

FERNANDA CAMPOS DE SOUSA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS MÉTODOS DE DIFUSÃO PASSIVA
E AJUSTE DO MÉTODO SARAZ DE QUANTIFICAÇÃO DE AMÔNIA
GERADA EM INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO ANIMAL ABERTAS OU
HÍBRIDAS**

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*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S725a
2014

Sousa, Fernanda Campos de, 1985-
Análise comparativa entre dois métodos de difusão passiva e ajuste do método Saraz de quantificação de amônia gerada em instalações de produção animal abertas ou híbridas / Fernanda Campos de Sousa. – Viçosa, MG, 2014.
vii, 46f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Amônia - Concentração. 2. Poluição Ar. 3. Método Saraz. 4. Engenharia Agrícola - Inovações. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 661.34

FERNANDA CAMPOS DE SOUSA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS MÉTODOS DE DIFUSÃO PASSIVA
E AJUSTE DO MÉTODO SARAZ DE QUANTIFICAÇÃO DE AMÔNIA
GERADA EM INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO ANIMAL ABERTAS OU
HÍBRIDAS**

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: 19 de fevereiro de 2014.

Luiz Fernando Teixeira Albino

Cecília de Fátima Souza

Jairo Alexander Osório Saraz
(Coorientador)

Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
(Orientadora)

Aos meus pais, que sempre se fizeram presentes mesmo de longe, por todo o amor, confiança e apoio.

Aos meus irmãos, pelo incentivo, por serem exemplos de persistência e disciplina, aos meus sobrinhos pelo carisma, amor e por proporcionarem momentos tão felizes.

Ao Alex, pelo amor, carinho, dedicação, paciência, apoio e por fazer cada dia mais feliz ao seu lado.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me guiou e protegeu em todos os momentos.

Aos meus pais José Luis e Malvina pelo apoio incondicional, confiança, incentivo e amor. Por serem meus exemplos de cidadãos e família.

Aos meus irmãos Patrícia e Maycon por todo o apoio, amor e incentivo e aos meus afilhados Gustavo, Guilherme e Matheus que alegam minha vida.

Ao meu amor, Alex, por todo o companheirismo, carinho, amizade, apoio, incentivo, paciência, ensinamentos, por fazer meus dias mais felizes e ser o meu porto seguro em todos os momentos.

À minha orientadora, Professora Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, pela orientação, ensinamentos, amizade, confiança, apoio e por ter se tornado uma segunda mãe.

Aos meus coorientadores, Professores Jairo Alexander Osorio Saraz e Marcos Oliveira de Paula, pela coorientação, amizade, apoio e ensinamentos.

Ao Prof. Luiz Fernando Teixeira Albino e a Prof.^a Cecília de Fátima Souza por aceitarem o convite para compor a banca de defesa e pela contribuição para o engrandecimento deste trabalho.

Aos amigos do Ambiagro: Juan, Fatinha, Múcio, Keles, Márcia, Luis Gustavo, Maurílio, Luciano, Patrícia, Kelle, Renan, Jadson, Sr. Pedro, em especial ao Maximiliano, Keller e Diogo pela ajuda.

Aos antigos amigos do Ambiagro: Maria Clara, Déborah, Marilú, Marcos, Marcelo, Jairo, Olga, Robson, Lina, Humberto por serem exemplos a seguir.

As amigas da República Estrela: Madu, Mariana, Aline, Tamyres, Stela e D. Luisa, pela amizade, convivência e por toda a ajuda.

À Universidade Federal de Viçosa pela excelência no ensino.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e seus setores, em especial ao AMBIAGRO, por ter se tornado um lar e ao Sr. Simão pelos ensinamentos no laboratório.

Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro a esta pesquisa e concessão de bolsas.

BIOGRAFIA

FERNANDA CAMPOS DE SOUSA, filha de José Luis Campos de Sousa e Malvina Silva de Jesus Sousa, nasceu no dia 06 de março de 1985, em Barroso, Minas Gerais.

Em março de 2007 ingressou no curso de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em novembro de 2012. Em março de 2008 iniciou estágio no AMBIAGRO (Núcleo de Pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais), sendo bolsista de Iniciação Científica PIBIC – CNPq de julho de 2009 a julho de 2012.

Em novembro de 2012 iniciou o curso de mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, concentrando os seus estudos na área de Construções Rurais e Ambiência.

Em fevereiro de 2014 submeteu-se à defesa de dissertação sob a orientação da Prof^ª Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS.....	4
CAPÍTULO 1.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MÉTODOS DE DIFUSÃO PASSIVA.....	11
2.1. Método Ferm Tube.....	12
2.2. Método Saraz.....	12
2.3. Comparação entre os métodos Ferm Tube e Saraz.....	13
3. CONCLUSÕES.....	19
4. REFERÊNCIAS.....	20
CAPÍTULO 2.....	22
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
2.1 Desenvolvimento do equipamento balizador.....	27
2.2 Material poroso absorvente.....	28
2.3 Exautores.....	28
2.4 Sensores eletroquímicos.....	29
2.5 Câmara climática.....	30
2.6 Calibração dos sensores de NH ₃	30
2.7 Funcionamento da caixa balizadora.....	30
2.8 Concentração e taxa de emissão de amônia.....	31
2.9 Delineamento Experimental.....	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4. CONCLUSÕES.....	42
5. REFERÊNCIAS.....	43
CONCLUSÕES GERAIS.....	46

RESUMO

SOUSA, Fernanda Campos de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2014. **Análise comparativa entre dois métodos de difusão passiva e ajuste do método Saraz de quantificação de amônia gerada em instalações de produção animal abertas ou híbridas.** Orientadora: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Coorientadores: Jairo Alexander Osório Saraz e Marcos Oliveira de Paula.

Objetivou-se, com esse estudo, analisar comparativamente dois métodos de fluxo passivo, Saraz e Ferm Tube, para determinação da concentração e taxas de emissão de amônia, em instalações predominantemente abertas, ou híbridas, comumente adotadas em países de climas tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil e de países da América do Sul, bem como o ajuste do método Saraz, pelo desenvolvimento de uma equação de ajuste. A análise comparativa entre os métodos foi realizada com base em revisão de literatura por resultados de pesquisas já existentes, que tratavam de diversas metodologias para quantificação de amônia, em termos dos requisitos: aplicabilidade, custo, eficiência e uso do referido método em condições de campo. O ajuste do método Saraz foi resultado do desenvolvimento de equações de ajuste para medição de concentração e taxa de emissão de amônia em ambientes com diferentes características de concentração do gás e velocidade do ar de exaustão. Para isso foi desenvolvida uma caixa balizadora, dividida em setores; de entrada e saída de gás, sendo que, entre estes ficavam posicionados exaustores e materiais porosos absorventes para fixação da amônia. Por meio da mistura de gases, foram obtidas diferentes concentrações de amônia, monitoradas por sensores, associadas a diferentes velocidades do ar de exaustão. O experimento foi realizado em câmara climática com controle e monitoramento da temperatura e umidade do ar. Diante das análises comparativas realizadas entre os métodos Ferm Tube e Saraz, foi possível observar que, no geral, em condições de ventilação natural, nos galpões abertos, ou híbridos, o método Saraz mostrou-se mais apropriado que o Ferm Tube. No ajuste do método Saraz, além da obtenção da equação de ajuste, foi possível observar que, em velocidades do ar de até $2,4 \text{ m.s}^{-1}$ e em concentrações de amônia de até 25 ppm, o método pode ser usado com confiabilidade, mas, como ocorre com outros métodos, à medida em que ocorre aumento de velocidade do ar e de concentração, sua eficiência diminui.

ABSTRACT

SOUSA, Fernanda Campos de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Comparative analysis of two methods of passive diffusion and adjustment Saraz method of quantification of ammonia generated in animal production facilities opened or hybrid.** Adviser: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Co-advisers: Jairo Alexander Osorio Saraz and Marcos Oliveira de Paula.

The objective, of this study, was to comparatively analyze two methods of passive flow, Saraz and Ferm Tube, to determine the concentrations and emission rates of ammonia in predominantly open or hybrid facilities, commonly adopted in countries of tropical and subtropical climates, as is the case of Brazil and countries in South America as well as the adjustment of Saraz method for developing an adjustment equation. The comparative analysis between the methods was conducted based on literature review results by existing research, which dealt with various methodologies for quantification of ammonia in terms of requirements: applicability, cost, efficiency and use of the method in field conditions. The adjustment of Saraz method, was the result of the development of equations to adjust for measurement of concentration and rate of ammonia emission in environments with different characteristics of the gas concentration and velocity of the exhaust air. To this a box comprising three compartments, divided into sectors been developed; input and output gas, and that between these compartments positioned hoods were porous and absorbent material for fixation of ammonia. By means of the gas mixture, different concentrations of ammonia monitored by sensors associated to different speeds of the exhaust air were obtained. The experiment was conducted in climatic chambers with control and monitoring of temperature and humidity of air. Given the comparative analyzes between methods Ferm Tube and Saraz, it was observed that, in general, under conditions of natural ventilation in the open, or hybrid facilities, the Saraz method was more appropriate than Ferm Tube. In setting Saraz method, in addition to obtaining the adjustment equation, we observed that in air velocities up to 2.4 m.s^{-1} and ammonia concentrations of up to 25 ppm, the method can be used reliably but, as with other methods, to the extent that increasing air velocity and concentration occurs, its efficiency decreases.

INTRODUÇÃO GERAL

Diante do crescimento populacional e de estimativas apontadas pela FAO (2013) é evidente o aumento na demanda mundial por alimentos e, conseqüentemente, a respectiva necessidade de crescimento na produção agrícola. Nesse contexto, o Brasil tem se destacado como um dos maiores produtores de proteína de origem animal do planeta, empreendimento este que se tornou um dos mais relevantes da agroindústria nacional. O país possui liderança mundial consolidada e mantém as posições de terceiro maior produtor e maior exportador mundial de carne de frango (UBABEF, 2013), terceiro maior produtor e quarto maior exportador mundial de carne suína (ABIPECS, 2013), além de possuir o segundo maior rebanho efetivo de bovinos do mundo, assumindo liderança nas exportações de carne e sexta posição na produção de leite (ABIEC, 2013).

Entretanto, para manter a competitividade do setor, vem sendo dada especial atenção ao ambiente de criação animal no Brasil, como um dos elementos mais importantes pelo sucesso do empreendimento no país. O fato é que os fatores ambientais se destacam por interferir diretamente sobre os animais, principalmente durante as fases iniciais e finais de criação, quando estão mais vulneráveis às condições de ambientes inapropriados (MENEGALI et al., 2013). Dentre os fatores do ambiente, certamente aqueles relacionados à qualidade do ar estão entre os mais importantes, afetando as condições de bem estar animal, gerando perdas econômicas consideráveis, redução no desempenho e aumento na mortalidade dos animais (TINÔCO et al., 2004).

Entre os poluentes comumente encontrados no ar, no interior das instalações, a amônia se destaca por ser o gás mais presente em altas concentrações (OWADA et al., 2007; MENEGALI et al., 2009). A amônia influencia diretamente o crescimento de animais jovens, sendo que a exposição ao excesso de amônia pode provocar problemas e doenças, podendo levar ao óbito (OSORIO et al., 2009).

As concentrações máximas de amônia sugeridas por NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health (2001), indicam que os seres humanos podem estar expostos a 25 ppm, por 8 hs de permanência no ambiente, 35 ppm durante 15 min e 50 ppm por 5 min. Para o caso dos animais, recomenda-se um nível máximo de 20 ppm de amônia para exposição contínua no interior das instalações avícolas, durante toda a fase de criação (WATHES et al., 1997).

Adicionalmente aos problemas econômicos nos ambientes de produção animal, vale ressaltar que a amônia é um gás de efeito estufa, gerando conseqüências ambientais indesejáveis quando emitida em altas concentrações (FELIX & CARDOSO, 2012), e por isso, há cerca de duas décadas, tem sido foco de estudos de pesquisadores em diversos países da Europa e América do Norte, onde já se procedeu a realização de inventários sobre emissões de gases, estabelecendo-se seus protocolos. Para os mencionados países, a determinação da emissão de amônia nas estruturas é relativamente simples uma vez que as instalações são fechadas e, portanto, tem-se controle sobre o volume de ar dos abrigos (OSORIO SARAZ et al., 2013).

Nas regiões de climas tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil, a determinação das emissões de amônia é muito mais complexa, uma vez que basicamente todos os abrigos de produção animal são mantidos abertos durante a maior parte do tempo, constituindo-se, assim, sistemas termodinâmicos abertos, ou parcialmente abertos, híbridos, havendo interferências de correntes de vento externas não controláveis (TINOCO & OSORIO, 2008).

Dessa forma dada a necessidade de monitoramento contínuo das emissões de amônia nos galpões abertos de produção animal, em condições de clima quente, que é a realidade do Brasil e de muitos países da América do Sul, bem como a dificuldade de aquisição de equipamentos precisos, devido principalmente aos seus elevados custos alguns estudos vêm sendo desenvolvidos buscando monitoramento das emissões de amônia de forma simples, eficiente e com baixo custo (HERNANDES & CAZETTA, 2001; NICHOLSON et al., 2004; GATES et al., 2005; AMARAL et al., 2007; RONG et al., 2009; OSORIO, 2010; ALVES et al., 2011).

Entre os métodos disponíveis, para determinação das taxas de emissão de amônia em condições de ventilação natural, instalações predominantemente abertas, destacam-se os métodos de fluxo passivo, utilizados para medir poluentes no ar de forma simples, eficiente e com baixo custo além de apresentarem fácil construção e operação, são utilizados sem comprometimento de sua eficiência de absorção (DORE, et al., 2004), entre eles destacam-se: Ferm Tube e Método Saraz ou SMDAE (Saraz Method for Determination of Ammonia Emissions) por serem os mais simples e com os menores custos.

Uma das vantagens dos métodos de fluxo passivo é não necessitar de fonte de energia externa, o que influencia em várias outras características como custo, simplicidade de operação e aplicação em locais remotos com carência de energia (CARLSON, et al., 2013). Como desvantagem desses métodos destaca-se o tempo,

tanto para a amostragem, principalmente em situações de baixas concentrações, assim como o tempo gasto em análises laboratoriais (DORE et al., 2004), além da disponibilidade de laboratórios e dos custos com as análises.

Dentre os mesmos, o método Saraz ressalta-se por sua simplicidade, aplicabilidade e eficiência na determinação de emissão de amônia em instalações abertas para produção animal em geral. Porém, segundo OSORIO (2010), o método precisa ser aperfeiçoado e mais pesquisas devem ser realizadas, em concentrações e situações ambientais diferenciadas com a finalidade de um melhor conhecimento da sua eficiência e aplicabilidade em inventários de gases de efeito estufa como o é o gás amônia.

Assim, existe a necessidade de se avaliar a eficiência do método Saraz em ambientes expostos a diferentes condições ambientais com variações nas velocidades do ar e em concentrações de amônia distintas das estudadas por OSORIO (2010), mas dentro do que eventualmente ocorre em condições de campo, nos aviários e outros abrigos para produção animal. Para isso, torna-se importante buscar uma calibração confiável ou refinamento desse método, que possibilite a quantificação dos valores reais e possíveis de níveis de amônia que o dispositivo coletor empregado no método Saraz é capaz de capturar do ambiente, e, por conseguinte, a taxa de emissão de amônia em um ambiente controlado.

Diante disso, buscou-se traçar uma análise comparativa entre os dois métodos de fluxo passivo, Ferm Tube e Saraz, com base nos resultados já existentes para a determinação da amônia em instalações abertas para produção animal, em termos dos requisitos de aplicabilidade, custo, eficiência e uso em condições de campo. Esta proposição constitui o capítulo I desta dissertação. No capítulo II, a proposta foi o desenvolvimento de uma equação de ajuste para o método Saraz pela avaliação da sua eficiência na quantificação da amônia em ambientes com diferentes características. Os resultados gerais desse estudo são apresentados, portanto, em dois capítulos, assim intitulados:

- Capítulo 1: Análise comparativa entre métodos de difusão passiva para determinação da emissão de amônia em instalações abertas ou híbridas para produção animal.
- Capítulo 2: Ajuste do método Saraz na quantificação de emissões de amônia em instalações para produção animal submetidas a diferentes condições ambientais.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Estatísticas 2012: Balanço da pecuária**. Disponível em: < <http://www.abiec.com.br/index.asp>>. Acessado em: 24 jul. 2013.
- ABIPECS. Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. **Relatório Anual 2012**. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br>>. Acessado em: 24 jul. 2013.
- ALVES, A. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; HERLING, V. R.; TRIVELIN, P. C. O.; LUZ, P. H. C.; ALVES, T. C.; ROCHETTI, R. C.; BARIONI JÚNIOR, W. Métodos para quantificação da volatilização de amônia em solo fertilizado na superfície com uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, 2011.
- AMARAL, M. F. P.; GATES, R. S.; WILKERSON, E. G.; OVERHULTS, D. G.; TINÔCO, I. F. F. Comparison between two systems for ammonia emission monitoring in broiler houses. In: Proceedings, International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, 2007, Broomfield, Colorado. **Anais...** St. Joseph, 2007.
- CARLSON, B. R. **Development of a Passive Surface Flux Meter to estimate spatially distributed nutrient mass fluxes**. Iowa: 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade de Iowa, Iowa City, Iowa, 2013.
- DORE, C. J.; JONES, B. M. R.; SCHOLTENS, R.; HUIS, J. W. H.; BURGESS, L. R.; PHILLIPS, V. R. Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores--part 2: Comparative demonstrations of three methods on the farm. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 3017-3024, 2004.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **FAO Statistical Yearbook 2013 World Food and Agriculture**. FAO, Roma. 2013. ISSN 2225-7373.
- 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. ISSN 0103-5053.
- GATES, R.S.; XIN, H.; CASEY, K. D.; LIANG, Y.; WHEELER, E. F. Method for measuring ammonia emissions from poultry houses. **Journal Applied Poultry**, v. 14, n. 3, p. 622-634, 2005.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J. O. Método simples e acessível para determinar amônia liberada pela cama aviária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p. 824-829, 2001. ISSN 1806-9290.

MENEGALI, I.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; CECON, P. R.; GUIMARÃES, M. C. C.; CORDEIRO, M. B. 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, suppl. 0, p. 984-990, 2009. ISSN 1807-1929.

MENEGALI, I.; TINOCO, I. F. F.; CARVALHO, C. C. S.; SOUZA, C. F.; MARTINS, J. H. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n.1, p. 106-113, 2013. ISSN 1807-1929.

NICHOLSON, F.A.; CHAMBERS, B. J.; WALKER, A. W. Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. **Biosystems Engineering**, v. 89, n. 2, p. 175-185, 2004.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Ministério do Meio Ambiente. **Ontario Air Standards for Ammonia**. 47 p. 2001. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/pe188/7664-41.html>>. Acessado em: 24 jul. 2013.

OSORIO, J. A.; TINOCO, I. F. F.; CIRO, H. J. Ammonia: A review about concentration and emission models in livestock structures. **Dyna**, Medellín, v. 76, n. 1, p. 89-99, 2009.

OSORIO, J. A. **Determinação experimental e modelagem em CFD das taxas de emissões de amônia de camas de aviários e distribuições de concentrações, temperatura e velocidade do ar no interior de galpões avícolas**. Viçosa: 136 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010.

OSORIO SARAZ, J. A.; TINOCO, I. F. F.; GATES, R. S.; PAULA, M. O.; MENDES, L. B. Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. **Dyna**, Medellín, v.80, n.178, p. 51-60, 2013.

OWADA, A. N.; NÃÃS, I. A.; MOURA, I. J.; BARACHO, M. S. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 611-618, 2007.

RONG, L.; NIELSEN, P. V.; ZHANG, G. Effects of airflow and liquid temperature on ammonia mass transfer above an emission surface: Experimental study on emission rate. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 20, p. 4654-4661, 2009.

TINÔCO, I. F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A.; SILVA, J. N.; PUGLIESI, N. L. Placas porosas utilizadas em sistemas de resfriamento evaporativo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.12, n.1, p.17-23, 2004.

TINOCO, I. F. F.; OSORIO, J. A. Control ambiental y la agroindustria de producción animal en el Brasil y America Latina. In: CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA, 2008, Medellín, Colômbia. **Anais...** Medellín, Colômbia, 2008.

UBABEF. União Brasileira de Avicultura. **Relatório Anual 2012**. Disponível em:<http://www.abef.com.br/noticias_portal/exibenoticia.php?notcodigo=2041>. Acessado em: 24 jul. 2013.

WATHES, C. M.; HOLDEN, M. R.; SNEATH, R. W.; WHITE, R. P.; PHILLIPS, V. R. Concentrations and emissions rates of aerial ammonia, nitrous-oxide, carbon-dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. **British Poultry Science**, v. 38, n. 1, p. 14-28, 1997.

CAPÍTULO 1

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS MÉTODOS DE DIFUSÃO PASSIVA PARA DETERMINAÇÃO DA EMISSÃO DE AMÔNIA GERADA EM INSTALAÇÕES ABERTAS OU HÍBRIDAS PARA PRODUÇÃO ANIMAL

RESUMO: O objetivo deste estudo foi comparar os mencionados dois métodos de difusão passiva por poderem se adaptar mais facilmente às instalações que trabalham com ventilação natural durante a maior parte do tempo, com base em resultados de pesquisas já existentes com estudos relacionados a diversas características de ambos os métodos. O método Saraz é uma nova metodologia que vem sendo testada e aperfeiçoada para a operação em ventilação natural (baixas taxas de concentrações e ventilação), e tem apresentado uma eficiência de recuperação de volatilização de amônia maior que 80 %. O método “Ferm Tube” constitui o primeiro amostrador de fluxo passivo, tendo sido principalmente aplicado para determinar as emissões de NH_3 em confinamentos de bovinos. Os amostradores de fluxo passivo são fáceis de construir, transportar e manusear, e necessitam de poucos requisitos de laboratório. No entanto, assim como outros métodos de fluxo passivo, os amostradores de fluxo passivo são baseados na difusão de uma superfície de reação e, por conseguinte, precisam de longos períodos de amostragem. Os dois métodos foram comparados em termos de requisitos, tais como: custo, eficiência, aplicabilidade e uso em instalações abertas. No geral, em condições de ventilação natural, o método Saraz mostrou-se mais apropriado que o método Ferm Tube. Porém a escolha entre um ou outro método vai depender de uma série de condições, como recursos econômicos, disponibilidade de reagentes e laboratórios, tipos de análises possíveis de serem realizadas, além da precisão desejada e grau de dificuldade de operação.

Palavras-chave: Método de fluxo passivo, Saraz, Ferm Tube, instalações animais, emissão de amônia.

COMPARISON BETWEEN TWO METHODS OF PASSIVE DIFFUSION FOR DETERMINATION OF AMMONIA EMISSIONS GENERATED IN OPEN OR INSTALLATIONS FOR HYBRID ANIMAL PRODUCTION

ABSTRACT: The aim of this study was to compare the two methods mentioned by passive diffusion may adapt more easily to facilities that work with natural ventilation for most of the time, based on results from existing surveys related to various characteristics of both studies methods. The Saraz is a new methodology that has been tested and optimized for operation on natural ventilation (low concentrations and ventilation rates), and has shown a recovery efficiency of volatilization of ammonia greater than 80%. The "Ferm Tube" is the first flow and passive sampler, have been mainly used for determining the emission of NH₃ in feedlot cattle. Passive flux samplers are easy to build, transport and handle, and require few laboratory requirements. However, as other methods of passive flow stream passive samplers are based on diffusion of a reaction surface and therefore require long periods of sampling. The two methods were compared in terms of requirements, such as cost, efficiency, applicability and usability in open facilities. Overall, in terms of natural ventilation Saraz the method was more appropriate than Ferm Tube. However, the choice between one or other method will depend on a number of conditions such as economic resources and availability of laboratory reagents, possible types of analysis to be performed, in addition to the desired precision and difficulty of operation.

Key words: Passive flux methods, Saraz, Ferm Tube, poultry houses, ammonia emissions.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre as taxas de emissão de amônia nos ambientes de produção animal tem importância relevante, pois influencia diretamente o crescimento de animais jovens (OSORIO et al., 2009). Além dos prejuízos econômicos nos ambientes de criação animal devidos aos danos a saúde dos animais e dos trabalhadores, vale ressaltar que a amônia é um gás de efeito estufa e, quando emitida para a atmosfera em altas concentrações, gera consequências ambientais indesejáveis (FELIX & CARDOSO, 2012).

As taxas de emissão de amônia nos ambientes de produção animal tem sido objetivo de estudos de pesquisadores em diversos países da Europa e da América do Norte, onde já se procedeu a realização de inventários sobre emissões destes gases, estabelecendo seus protocolos. As concentrações máximas de amônia sugeridas por NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health (2001), indicam que os seres humanos podem estar expostos a 25 ppm, por 8 hs de permanência no ambiente, 35 ppm durante 15 min e 50 ppm por 5 min. Para o caso dos animais, recomenda-se nível máximo de 20 ppm de amônia para exposição contínua no interior das instalações, durante toda a fase de criação (WATHES et al., 1997).

Assim, a maioria das metodologias disponíveis para quantificação de amônia apresenta bom desempenho em instalações fechadas, já para o caso das regiões de climas tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil e dos países da América do Sul, a determinação das taxas de emissão de amônia é mais complexa, uma vez que basicamente todos os abrigos de produção animal são mantidos abertos durante a maior parte do tempo, indicando que os referidos métodos requerem adaptações, além da necessidade de metodologias que trabalhem de forma eficiente a um baixo custo, para serem utilizados nestes casos (OSORIO SARAZ et al., 2013).

Entre os métodos disponíveis para condições de ventilação natural em instalações predominantemente abertas, destacam-se dois métodos de fluxo passivo, a saber: Ferm Tube e Método Saraz ou SMDAE (Saraz Method for Determination of Ammonia Emissions), os quais podem ser utilizados com boa precisão e a custos reduzidos.

Os métodos de fluxo passivo são utilizados para medir poluentes no ar de forma simples, eficiente e com baixo custo além de apresentarem fácil construção e operação. Amostradores de fluxo passivo operam segundo o princípio da microdifusão

onde as moléculas da espécie alvo difundem-se no meio por gradiente de concentração (MOSQUERA, et al., 2005).

Esses métodos são ideais para serem utilizados em instalações dotadas de ventilação natural, onde ocorrem aberturas nas laterais, sem que ocorra comprometimento de sua eficiência de absorção (DORE, et al., 2004). Uma das vantagens dos métodos de fluxo passivo é não necessitar de fonte de energia externa, o que influencia em várias outras características como custo, simplicidade de operação e aplicação em locais remotos, com carência de energia (CARLSON, et al., 2013). Como desvantagens desses métodos destacam-se: o tempo de amostragem, principalmente em situações de baixas concentrações e o tempo gasto em análises laboratoriais (DORE et al., 2004).

Diante disso, buscou-se traçar uma análise comparativa entre os dois métodos de fluxo passivo, Ferm Tube e SMDAE, com base em resultados de pesquisas já existentes avaliando diversas características de diversos métodos para a determinação da amônia em instalações abertas para produção animal, em termos dos requisitos: aplicabilidade, custo, eficiência e uso em condições de campo.

2. MÉTODOS DE DIFUSÃO PASSIVA

Os métodos de difusão passiva, para determinação/quantificação de gases em ambientes, são utilizados desde meados do século XIX, quando eram realizadas medições de ozônio ao nível do solo, com papéis de teste impregnados em iodeto de potássio (NAMIEŚNIK et al., 2005). Nas últimas décadas, o uso da amostragem passiva para coletar dados de amostras ambientais tem sido uma tendência crescente (ZABIEGALA et al., 2010). Os amostradores de difusão passiva são métodos utilizados para medição de poluentes no ar de forma simples e com baixo custo, além de apresentarem fácil construção e implementação, operando segundo o princípio da difusão molecular, no qual as moléculas da espécie alvo difundem-se no ambiente em função do gradiente de concentração no meio (JIMÉNEZ et al., 2011; MOSQUERA et al., 2005).

Para o caso de instalações abertas, como ocorre com a maioria dos abrigos utilizados na produção animal no Brasil e nos países da América do Sul, os métodos de fluxo passivo são ideais na avaliação/quantificação de gases, por não dependerem ou não serem influenciados pela direção do vento, podendo ser utilizados em fluxos de ar complexos, sem comprometimento de sua eficiência de absorção (DORE et al., 2004).

Amostradores de fluxo passivo apresentam a vantagem de não necessitarem de nenhuma fonte de energia externa para quantificar o fluxo continuamente, tornando-se, assim, uma alternativa mais econômica e aplicável em relação a outros métodos de detecção considerados ativos (CARLSON et al., 2013), além de apresentarem a característica de fácil instalação em campo por não necessitarem de fonte de alimentação e cabos, podendo ser aplicados em locais remotos ou sem energia. Adicionalmente, exigem menos habilidade e experiência dos operadores, por serem métodos mais simples e ainda exigem menos investimento inicial de capital na implementação de um sistema de medição de amônia (DORE et al., 2004). O custo da amostragem por difusão passiva foi estimado por MOODLEY et al. (2011) como 50 vezes menor que o custo da amostragem ativa.

Como desvantagens dos métodos de fluxo passivo, destacam-se a necessidade de disponibilidade e de tempo considerável em laboratório, tanto antes quanto depois da exposição em campo, de longos períodos de amostragens, principalmente para baixas concentrações, além de não poderem ser expostos a condições de chuva ou ambientes abertos sujeitos a presença de orvalho, por causar interferência no meio ácido utilizado na captura da amônia (DORE et al., 2004).

2.1. Método Ferm Tube

O método Ferm Tube foi desenvolvido em 1986, reportado por SCHORRING et al. (1992), para medição de taxa de emissão de amônia em instalações de produção de bovinos por meio de amostradores de fluxo passivo e tem sido muito utilizado desde então (SOMMER et al., 1996; PHILLIPS et al., 1998). O princípio do método é capturar a amônia presente no ar, com base na sua difusão em uma superfície de reação, localizada no interior do amostrador, com um revestimento ácido que tem a função de prender essa amônia que passa com o fluxo de ar. A quantificação é feita por colorimetria.

Segundo PHILLIPS et al. (2001) o método Ferm Tube, é uma maneira simples e conveniente de medir concentrações de amônia, podendo ser aplicado em instalações de produção animal, com faixa ilimitada de medições, desde 2,5 ppm, tendo variações no tempo de exposição dependendo da concentração, com acurácia elevada, precisão e custo médio dependendo da quantidade de amostras, em comparação com outros métodos de difusão passiva.

De acordo com OSORIO SARAZ et al. (2013), o método Ferm Tube pode ter um custo elevado quando aplicado em instalações para aves, dotadas de ventilação natural, já que são necessárias grandes quantidades de amostras devido à complexidade das características do fluxo de ar, além da necessidade de maior tempo de exposição para cada amostra.

2.2. Método Saraz

O método Saraz é um novo método de difusão passiva que vem sendo testado e aperfeiçoado para a quantificação da amônia em instalações com ventilação natural (OSORIO, 2010). Trata-se de uma metodologia que faz uso de um sistema coletor passivo de amostra de ar do ambiente de investigação através de material poroso absorvente impregnado em solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e glicerina ($C_3H_5(OH)_3$) para fixação da amônia por microdifusão. Após a captura a quantificação do gás é feita por titulação ácido-base (OSORIO SARAZ et al., 2013).

Em situações de baixas concentrações de amônia e de baixas taxas de ventilação, o método Saraz tem apresentado eficiência de recuperação da amônia volatilizada maior que 80 %. Para o caso de galpões com ventilação natural, o custo do método torna-se um pouco mais elevado, devido à necessidade de maior quantidade de coletores que devem ser posicionados nas laterais dos alojamentos com o objetivo de atenuar o efeito das flutuações do vento, além de demandar maior número de análises laboratoriais.

Apesar disso, devido a sua simplicidade de construção e uso, o método torna-se menos oneroso em comparação a outros métodos de difusão passiva, o que o torna interessante. Um ponto negativo do método Saraz é que este é preciso para concentrações de amônia maiores que 1 ppm, tendo aplicabilidade para os galpões de frango de corte somente à partir da segunda semana de vida das aves, quando começa a ocorrer presença de amônia em níveis acima dessa concentração, necessitando de um tempo mínimo de duas horas de exposição para a coleta (OSÓRIO SARAZ et al., 2013).

2.3. Comparação entre os métodos Ferm Tube e Saraz

OSÓRIO SARAZ et al. (2013) realizaram um estudo de avaliação dos principais métodos disponíveis para determinação das taxas de emissão de amônia em instalações para produção animal. Entre eles foram avaliados o Ferm Tube e Saraz, de forma quantitativa e qualitativa, com base nas características positivas e negativas de cada método, avaliadas por realização de entrevistas com diversos pesquisadores de diversos países, em relação a gama de metodologias utilizadas para quantificação de amônia em instalações de produção animal. Foram atribuídas notas de 0 a 10, onde 0 indicava nenhuma condição de uso, de 1 a 3 ruim, 4 a 6 regular, 7 a 9 bom e 10 excelente.

Já PHILLIPS et al. (2001) realizaram várias análises entre métodos utilizados na medição de fluxos de amônia em instalações de produção animal em termos de faixa de medição, acurácia, precisão e custo.

Assim, esta análise comparativa entre os dois métodos escolhidos, Ferm Tube e Saraz, foi baseada, principalmente nos trabalhos citados acima, focando nas situações onde as instalações de produção animal trabalhavam com ventilação natural durante a maior parte do tempo. Foram utilizados os mesmos critérios, em relação à atribuição de notas aos métodos, adotados por OSORIO SARAZ et al. (2013).

2.3.1 Custo

Em relação ao custo foram considerados todos os possíveis custos embutidos na utilização de cada método, como custo de implementação, utilização, manutenção, e mensuração, comparando sua utilização em instalações dotadas de ventilação mecânica, positiva e negativa e ventilação natural.

Na Figura 1, observa-se que o método Saraz apresentou maiores notas em relação ao Ferm Tube para os custos dos métodos nos diferentes tipos de instalações analisadas. Com isso, o método Saraz apresenta menores custos, sendo classificado como bom (nota igual a 7) para instalações com ventilação mecânica por pressão

positiva e negativa, sendo, contudo, regular (nota igual a 6), para instalações com ventilação natural. Por sua vez o método Ferm Tube foi classificado como regular, (nota igual a 6), tanto para as instalações com ventilação mecânica por pressão positiva e negativa, quanto para a ventilação natural (nota igual a 4), mostrando que o seu custo é ainda maior nas instalações com ventilação natural, comparativamente a mecânica.

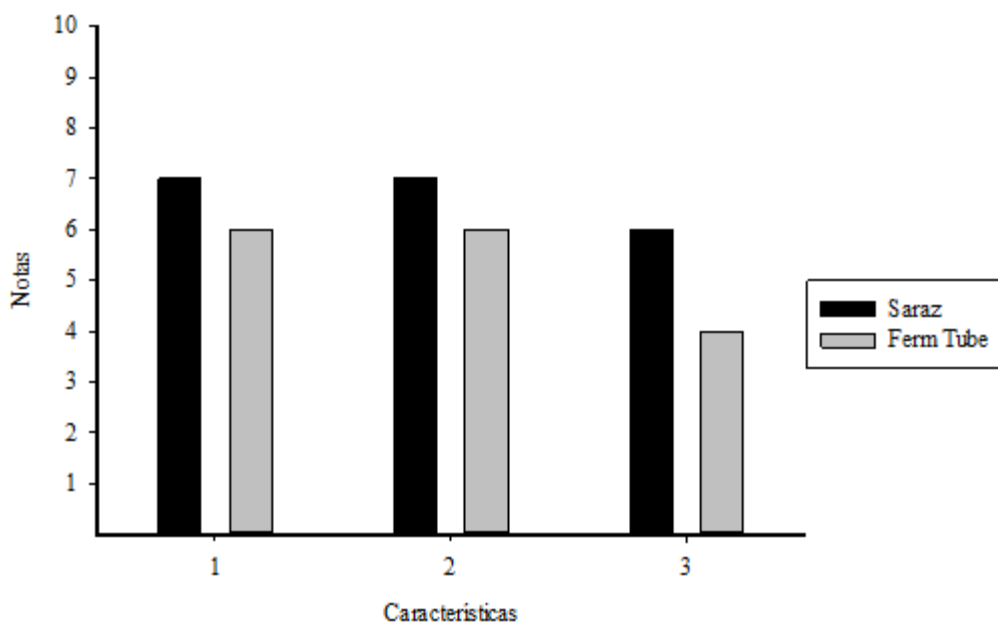


Figura 1 - Médias das notas atribuídas para os dois métodos (Saraz e Ferm Tube) de acordo com as seguintes características: (1) Notas relacionadas ao custo do método em instalações com ventilação mecânica e pressão positiva; (2) Notas relacionadas ao custo do método em instalações com ventilação mecânica e pressão negativa; (3) Notas relacionadas ao custo do método em instalações com ventilação natural. Figura adaptada de OSORIO SARAZ et al. (2013).

Vale ressaltar que quando se utiliza o método Ferm Tube em instalações com ventilação natural, o custo pode ser elevado, dependendo do número de amostradores necessários e do tempo de exposição no ambiente, devido às características do vento nesses locais.

O método Saraz, além de possibilitar maior área de captação de gás em relação ao Ferm Tube, apresenta simplicidade quanto aos materiais utilizados na construção do amostrador, o que o torna menos oneroso quando utilizado nas instalações com ventilação natural (OSORIO SARAZ et al.,2013).

Para os dois métodos, os custos são mais elevados em condições de ventilação natural, dado o maior número de amostragens necessárias, devido às flutuações na

direção do vento, gerando, além do aumento no número de amostras, aumento na quantidade de análises laboratoriais e, conseqüentemente, aumento nos custos. No método Ferm Tube são necessárias maiores quantidades de análises, pois a quantidade de amônia recolhida é proporcional a componente do fluxo de amônia nessa direção. Assim, para cada amostra coletada, quatro tubos são analisados separadamente, (PHILLIPS, et al., 2001), diferentemente do método Saraz, no qual, que para cada amostra, é realizada uma análise; com isso o custo do Ferm Tube já aumenta em quatro vezes em relação ao Saraz.

2.3.2 Aplicabilidade

Em termos de aplicabilidade foi considerada a precisão de quantificação de amônia de cada método em instalações dotadas de ventilação mecânica, positiva e negativa e ventilação natural.

Pela Figura 2, pode-se observar que para o caso de instalações com ventilação mecânica, o método Ferm Tube apresenta maior precisão (notas iguais a 7, classificado como bom) que o método SMDAE (notas iguais a 6, classificado como regular). Porém, para o caso de instalações com ventilação natural, as notas caem para ambos os métodos, ficando maior para o método Saraz.

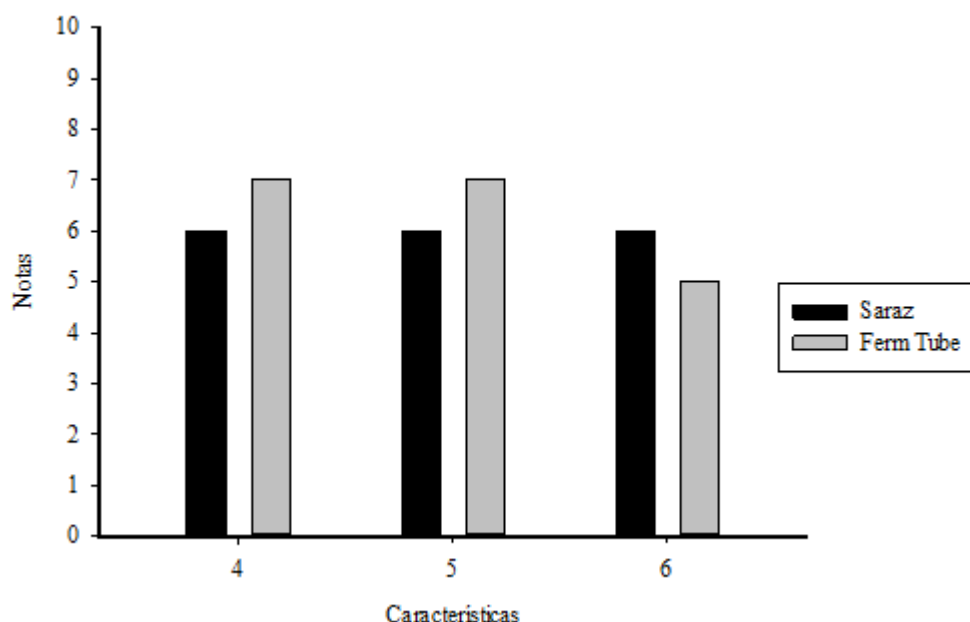


Figura 2 - Médias das notas atribuídas para os dois métodos (Saraz e Ferm Tube), de acordo com as seguintes características: (4) Precisão do método em instalações com ventilação mecânica e pressão negativa; (5) Precisão do método instalações com

ventilação mecânica sob pressão positiva; (6) Precisão do método em instalações com ventilação natural. Figura adaptada de OSORIO SARAZ et al. (2013).

De acordo com OSÓRIO SARAZ et al. (2013), o método Ferm Tube pode ser utilizado com maior precisão em instalações que trabalham com ventilação mecânica, tanto em pressão positiva quanto negativa, devido à presença de uma direção predominante do fluxo de ar. Porém, quando operados em instalações dotadas de ventilação natural, são necessários maiores tempos de amostragem e maiores números de amostradores, para que se consiga a mesma eficiência do método, dada à ocorrência de fluxo de ar em várias direções e a baixas velocidades.

No entanto, o método Saraz pode ser utilizado com maior precisão nas instalações dotadas de ventilação natural, uma vez que, seja identificado o local desse fluxo de ar entre o interior e o exterior da instalação, e sejam instalados dois amostradores, um no interior e outro no exterior da instalação.

O método Saraz, assim como o Ferm Tube, apresenta a desvantagem de não poder ser aplicado em todas as fases de criação, já que avalia com precisão condições de concentrações de amônia maiores que 1 ppm e 2,5 ppm, respectivamente. No caso de frangos de corte, isso normalmente ocorre somente após a segunda semana de criação para o caso de utilização de cama nova, o que limitaria sua utilização durante a fase inicial, a não ser nos casos em que a cama é reutilizada (OSORIO, 2010).

Um inconveniente comum é que os dois métodos não podem ser aplicados em locais abertos sujeitos à chuva e orvalho, o que poderia levar a uma diluição e até lavagem do ácido utilizado para captura da amônia gerando perda da amostra (PHILLIPS et al., 2001).

2.3.3 Uso

O uso dos métodos foi analisado comparativamente entre Ferm tube e Saraz de acordo com o grau de dificuldade de aquisição de dados e de limitações de uso apresentadas nos diferentes tipos de instalações de produção animal, incluindo as instalações que trabalham com ventilação natural.

Pela análise realizada por OSÓRIO SARAZ et al. (2013), o grau de dificuldade para aquisição de dados nos dois métodos foi classificado como bom, sendo atribuída a nota 7,0 para o método Saraz e 8,0 para o Ferm Tube. Assim o método Ferm Tube apresenta menor grau de dificuldade na aquisição dos dados.

O método Saraz apresenta construção simples, não exigindo mão de obra especializada para ser construído e utilizado. Porém, o que limita seu uso é a

necessidade de laboratório para a realização de análises das amostras coletadas (OSÓRIO, 2010), além da necessidade de manuseio das soluções ácidas com o material absorvente, tanto antes quanto após a coleta, diferentemente do método Ferm Tube que vem com o meio ácido na forma sólida, fixado ao amostrador que somente é manuseado em laboratório. Os dois métodos de fluxo passivo analisados apresentam limitações em seu uso por não permitirem o monitoramento contínuo das emissões de gases; eles dão uma medida do fluxo ao longo do tempo de exposição, além de necessitarem de elevados tempos de exposição, dependendo das condições de velocidade e direção do vento (PHILLIPS, et al., 2001).

2.3.4 Eficiência

A eficiência dos métodos, Ferm Tube e Saraz, foi analisada de acordo com a eficiência operacional dos métodos quando utilizados nas diferentes instalações de produção animal com diferentes características ambientes de concentrações de amônia.

Na Figura 3, observa-se que ambos os métodos analisados apresentam melhor eficiência em instalações com ventilação mecânica em relação à ventilação natural. Novamente devido à direção predominante do fluxo de ar nas instalações com ventilação mecânica, o que favorece a aplicação dos métodos, melhorando a eficiência operacional em quantificar amônia.

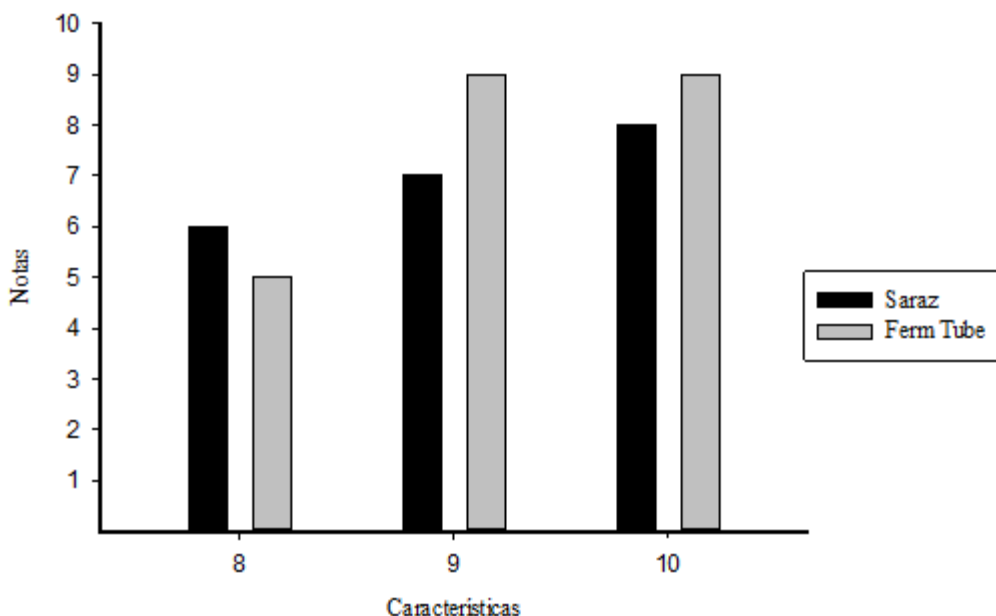


Figura 3 - Médias das notas atribuídas para os dois métodos (Saraz e Ferm Tube) de acordo com as seguintes características: (8) Eficiência operacional em sistemas com ventilação natural; (9) Eficiência operacional em sistemas de ventilação mecânica e

pressão positiva e (10) Eficiência operacional em sistemas de ventilação mecânica e pressão negativa. Figura adaptada de OSORIO SARAZ et al. (2013).

Os dois métodos de difusão passiva analisados apresentam maior eficiência em condições de concentrações elevadas de amônia, para o Saraz acima de 1 ppm (OSORIO SARAZ et al., 2013) e para o Ferm Tube acima de 2,5 ppm (PHILLIPS, et al., 2001). Para o caso de frangos de corte, os dois métodos poderão ser utilizados com maior eficiência somente após 14 dias de criação, onde as concentrações de amônia no ambiente de criação tendem a aumentar com o tempo ou idade dos animais quando é utilizada cama nova ou em primeiro uso para criação.

3. CONCLUSÕES

O método Saraz apresenta menor custo por necessitar de um número menor de amostradores em relação ao método Ferm Tube e, conseqüentemente, menor custo nas análises laboratoriais. O método Saraz destaca-se ainda como sendo mais eficiente em instalações com ventilação natural, além de apresentar menor grau de dificuldade de aquisição de dados nessas instalações.

No geral, em condições de campo e de ventilação natural, o método Saraz indica ser mais apropriado que o método Ferm Tube; porém a escolha entre um ou outro método vai depender de uma série de condições, como recursos econômicos, disponibilidade de reagentes e tipos de análises possíveis de serem realizadas em laboratório, além da precisão desejada, grau de dificuldade de operação, entre outros.

4. REFERÊNCIAS

CARLSON, B. R. **Development of a Passive Surface Flux Meter to estimate spatially distributed nutrient mass fluxes**. Iowa: 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade de Iowa, Iowa City, Iowa, 2013.

DORE, C. J.; JONES, B. M. R.; SCHOLTENS, R.; HUIS, J. W. H.; BURGESS, L. R.; PHILLIPS, V. R. Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores-part 2: Comparative demonstrations of three methods on the farm. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 3017-3024, 2004.

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. ISSN 0103-5053.

JIMÉNEZ, A. S.; HEAL, M. R.; BEVERLAND, I. J. Intercomparison study of NO_x passive diffusion tubes with chemiluminescence analysers and evaluation of bias factors. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 3062-3068, 2011.

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, p. 381-388, 2005.

MOODLEY, K. G.; SINGH, S.; GOVENDER, S. Passive monitoring of nitrogen dioxide in urban air: A case study of Durban metropolis, South Africa. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 2145–2150, 2011.

NAMIEŚNIK, J.; ZABIEGALA, B.; KOT-WASIK, A.; PARTYKA, M.; WASIK, A. Passive sampling and/or extraction techniques in environmental analysis: a review. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 381, n. 2, p. 279–301, 2005. doi:10.1007/s00216-004-2830-8

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. Ministério do Meio Ambiente. **Ontario Air Standards for Ammonia**. 47 p. 2001. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/pel88/7664-41.html>>. Acessado em: 24 jul. 2013.

OSORIO, J. A.; TINOCO, I. F.; CIRO, H. J. Ammonia: A review about concentration and emission models in livestock structures. **Dyna**, Medellín, v. 76, n. 1, p. 89-99, 2009.

OSORIO, J. A. **Determinação experimental e modelagem em CFD das taxas de emissões de amônia de camas de aviários e distribuições de concentrações, temperatura e velocidade do ar no interior de galpões avícolas.** Viçosa: 136 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010.

OSORIO SARAZ, J. A.; TINOCO, I. F. F.; GATES, R. S.; PAULA, M. O.; MENDES, L. B. Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. **Dyna**, Medellín, v.80, n.178, p. 51-60, 2013.

PHILLIPS V. R.; BISHOP, S. J.; PRICE, J. S.; YOU, S. Summer emissions of ammonia from a slurry-based UK dairy cow house. **Bioresource Technology**, v. 65, p. 213-219, 1998.

PHILLIPS, V. R.; LEE, D. S.; SCHOLTENS, R.; GARLAND, J. A.; SNEATH, R. W. SE-Structures and Environment: A Review of Methods for measuring Emission Rates of Ammonia from Livestock Buildings and Slurry or Manure Stores, Part 2: monitoring Flux Rates, Concentrations and Airflow Rates. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 78, p. 1-14, 2001.

SCHORRING, J. K.; SOMMER, S. G.; FERM, M. A simple passive sampler for measuring ammonia emission in the field. **Water Air and Soil Pollution**, v. 62, p. 13-24, 1992.

SOMMER S. G.; SIBBESEN, E.; NIELSEN, T.; SCHORRING, J. K.; OLESEN, J. E. A passive flux sampler for measuring ammonia volatilization from manure storage facilities. **Journal of Environmental Quality**, v. 25, p. 241-247, 1996.

WATHES, C. M.; HOLDEN, M. R.; SNEATH, R. W.; WHITE, R. P.; PHILLIPS, V. R. Concentrations and emissions rates of aerial ammonia, nitrous-oxide, carbon-dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. **British Poultry Science**, v. 38, n. 1, p. 14-28, 1997.

ZABIEGALA, B.; KOT-WASIK, A.; URBANOWICZ, M.; NAMIEŚNIK, J. Passive sampling as a tool for obtaining reliable analytical information in environmental quality monitoring. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 396, n. 1, p. 273-296, 2010.

CAPÍTULO 2

AJUSTE DO MÉTODO SARAZ NA QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES DE AMÔNIA GERADA EM INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO ANIMAL ABERTAS OU HÍBRIDAS

RESUMO: Objetivou-se com esse trabalho avaliar a eficiência do método Saraz em quantificar a amônia presente no ambiente de instalações de produção animal abertas ou híbridas, para diferentes velocidades do ar assim como diferentes concentrações de amônia e assim determinar uma equação de ajuste para o método. Para isso, foi desenvolvido um equipamento balizador, constituído por uma caixa em vidro e policarbonato translúcidos, sendo dividida em setor de entrada e saída de gases. Entre os compartimentos foram instalados dois exaustores para retirada do ar através do material poroso absorvente, constituído por espumas de poliuretano impregnadas em solução de ácido sulfúrico e glicerina para fixação da amônia. Após a coleta essas espumas eram encaminhadas ao laboratório e por destilação e titulação ácido base determinava-se a quantidade de amônia capturada no ambiente. Foram avaliadas as concentrações de 5, 10, 15, 20 e 25 ppm de amônia, concentrações essas monitoradas por sensores eletroquímicos posicionados no interior da caixa, além das diferentes velocidades do ar de exaustão, a saber: 0,1; 1,2 e 2,4 m.s⁻¹. Diante dos resultados encontrados pode-se concluir que o método Saraz é eficiente, dentro das situações analisadas, mas como outros métodos a medida que ocorre incremento de velocidade do ar e concentração, sua eficiência diminui. Com as análises realizadas foi possível a geração de uma equação de ajuste para o método Saraz na determinação da concentração e taxa de emissão de amônia no ambiente.

Palavras-chave: emissão de amônia, ventilação natural, método de difusão passiva.

**ADJUSTMENT OF METHOD SARAZ OF QUANTIFICATION OF AMMONIA
EMISSIONS GENERATED IN PRODUCTION FACILITIES OPEN OR
HYBRID ANIMAL**

ABSTRACT: The objective was to evaluate the efficiency of Saraz method in quantify the ammonia present in, opened or hybrid, animal production installations, with different air speeds and different concentrations of ammonia. For this, it was developed a calibrator equipment, constituted in a box, made with glass and translucent polycarbonate, divided in input and output gas. Between the two compartments were installed two exhausts for remove the air through the absorbent porous material comprised of polyurethane sponge impregnated in a solution of acid sulfuric and glycerin for fixation of ammonia. After collecting the sponge were sent to the laboratory and by distillation and acid base titration, the amount of ammonia captured in the environment was determined. Concentrations of 5, 10, 15, 20 and 25 ppm ammonia concentrations monitored by such electrochemical sensors positioned inside the box were evaluated in addition to the different speeds of the exhaust air, namely: 0.1, 1.2, and 2.4 m.s⁻¹. Considering the results can be concluded that the Saraz method is an efficient method, within the situations analyzed, but similar as occurs with other methods increases in air speed and concentration of ammonia, can be decrease the method efficiency.

Key words: ammonia emission, natural ventilation, passive diffusion method.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2013), a população do planeta vem crescendo cerca de 83 milhões de pessoas por ano; assim, até o final deste século as previsões indicam mais de 10 bilhões de pessoas no mundo. Diante desse crescimento populacional é evidente o imperativo aumento na demanda por alimentos e, conseqüentemente, a necessidade de crescimento da produção agrícola mundial.

Nesse contexto, o Brasil tem se destacado como um dos maiores produtores mundiais de proteína de origem animal, empreendimento esse que se transformou num dos complexos econômicos e industriais mais relevantes do país (TINÔCO et al., 2004).

Entretanto, para manter a competitividade do setor, o Brasil tem dado especial atenção ao ambiente de criação animal como um dos elementos mais importantes pelo sucesso do empreendimento. O fato é que os fatores ambientais se destacam por interferir diretamente sobre os animais, principalmente durante as fases iniciais e finais de criação, quando estão mais vulneráveis às condições de ambientes inapropriados (MENEGALI et al., 2013). Dentre os fatores do ambiente, certamente aqueles relacionados à qualidade do ar estão entre os mais importantes, afetando as condições de bem estar animal, gerando perdas econômicas consideráveis, redução no desempenho e aumento na mortalidade dos animais (TINÔCO et al., 2004).

A amônia é o poluente mais encontrado em altas concentrações no interior das instalações de produção animal (OWADA et al., 2007), sendo que, um dos fatores de formação nesses locais é atribuído à decomposição microbiana do ácido úrico presente nos excrementos dos animais (MEDEIROS et al., 2008). A presença desse gás influencia diretamente o crescimento de animais jovens, especificamente no caso das aves, a exposição ao excesso de amônia provoca problemas e doenças, tais como redução do apetite e da frequência respiratória, lesões do trato respiratório, conjuntivite e maior susceptibilidade às infecções virais (OSORIO et al., 2009). Além dos problemas econômicos relacionados ao gás amônia nos ambientes de criação animal devido aos danos a saúde dos animais e dos trabalhadores, vale ressaltar que a amônia é um gás de efeito estufa, gerando conseqüências ambientais indesejáveis quando emitida em altas concentrações (FELIX & CARDOSO, 2012).

Há cerca de duas décadas, as taxas de emissão e/ou concentração de amônia nos ambientes de produção animal tem sido foco de estudos de pesquisadores em diversos países da Europa e América do Norte, onde já se procedeu a realização de

inventários sobre emissões destes gases, estabelecendo seus protocolos. Para os mencionados países, a determinação da emissão de amônia nas estruturas é relativamente simples, uma vez que as instalações são fechadas e, portanto, tem-se controle sobre o volume de ar das instalações (OSORIO SARAZ et al., 2013).

Para as regiões de climas tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil, a determinação da concentração e emissão de amônia é muito mais complexa, uma vez que basicamente todos os abrigos de produção animal são mantidos abertos durante a maior parte do tempo, constituindo-se, assim, sistemas termodinâmicos abertos ou parcialmente abertos (híbridos), havendo interferências de correntes de vento externas não controláveis (TINOCO & OSORIO, 2008).

Dessa forma, dada a necessidade de monitoramento contínuo das emissões de amônia nos galpões abertos de produção animal em condições de clima quente, (que é a realidade do Brasil e de muitos países da América do Sul), adicionado à dificuldade de aquisição de equipamentos precisos, devido principalmente aos seus elevados custos, alguns estudos vêm sendo desenvolvidos buscando monitoramento das emissões de amônia de forma simples, eficiente e com baixo custo (HERNANDES & CAZETTA, 2001; NICHOLSON et al., 2004; GATES et al., 2005; AMARAL et al., 2007; RONG et al., 2009; OSORIO, 2010; ALVES et al., 2011).

Entre os métodos disponíveis para condições de ventilação natural em instalações predominantemente abertas, destacam-se os métodos de fluxo passivo, sendo que, dentre eles, o Método Saraz ressalta-se por sua simplicidade, aplicabilidade e eficiência na determinação da emissão de amônia em instalações abertas para produção animal em geral.

O método Saraz (Saraz Method for Determination of Ammonia Emissions) é um método de quantificação de amônia desenvolvido a partir de estudos realizados via técnica baseada no método de difusão de massa. Este método tem sido usado na área de ciência do solo e foi adaptado por OSORIO (2010) para determinação da emissão de amônia oriunda da cama de frangos assim como a amônia emitida do galpão para a atmosfera.

A amônia volatilizada da cama é capturada em um coletor, constituído por um tubo de PVC e um material poroso absorvente, constituído por uma esponja de poliuretano impregnada em solução de ácido sulfúrico e glicerina, que promove a fixação da amônia por micro difusão. Assim, finalizada a captura, essa esponja é levada ao laboratório e, num destilador de nitrogênio, pelo método Kjeldhal, determina-se a

quantidade de amônia obtida em função da quantidade de ácido gasto na titulação, da molaridade do ácido e do número de mols de NH_3 .

O método Saraz foi avaliado em condições de campo (OSORIO, 2010), tendo sido considerado eficiente para quantificar emissões de amônia oriundas da cama de frango em concentrações muito baixas, tais como 0,5 ppm e 1,0 ppm, em condições de ventilação natural para velocidade do ar acima de $0,1 \text{ m s}^{-1}$. Porém, segundo OSORIO (2010), o método precisa ser aperfeiçoado e mais pesquisas devem ser realizadas, em concentrações e situações ambientais diferenciadas, com a finalidade de um melhor conhecimento da sua eficiência e aplicabilidade em inventários de gases de efeito estufa como é o caso do gás amônia.

Assim, existe a necessidade de se avaliar a eficiência do método Saraz em ambientes expostos a diferentes condições ambientais, com variações nas velocidades do ar, e em concentrações de amônia distintas das estudadas por OSORIO (2010), mas dentro do que eventualmente ocorre em condições de campo, nos aviários e outros abrigos para produção animal. Para isso, torna-se importante buscar uma calibração confiável ou refinamento desse método, que possibilite a quantificação dos valores reais e possíveis de níveis de amônia que o dispositivo coletor empregado no método Saraz é capaz de capturar do ambiente, e, por conseguinte, a taxa de emissão de amônia em um ambiente controlado, por meio da geração de uma equação de ajuste para o método Saraz.

Diante disso, buscou-se avaliar a eficiência e conseqüente ajuste do método Saraz na quantificação da concentração de amônia em ambientes de diferentes características. Os objetivos específicos deste estudo envolveram o desenvolvimento de um equipamento balizador para a avaliação do método Saraz, quanto à habilidade/quantificação na captura de amônia pelo dispositivo coletor e conseqüente acurácia quanto à obtenção da real taxa de emissão de amônia sob variadas condições ambientais de velocidades do ar e níveis de concentrações deste gás nos ambientes avaliados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado nas dependências do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, em câmaras climáticas do Ambiagro – Núcleo de Pesquisa em Ambiente e Engenharia de Sistemas Agroindustriais e laboratórios das áreas de Construções Rurais e Ambiente e Energia na Agricultura. A Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa, fica localizada no município de mesmo nome, do estado de Minas Gerais, latitude: 20°45'14''S e longitude 42°52'55''W.

2.1 Desenvolvimento do equipamento balizador

Para possibilitar o aperfeiçoamento do método Saraz, foi desenvolvido um equipamento balizador, constituído por uma caixa em vidro e policarbonato translúcidos, nas dimensões 30,0 x 38,0 x 28,0 cm (largura, comprimento, altura), totalmente vedada, a qual foi inserida na câmara climática de maneira a se obter condições ambientais controladas, permitindo as análises em ambiente com temperatura e umidade conhecidas e controladas.

A caixa, assim constituída, denominada, *caixa balizadora*, foi dividida em dois compartimentos, um setor de entrada e um de saída de gás, de iguais dimensões 30,0 x 18,0 x 28,0 cm (largura, comprimento, altura). O setor de entrada de gás foi composto por um compartimento dotado de aberturas para entrada dos gases, (amônia e ar puro), por meio de tubulações de silicone ligadas aos cilindros externos que continham os gases de estudo. Este compartimento foi munido de duas aberturas circulares de 4,0 cm de raio, vedadas por material poroso absorvente (a ser descrito no item 2.2), posicionado anteriormente aos exaustores que, em funcionamento, forçava a retirada do ar externo à caixa. O setor de saída de gás, após a passagem forçada do ar pelo material poroso absorvente via exaustores, foi, por sua vez, subdividido em dois compartimentos de iguais dimensões, de maneira a possibilitar duas amostragens de ar e, conseqüentemente, duas repetições para cada variável analisada (Figuras 1 e 2).

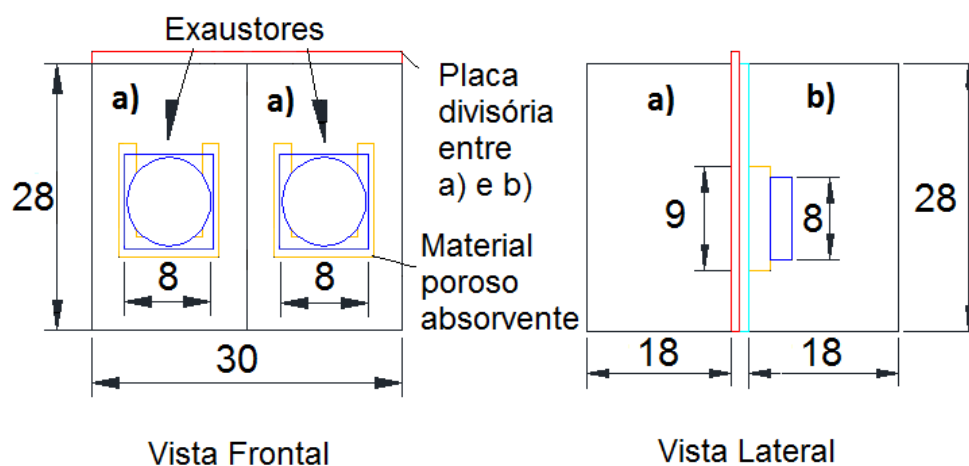


Figura 1 – Esquema da caixa balizadora. Vista frontal e vista lateral da caixa, mostrando os exaustores e os compartimentos: a) entrada de gás, b) saída de gás (medidas em cm).

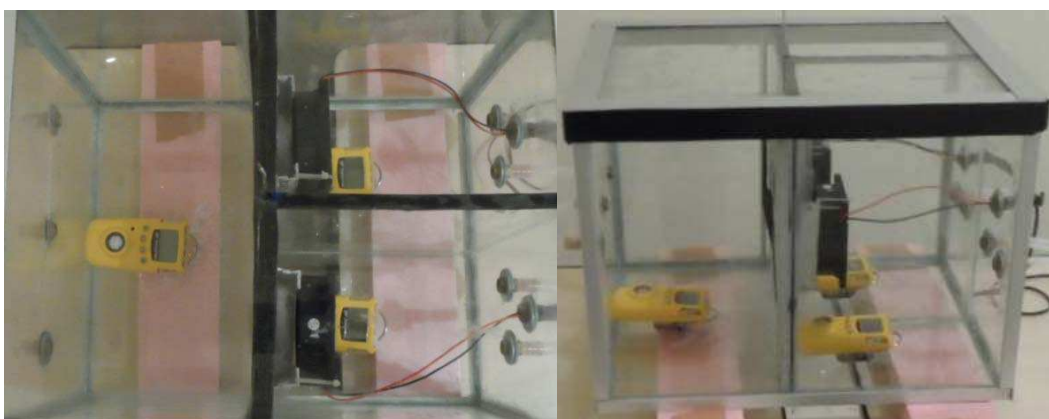


Figura 2 – Caixa balizadora vista superior (à esquerda) e vista lateral (à direita).

2.2 Material poroso absorvente

O material poroso absorvente utilizado foi constituído por esponjas de poliuretano na densidade D18 ($0,0162 \text{ g cm}^{-3}$), nas dimensões de 8,0 cm de comprimento, 9,0 cm de altura e 2,0 cm de espessura.

Para cada repetição, as esponjas eram impregnadas em 25 mL de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e glicerina ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$) 3% v/v antes de serem levadas para vedação dos orifícios de cada um dos compartimentos de entrada da caixa, de acordo com a método proposto por OSORIO (2010).

2.3 Exaustores

A velocidade de saída do gás em concentração conhecida através do material poroso absorvente foi variável para cada tratamento, nas diferentes velocidades do ar de exaustão ($0,1$; $1,2$ e $2,4 \text{ m.s}^{-1}$), o que se conseguiu com utilização de exaustores

instalados no interior da caixa que forçavam a passagem do gás pelas espumas, puxando o ar do compartimento de entrada para o compartimento de saída. Os exaustores eram constituídos por ventoinhas ou coolers “sleeve bearing”, nas dimensões de 80x80 mm, com voltagem DC 12 V, corrente de 0,15 A e velocidade de 1800 rpm,. A velocidade dos exaustores era controlada por meio de uma fonte de energia universal modelo FT-1462P, com potência de 18 W, carga máxima de 1000 mA, entrada de 110/220 Vac e sete saídas de 1,5 – 3 – 4,5 – 6 – 7,5 – 9 – 12 Vdc.

Inicialmente foi feita uma curva de calibração dos exaustores para determinar a velocidade de entrada do gás na espuma, tendo sido utilizado um termoanemômetro de fio quente Testo 425, com gama de medição de 0 a 20 m.s⁻¹, exatidão de $\pm 0,03$ m.s⁻¹ e resolução de 0,01 m.s⁻¹.

2.4 Sensores eletroquímicos

Os instrumentos utilizados como referencial de medição das diferentes concentração de amônia adotadas (5, 10, 15, 20 e 25 ppm) foram os detectores eletroquímicos BW “Gas Alert Extreme Ammonia Detector”, os quais são compactos e de preço acessível, apresentam uma variação de medição de 0-100 ppm e exatidão de $\pm 2\%$, operando em umidade relativa de 15 a 90% e temperatura de -20 a +50°C.

Os sensores foram inicialmente descarregados e, mesmo possuindo uma calibragem automática para cada vez em que são ligados, por segurança, foi realizada, adicionalmente, uma calibragem simples de todos os sensores utilizados no experimento. Um total de seis sensores foi utilizado, sendo três a cada coleta, com um posicionado em cada um dos três compartimentos da caixa balizadora, o inicial, que continha o ar a uma concentração conhecida de amônia, e os dois compartimentos sequenciais, de iguais dimensões, contendo o gás após passagem pelo material poroso absorvente.

Ao final de cada coleta ocorria troca de posição entre os sensores de amônia permitindo que, em cada coleta, sensores diferentes estivessem posicionados em diferentes compartimentos, evitando-se, assim, vícios de leituras consecutivas. Simultaneamente, os sensores eram calibrados e estabelecidos eventuais fatores de correção.

2.5 Câmara climática

O experimento foi conduzido em câmara climática para possibilitar controle do ambiente térmico, para cada concentração de gás estudada. A câmara climática, situada no anexo do AMBIAGRO, DEA, UFV, estava equipada com ar condicionado tipo quente/frio de 12000 BTU/h, aquecedor de resistência elétrica, de 2000 W de potência e umidificador com capacidade para 4,5 L e débito de névoa médio de 300 mL/h. O aquecedor e o umidificador eram controlados por meio de controlador eletrônico de temperatura e umidade, com comunicação serial MT-531Ri plus. Cada um dos equipamentos era acionado ou desligado automaticamente, de maneira a garantir controle de temperatura e umidade nos padrões de estudo estabelecidos.

No caso deste experimento, as coletas foram realizadas à temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1$ e umidade relativa do ar mantida em torno de $60\% \pm 5$, com objetivo de simular condições de criação dentro da faixa de conforto adequadas às aves, a partir da segunda semana de vida destas (CASSUCE et al., 2013), ocasião em que a geração de amônia no ambiente de produção é mais intensificada.

2.6 Calibração dos sensores de NH_3

O processo de calibração dos sensores de NH_3 foi realizado por intermédio de um gás com concentração de amônia conhecida e outro gás sem a presença de amônia. Foram utilizados um cilindro de gás amônia na concentração conhecida de 25 ppm, e um cilindro de ar puro sintético ultra zero, com 0 ppm de amônia. Os cilindros foram conectados a tubos de silicone e estes conectados aos instrumentos de medição, seguindo a metodologia descrita por AMARAL (2007).

2.7 Funcionamento da caixa balizadora

Ao início de cada coleta de amostra, o compartimento de entrada da caixa balizadora recebia um volume de ar à diferentes concentrações de amônia, a saber: 5, 10, 15, 20 e 25ppm, por serem estes valores situados na faixa entre limites máximos e ideais de amônia no ambiente, para exposições contínuas, intermitentes e esporádicas dos animais. Essas diferentes concentrações de amônia eram obtidas por meio de misturas do gás amônia a 25 ppm com ar puro sintético ultra zero, sendo monitoradas por meio do detector eletroquímico colocado no interior da caixa. À medida que os gases eram adicionados no compartimento de entrada, eram observadas as leituras nos sensores, até que fosse obtida a concentração desejada. Após certo tempo de estabilização dos sensores, cerca de cinco leituras iguais consecutivas da mesma

concentração, iniciava-se o processo de captura da amônia pelo material poroso absorvente já posicionado junto aos exaustores, em contato com o ar de entrada.

Foram avaliadas, também, diferentes velocidades do ar de exaustão; 0,1; 1,2 e 2,4 m/s, limites estes inferiores e superiores do ar, típicos em algumas instalações de produção animal, como no caso das aves, onde se tem velocidades menores comparadas com outros sistemas como os suinícolas entre outros (MEDEIROS, 2008; VIGODERIS, 2010; MENEGALI, 2013).

Com os exaustores em funcionamento, após a estabilização da concentração de amônia, uma portinhola, (que separava os compartimentos de entrada e saída de gás), era aberta e permitia a passagem do gás pelo material poroso absorvente que capturavam o gás ao mesmo tempo. Outros dois sensores, posicionados nos compartimentos de saída do gás, um em cada compartimento, eram monitorados para avaliação de possíveis vazamentos e para verificação da capacidade de absorção do material poroso absorvente. O final da coleta era dado pelo momento em que os sensores indicavam, por cinco leituras consecutivas, o valor de 0 ppm, indicando, assim, que todo o gás presente no interior do compartimento de entrada havia sido capturado pelo material poroso absorvente.

2.8 Concentração e taxa de emissão de amônia

A concentração de amônia foi determinada à partir da quantidade de amônia capturada pela esponja, inicialmente impregnada com 25 mL de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 1,0 mol L^{-1} e glicerina ($C_3H_5(OH)_3$) 3% v/v, soluções estas responsáveis pela fixação da amônia por microdifusão.

Após o período de captura, os exaustores eram desligados, o material poroso absorvente retirado e conservado refrigerado em embalagem plástica até ser levado ao laboratório para extração da amônia, segundo o método Kjeldahl, de acordo com a metodologia adotada por OSORIO (2010).

A concentração de amônia capturada pela esponja, ou seja, a concentração obtida pelo Método Saraz, foi comparada à concentração de amônia real presente na caixa balizadora, por meio da quantidade de amônia obtida pela espuma e calculada na caixa, considerando-se o volume, tanto da espuma quanto da caixa balizadora. Assim, para a quantidade de amônia presente na caixa, considerou-se o volume do compartimento de entrada do gás igual a 15120 cm^3 , referentes às dimensões de 30,0 cm de comprimento, 18,0 cm de largura e 28,0 cm de altura, e, para a esponja 144 cm^3 , referente às dimensões de 2,0 cm de espessura, 8,0 cm de largura e 9,0 cm de altura. Foi gerada uma

equação de ajuste para a concentração obtida pelo material poroso absorvente em função da concentração esperada a ser coletada pela esponja.

Segundo o método Saraz, a taxa de emissão de amônia através do material poroso pôde ser calculada aplicando-se a Equação 1:

$$SARAZ_{NH_3} = \frac{NH_3}{t} \quad [1]$$

Em que:

$SARAZ_{NH_3}$: Taxa de emissão de amônia observada no método Saraz ($mg\ s^{-1}$);

NH_3 : Amônia capturada pelo material absorvente ($mg\ NH_3$);

t: Tempo de exposição do material absorvente ao gás amônia (s).

Por meio de cálculos dos valores de quantidade de NH_3 , concentração de NH_3 e taxa de emissão de amônia observados em relação aos valores esperados no ambiente, analisou-se a eficiência do método Saraz de acordo com o tempo de exposição ao meio nas diferentes concentrações de amônia e para situações de diferentes velocidades do ar de exaustão.

2.9 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram da combinação de cinco diferentes concentrações de amônia (5, 10, 15, 20 e 25 ppm) e três diferentes velocidades do ar de exaustão (0,1; 1,2 e 2,4 $m\ s^{-1}$) para análise da quantidade de amônia recuperada pela espuma e para avaliação da taxa de emissão de amônia nas diferentes condições, com um total de 60 amostras ($n=60$).

Os dados de quantidade de amônia obtida pela espuma e taxa de emissão de amônia foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, à 5% de probabilidade. Para análise do modelo em estudo, foram testadas as seguintes hipóteses:

Hipótese nula (H_0): dados de concentração de amônia reais calculados no ambiente (ER_{NH_3}) são iguais aos dados obtidos indiretamente através do material poroso absorvente ($SARAZ_{NH_3}$).

Hipótese alternativa (H_1): dados de concentração de amônia reais calculados no ambiente (ER_{NH_3}) diferem dos dados obtidos indiretamente através do material poroso absorvente ($SARAZ_{NH_3}$).

Para o caso de H_1 ser verdadeira, realizou-se uma análise de regressão linear para determinar os coeficientes do modelo expresso pela Equação 2, utilizando o programa Sigma Plot versão 12.0.

$$ER_{NH_3} = a \cdot SARAZ_{NH_3} \pm b \quad [2]$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentados os dados de recuperação média de amônia pelo material poroso absorvente, para as diferentes concentrações analisadas. Observa-se que, para menores concentrações, o método Saraz apresentou as maiores eficiências de recuperação de amônia, em torno de 81% para a concentração de 5 ppm e 51% para a concentração de 10 ppm. Estes resultados estão de acordo com trabalho realizado por OSORIO (2010), que determinou, em condições de campo, recuperação de amônia volatilizada da cama aviária na faixa de 68 a 82%.

Tabela 1 – Recuperação média de NH₃ pela espuma nas diferentes concentrações analisadas e respectivos desvios padrões

Concentração NH ₃ (ppm)	Recuperação média (%) ± Desvio padrão
5	81,10±8,22 ^a
10	51,54±5,80 ^b
15	41,00±3,10 ^c
20	36,90±6,90 ^d
25	34,31±3,20 ^e

Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O método Saraz mostra-se mais eficiente, em relação a estudos realizados por HERNANDES & CAZETTA (2001), DA ROS (2005), ARAÚJO et al. (2009) e ALVES et al. (2011), com utilização de câmara coletora para determinação de amônia volatilizada a partir da cama aviária e do solo, onde normalmente são encontrados valores máximos de 70% de recuperação de amônia.

Essa maior eficiência de recuperação de amônia através da esponja coletora da caixa, comparativamente ao que ocorre na prática, pode ser explicada pelo fato de que, nesse experimento, a amônia encontrava-se presente no ar ambiente já volatilizada, diferente de outros estudos, onde a amônia ainda estava em processo de volatilização no meio, cama ou solo, para depois ser capturada pelo coletor ficando assim, dependente das condições de volatilização do ambiente, o que pode interferir na eficiência de recuperação. Resultados similares foram encontrados nos estudos de LARA CABEZAS & TRIVELIN (1990) e ARAÚJO et al. (2009) que mostraram que a eficiência da câmara coletora semi-aberta estática de NH₃ varia com a quantidade de amônia volatilizada, tanto em condições de casa de vegetação quanto em condições de campo.

Inferese assim, que o método em estudo apresenta boa eficiência de recuperação de amônia, sem necessidade de curva de ajuste para ambientes com concentrações de até 10 ppm.

Na Figura 3, encontra-se apresentada a curva de regressão linear entre a quantidade de amônia obtida pela esponja e a quantidade de amônia presente nas diferentes concentrações estudadas. Observa-se, pela Figura 4, que, independente da velocidade do ar de exaustão, pode-se ajustar uma equação para toda e qualquer concentração dentro dos valores analisados (até 25ppm), pois existe alta correlação entre os valores de amônia obtidos pela espuma e os valores de amônia calculados no ambiente ($R^2=0,997$). Esta correlação é linear, mostrando que o método é válido e pode ser utilizado dentro das condições analisadas.

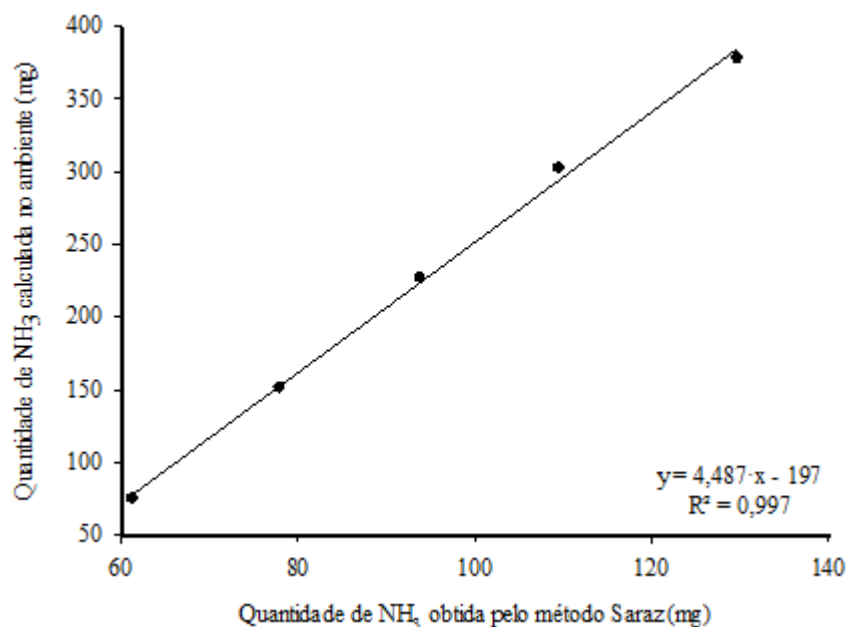


Figura 3 – Curva de regressão linear entre a quantidade de amônia obtida pelo material poroso absorvente (Saraz) e a quantidade de amônia presente no ambiente, para as diferentes concentrações.

A partir da equação de regressão apresentada na Figura 3, foi obtida a equação de calibração para o método Saraz (Equação 3), para determinar a quantidade real de amônia capturada em situações com concentrações de amônia, no ambiente, inferiores a 25 ppm.

$$NH_3(mg) = 4,487 \cdot NH_3\text{obtida}(mg) - 197 \quad [3]$$

Na Figura 4 observa-se que, aplicando a equação de ajuste nos dados obtidos, ocorre uma sobreposição dos valores ajustados com os valores esperados em todas as observações, indicando, assim, que com a utilização da equação de ajuste nos valores de concentrações de amônia obtidos pelo material poroso absorvente o método Saraz mostra-se eficiente em qualquer concentração dentre as avaliadas (até 25 ppm).

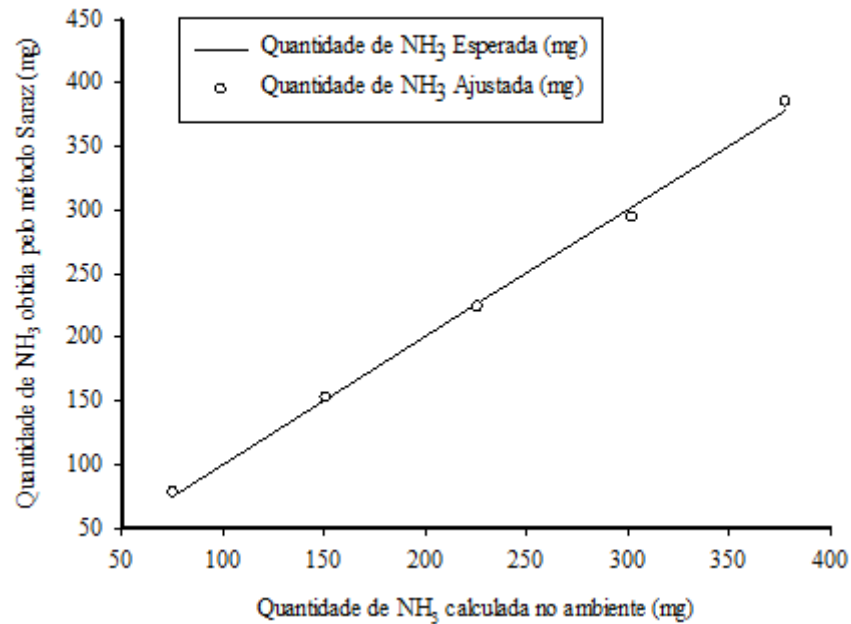


Figura 4 – Representação do ajuste dos valores de quantidade de NH₃ obtidos pelo material poroso absorvente no método Saraz.

Pela Figura 5, pode-se verificar a relação que ocorre entre a concentração de amônia presente no ambiente e a concentração de amônia obtida pelo material poroso absorvente, pelo método Saraz, em diferentes velocidades do ar de exaustão. Pela análise de variância não foi encontrada diferença estatística significativa ($P > 0,05$) entre as três velocidades adotadas (0,1; 1,2 e 2,4 m s⁻¹). Isso indica que a utilização do método Saraz possibilita eficiente recuperação de amônia, sem ser afetado pela velocidade do ar e, como era de se esperar, a quantidade de amônia recuperada diminui com o aumento da velocidade do ar.

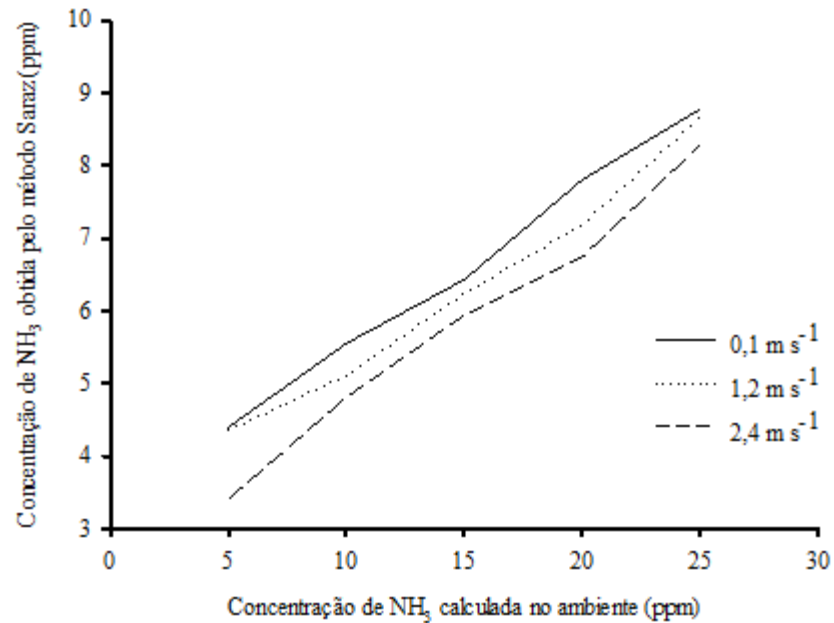


Figura 5 – Curvas representativas das velocidades do ar de exaustão para as concentrações de amônia obtidas pelo material poroso absorvente nas diferentes concentrações no ambiente.

Observa-se, na Figura 6, assim como na Figura 5, que, independente da velocidade do ar de exaustão, o comportamento das curvas é o mesmo para todas as velocidades analisadas. A quantidade de amônia capturada pelo coletor foi diretamente proporcional à concentração de amônia no ambiente; ou seja, quanto maior quantidade de amônia presente no ambiente, maior quantidade foi coletada pelo método Saraz. Ao contrário, observa-se relação inversamente proporcional quando se analisa a velocidade do ar de exaustão com a quantidade de amônia capturada pelo coletor, sendo que quanto maior a velocidade do ar de exaustão, menor é a quantidade de amônia capturada pelo método Saraz.

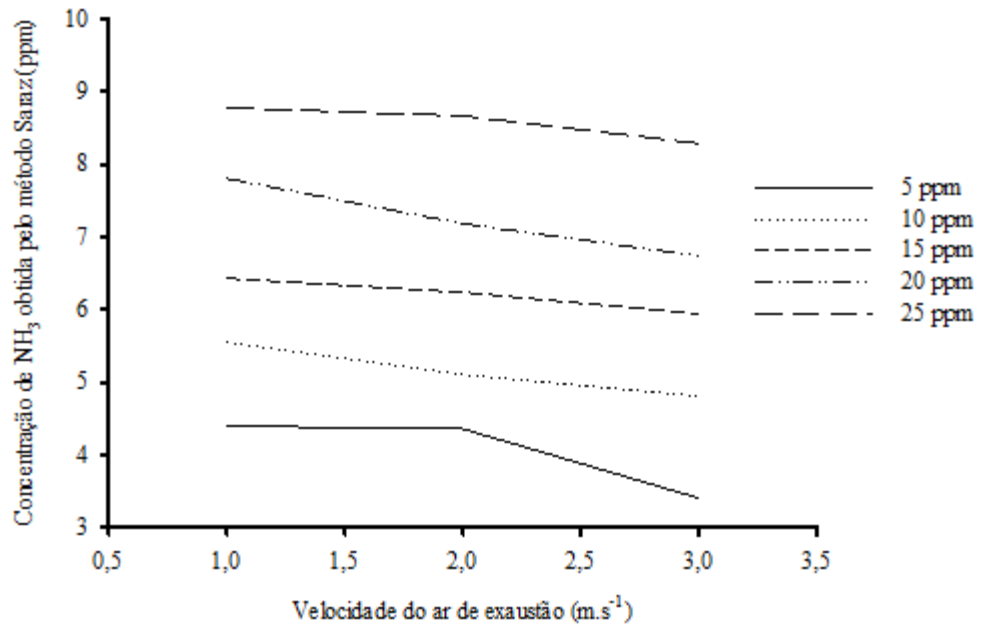


Figura 6 – Curvas representativas das concentrações de amônia no ambiente de acordo com a quantidade capturada pelo material poroso absorvente e com as diferentes velocidades do ar de exaustão analisadas.

Na Figura 7 encontra-se apresentada a curva de regressão entre a taxa de emissão de amônia observada a partir dos dados de amônia obtidos pelo material poroso absorvente (Saraz) e a taxa de emissão de amônia calculada pela concentração esperada no ambiente (ER).

Observa-se alta correlação ($R^2=0,982$) entre os dados, sendo que os valores de taxa de emissão de amônia obtidos pelo método Saraz e os valores de taxa de emissão de amônia calculados no ambiente apresentam uma relação linear, mostrando que o método é válido dentro das condições analisadas.

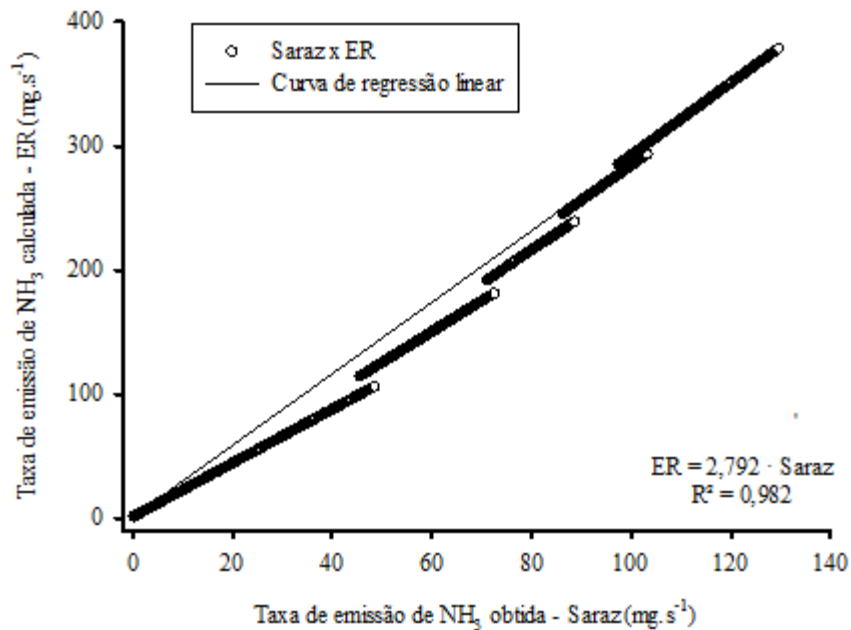


Figura 7 – Relação entre a taxa de emissão de amônia observada (Saraz) e a taxa de emissão de amônia calculada para as diferentes concentrações (ER).

Por meio da curva de regressão linear, apresentada na Figura 7, verifica-se que pode-se estimar a taxa de emissão de amônia real, utilizando o fator de correção de 2,79 sobre os valores de taxa de emissão obtidos pelo método Saraz. Ou seja, o valor real da taxa de emissão de amônia (ER), para velocidades do ar entre 0 e 2,4 m.s⁻¹ e concentrações de até 25 ppm, pode ser calculado, utilizando-se a Equação 4, descrita abaixo.

$$ER = 2,79 \cdot SARAZ \quad [4]$$

Nas Figuras 8 e 9, (onde estão representadas as taxas de emissão de amônia obtidas nas diferentes velocidades do ar de exaustão), pode-se observar o mesmo comportamento encontrado na análise da quantidade de amônia obtida, não tendo sido encontradas diferenças estatísticas significativas ($P > 0,05$) entre os valores de emissão deste gás, para cada uma das diferentes velocidades do ar de exaustão.

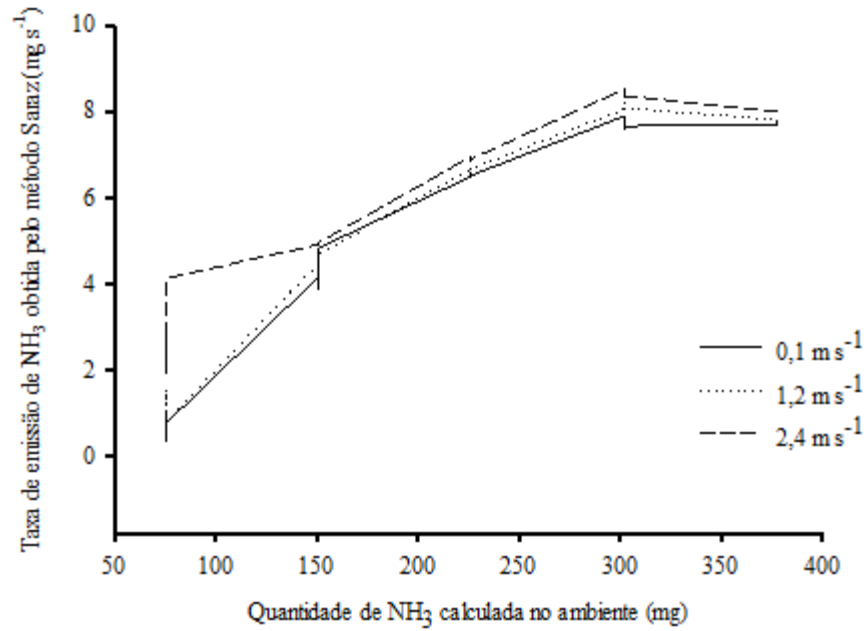


Figura 8 – Representação do comportamento das curvas de velocidade de exaustão para o cálculo da taxa de emissão de amônia nas diferentes concentrações.

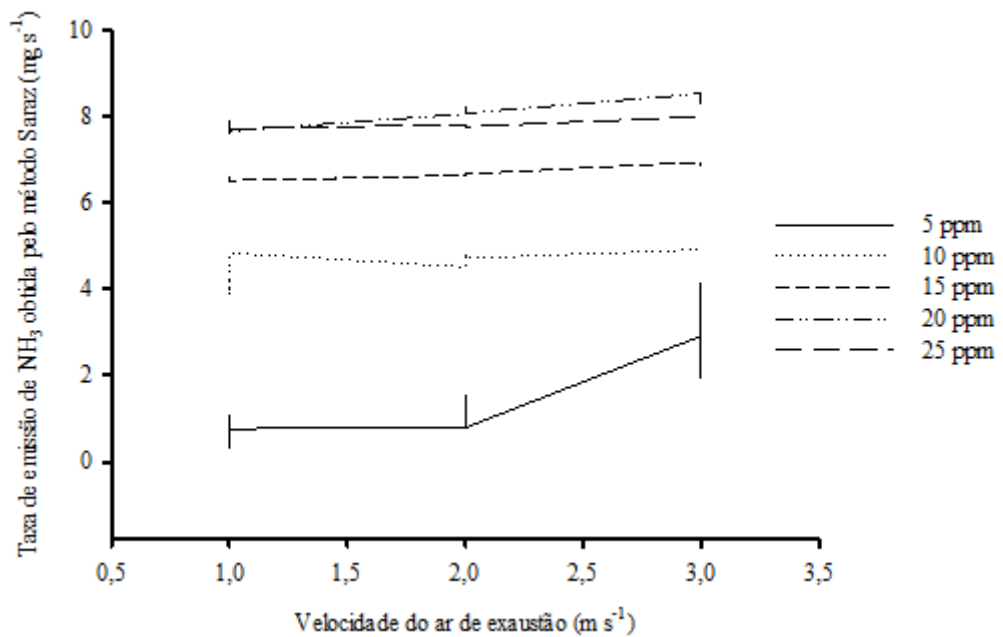


Figura 9 – Representação do comportamento das curvas de concentração de amônia para o cálculo das taxas de emissão em relação à velocidade do ar de exaustão.

Aplicando-se a análise de variância, ANOVA, nos dados de taxa de emissão de amônia, é possível observar a significância entre os valores de emissão deste gás nas diferentes concentrações de amônia presentes no ambiente (Tabela 2). Observa-se que

os valores das taxas de emissão de amônia foram crescentes com aumento da concentração no ambiente, conforme o esperado.

Tabela 2 – Valores médios da taxa de emissão de amônia nas diferentes concentrações analisadas, com respectivos desvios padrões

Concentração NH ₃ (ppm)	Taxa média de emissão de amônia (mg.s ⁻¹)
5	1,59±0,45 ^a
10	4,61±0,16 ^{ab}
15	6,70±0,03 ^{bc}
20	8,10±0,09 ^d
25	7,82±0,02 ^{cd}

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si (P<0,05) pelo Teste de Tukey.

4. CONCLUSÕES

O método Saraz é um método eficiente, sendo que, para determinar concentrações de até 10 ppm não necessita de ajuste, por apresentar uma boa eficiência de recuperação. Para concentrações maiores que 10 ppm, o método pode ser utilizado com confiança por meio da utilização das equações de ajuste geradas tanto para a concentração quanto para a taxa de emissão de amônia obtida pelo método, independente da velocidade do ar.

Com velocidades do ar de até $2,4 \text{ m.s}^{-1}$ e concentrações de amônia de até 25 ppm, o método pode ser usado com confiabilidade, mas, como ocorre com outros métodos, à medida em que ocorre incremento de velocidade do ar e concentração, sua eficiência diminui.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, A. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; HERLING, V. R.; TRIVELIN, P. C. O.; LUZ, P. H. C.; ALVES, T. C.; ROCHETTI, R. C.; BARIONI JÚNIOR, W. Métodos para quantificação da volatilização de amônia em solo fertilizado na superfície com uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, 2011.

AMARAL, M. F. P.; GATES, R. S.; WILKERSON, E. G.; OVERHULTS, D. G.; TINÔCO, I. F. F. Comparison between two systems for ammonia emission monitoring in broiler houses. In: Proceedings, International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, 2007, Broomfield, Colorado. **Anais...** St. Joseph, 2007.

ARAÚJO, E. S.; MARZOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.7, p. 769-776, 2009. ISSN 0100-204X.

CASSUCE, D. C.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; VIEIRA, M. F. A. Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n.1, p. 28-36, 2013. ISSN 0100-6916.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, n.4, p. 799-805, 2005. ISSN 0103-8478.

FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **FAO Statistical Yearbook 2013 World Food and Agriculture**. FAO, Roma. 2013. ISSN 2225-7373.

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. ISSN 0103-5053.

GATES, R.S.; XIN, H.; CASEY, K. D.; LIANG, Y.; WHEELER, E. F. Method for measuring ammonia emissions from poultry houses. **Journal Applied Poultry**, v. 14, n. 3, p. 622-634, 2005.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J. O. Método simples e acessível para determinar amônia liberada pela cama aviária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p. 824-829, 2001. ISSN 1806-9290.

LARA CABEZAS, W. A. R. & TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 345-352, 1990.

MEDEIROS, R.; SANTOS, B. J. M.; FREITAS, M.; SILVA, O. A.; ALVES, F. F.; FERREIRA, E. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da umidade na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2321-2326, 2008. ISSN 0103-8478.

MENEGALI, I.; TINOCO, I. F. F.; CARVALHO, C. C. S.; SOUZA, C. F.; MARTINS, J. H. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n.1, p. 106-113, 2013. ISSN 1807-1929.

NICHOLSON, F.A.; CHAMBERS, B. J.; WALKER, A. W. Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. **Biosystems Engineering**, v. 89, n. 2, p. 175-185, 2004.

OSORIO, J. A.; TINOCO, I. F.; CIRO, H. J. Ammonia: A review about concentration and emission models in livestock structures. **Dyna**, Medellín, v. 76, n. 1, p. 89-99, 2009.

OSORIO, J. A. **Determinação experimental e modelagem em CFD das taxas de emissões de amônia de camas de aviários e distribuições de concentrações, temperatura e velocidade do ar no interior de galpões avícolas**. Viçosa: 136 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010.

OSORIO SARAZ, J. A.; TINOCO, I. F. F.; GATES, R. S.; PAULA, M. O.; MENDES, L. B. Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. **Dyna**, Medellín, v.80, n.178, p. 51-60, 2013.

OWADA, A. N.; NÃÃS, I. A.; MOURA, I. J.; BARACHO, M. S. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 611-618, 2007.

RONG, L.; NIELSEN, P. V.; ZHANG, G. Effects of airflow and liquid temperature on ammonia mass transfer above an emission surface: Experimental study on emission rate. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 20, p. 4654-4661, 2009.

TINÔCO, I. F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A.; SILVA, J. N.; PUGLIESI, N. L. Placas porosas utilizadas em sistemas de resfriamento evaporativo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.12, n.1, p.17-23, 2004.

TINOCO, I. F. F.; OSORIO, J. A. Control ambiental y la agroindustria de produccion animal en el Brasil y America Latina. In: CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA, 2008, Medellín, Colômbia. **Anais...** Medellín, Colômbia, 2008.

VIGODERIS, R. B.; CORDEIRO, M. B.; TINÔCO, I. F. F.; MENEGALI, I.; SOUZA JÚNIOR, J. P.; HOLANDA, M. C. R. Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1381-1386, 2010. ISSN 1806-9290.

CONCLUSÕES GERAIS

O método Saraz mostrou-se mais apropriado que o Ferm Tube. Porém a escolha entre um ou outro método vai depender de uma série de condições, como recursos econômicos, disponibilidade de reagentes e tipos de análises possíveis de serem realizadas em laboratório, além da precisão desejada, grau de dificuldade de operação, entre outros.

O SMDAE é um método eficiente, que não precisa de ajuste para determinar concentrações de até 10 ppm, por apresentar uma boa eficiência de recuperação de amônia no ambiente. Para concentrações maiores que 10 ppm, o método pode ser utilizado com confiança, desde que se aplique as equações de ajuste geradas para concentração e taxa de emissão de amônia obtidas pelo método, independente da velocidade do ar.

Em condições de velocidades do ar de até $2,4 \text{ m.s}^{-1}$ e concentrações de amônia de até 25 ppm, o método pode ser usado com confiabilidade, mas, como ocorre com outros métodos, à medida em que ocorre incremento de velocidade do ar e concentração, sua eficiência diminui.