônia emitida por ano.

3.5 Possíveis Fontes de Incertezas

A principal fonte de incertezas para os valores apresentados de taxa de emissão de amônia são o fato de que as mensurações, para determinação do fator de emissão, foram conduzidas apenas em uma instalação experimental da UEPE – Produção e Nutrição de Aves. Ou seja, nesse estudo assumiu-se que as instalações avícolas comerciais da Zona da Mata Mineira possuísem as mesmas características de tipologia construtiva, manejo dos animais, linhagem dos animais, sistema de ventilação e utilização da cama.

O uso da PMU de maneira pontual, mesmo sendo um método de monitoramento contínuo, pode contribuir para as incertezas em relação à taxa de emissão de amônia calculada. Outras fontes de incertezas são as variações na taxa de ventilação ao longo do tempo e as coletas nos pontos de amostragem mais próximos dos ventiladores, aumentando a incerteza acerca das concentrações de NH_3 .

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fator de emissão de amônia em instalação híbrida para avicultura de corte, no período da primavera, entre os meses de outubro e dezembro, localizado na Zona da Mata Mineira foi calculado como $0,422 \text{ gNH}_3.\text{ave}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.

A produção avícola da Zona da Mata Mineira foi mapeada, sendo 9.648.000 cabeças de frangos de corte alojados.

Um inventário da emissão de amônia proveniente da avicultura de corte na Zona da Mata Mineira foi conduzido e estimada uma emissão anual de $1,49 \text{ kT NH}_3.\text{ano}^{-1}$.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Processo 421860/2018-9 e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NR 15 Atividades e Operações Insalubres**. Agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. Rio de Janeiro, 114p, 1978.
- ABPA. **Relatório Anual - Associação Brasileira de Proteína Animal - ABPA**. São Paulo: [s.n.], 2020.
- AMARAL, M. F. P. et al. Comparison between two systems for ammonia emission monitoring in broiler houses. In: **International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, 16-19 September 2007, Broomfield, Colorado**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 20, 2007.
- ARCILA, J. C. P. et al. **Desempenho zootécnico e fisiológico de frangos de corte, na fase final de crescimento, submetidos a diferentes níveis de estresse por calor**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.
- BITTMAN, S. et al. Weekly agricultural emissions and ambient concentrations of ammonia: Validation of an emission inventory. **Atmospheric Environment**, v. 113, p. 108-117, 2015.
- CALVET, S et al. Characterization of gas emissions from a Mediterranean broiler farm. **Poultry Science**, v. 90, n. 3, p. 534-542, 2011.
- CASSUCE, D. C. et al. Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 28-36, 2013.
- COBB. **Manual de Manejo de Frangos de Corte**. [S.l: s.n.], 2018.
- EPA. National Emission Inventory — Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Draft Report. **Draft Report**, p. 131, 2004.
- FIGUEIREDO, A. M. et al. Integração na criação de frangos de corte na microrregião de Viçosa - MG: Viabilidade econômica e análise de risco. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 4, p. 713-730, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032006000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 30 jan. 2021.
- FONSECA, A. V. V.; BRAGA, M. J. Dependência produtiva dos avicultores. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 62-73, 2017.
- GATES, R. S. et al. U.S. broiler housing ammonia emissions inventory. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 14, p. 3342-3350, 2008.
- GROOT KOERKAMP, P. W. G. et al. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, n. 1, p. 79-95, maio 1998.

HAYES, E. T. et al. Odour and ammonia emissions from intensive poultry units in Ireland. *Bioresource technology*, v. 97, n. 7, p. 933-939, 2006.

HERNANDEZ, R. O. Mapeamento, avaliação e modelagem das condições ambientais de aviários de diferentes tipologias durante a fase inicial de crescimento de frangos de corte. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

HUTCHINGS, N. J. et al. A detailed ammonia emission inventory for Denmark. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 1959-1968, 2001.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário: 2017**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2020.

JI, B. et al. Design and performance evaluation of the upgraded portable monitoring unit for air quality in animal housing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 124, p. 132-140, 2016.

LI, H. et al. Ammonia and PM Emissions from a Tom Turkey Barn in Iowa. 2008, St. Joseph, MI, USA: Proceedings of ASABE Annual International Meeting, 2008. p. 14.

MENDES, Luciano B et al. Ammonia emissions from a naturally and a mechanically ventilated broiler house in Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1179-1185, 2014.

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

MISSELBROOK, T. H. et al. Ammonia emission factors for UK agriculture. **Atmospheric Environment**, v. 34, n. 6, p. 871-880, 2000.

NÄÄS, I. A. et al. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 326-335, 2007.

OGINK, N. W. M. et al. Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement. **Biosystems Engineering**, v. 116, n. 3, p. 297-308, 2013.

OSGEO. **Open Source Geospatial Foundation**. . [S.l.]: OSGeo - Open Source Geospatial Foundation. , 2020

OSORIO HERNANDEZ, R. et al. Calidad del aire en galpón avícola con ventilación natural durante la fase de pollitos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 660-665, 2016.

OSORIO-SARAZ, Jairo A et al. An Approach to the Ammonia Inventory in the Poultry Production in Colombia: Antioquia Case. **Chemical Engineering Transactions**, v. 58, p. 799-804, 2017.

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

RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development for R. RStudio**. . Boston, MA: PBC. , 2020

STARMANS, D. A. J.; VAN DER HOEK, K. W. **Ammonia the case of The Netherlands**. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2007.

VELTHOF, G. L. et al. A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands. **Atmospheric Environment**, v. 46, p. 248-255, jan. 2012.

VILELA, M. O. et al. Nitrogen transformation stages into ammonia in broiler production: sources, deposition, transformation and emission to environment. **Dyna**, v. 87, n. 214, p. 221-228, 2020.

WHEELER, E. F. et al. Ammonia Emissions from Broiler Houses in Pennsylvania During Cold Weather. 2003, Horsens, Jutland, Denmark: [s.n.], p. 4-11, 2003.

WHEELER, E. F. et al. Ammonia emissions from twelve U.S.A. broiler chicken houses. **Transactions of the ASABE**, v. 49, n. 5, p. 1495-1512, 2006.

XIN, H. et al. Ammonia Emissions from U.S. Poultry Houses: Part I—Measurement System and Techniques. 2003, St. Joseph, MI: ASAE Publication Number 701P1403, p. 10, 2003.

XIN, H. et al. Use of CO₂ Concentration Difference or CO₂ Balance to Assess Ventilation Rate of Broiler Houses. **Transactions of the ASABE**, v. 52, n. 4, p. 1353-1361, 2009.

ZHANG, Y. et al. Agricultural ammonia emissions inventory and spatial distribution in the North China Plain. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 490-501, 2010.

ZHAO, L. et al. Ammonia concentrations and emission rates at a commercial poultry manure composting facility. **Biosystems Engineering**, v. 150, p. 69-78, 2016.

CONCLUSÕES GERAIS

A qualidade do ar no interior das instalações avícolas é um fator que deve ser observado pelos produtores a fim de proporcionar condições favoráveis à saúde aos animais alojados e aos trabalhadores envolvidos. A amônia presente nas instalações de frangos de corte tem origem na decomposição dos dejetos das aves na cama aviária. Estratégias como o uso de aditivos na cama aviária como o sulfato de alumínio e o sulfato de cobre e a aplicação de uma dieta menos rica em proteínas são algumas práticas que podem contribuir para diminuir as emissões de amônia.

Os resultados de emissão anual de amônia obtidos de inventários realizados na Colômbia, Estados Unidos, Reino Unido, China e Dinamarca, indicam uma emissão de 8,41 kT NH₃ ano⁻¹, 323,65 kT NH₃ ano⁻¹, 43 kT NH₃ ano⁻¹, 0,218 kT NH₃ ano⁻¹ e 5,3 kT NH₃ ano⁻¹ respectivamente.

O fator de emissão de amônia determinado em instalação híbrida para avicultura de corte durante a primavera na Zona da Mata Mineira foi de 0,422 gNH₃.ave⁻¹.dia⁻¹. A produção avícola da Zona da Mata Mineira foi mapeada, totalizando em 9.648.000 cabeças de frangos de corte alojados. Um inventário da emissão de amônia proveniente da avicultura de corte na Zona da Mata Mineira foi conduzido e estimada uma emissão anual de 1,49 kT NH₃.ano⁻¹.

Essas estimativas podem auxiliar no monitoramento e adoção de estratégias de redução das emissões de amônia pelos órgãos governamentais. Entretanto, haverá uma demanda contínua por estudos acerca dos fatores de emissão e de inventários de emissão de amônia gerada pelos diversos setores agrícolas brasileiros.