

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO - UENF**

FERNANDA GOMES LINHARES

**DETECÇÃO DE AMÔNIA EM GRANJA AVÍCOLA E ANÁLISE DE GASES
ESTUFA DA COMPOSTAGEM DE CAMA DE FRANGO**

Campos dos Goytacazes - RJ

Julho - 2019

FERNANDA GOMES LINHARES

DETECÇÃO DE AMÔNIA EM GRANJA AVÍCOLA E ANÁLISE DE
GASES ESTUFA DA COMPOSTAGEM DE CAMA DE FRANGO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Naturais, na área de concentração em Ciências Ambientais.

Orientador: Marcelo Silva Sthel

Co-orientadora: Karoll Andrea Alfonso Torres Cordido

Campos dos Goytacazes – RJ

Julho – 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

L755

Linhares, Fernanda Gomes.

Detecção de Amônia em Granja Avícola e Análise de Gases Estufa da Compostagem de Cama de Frango / Fernanda Gomes Linhares. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

101 f. : il.

Bibliografia: 95 - 101.

Tese (Doutorado em Ciências Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, 2019.

Orientador: Marcelo Silva Sthel.

Coorientadora: Karoll Andrea Alfonso Torres Cordido.

1. Amônia. 2. Cama avícola. 3. Compostagem. 4. Espectroscopia fotoacústica. 5. Gases estufa. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 500

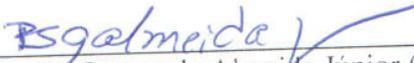
DETECÇÃO DE AMÔNIA EM GRANJA AVÍCOLA E ANÁLISE DE GASES
ESTUFA DA COMPOSTAGEM DE CAMA DE FRANGO

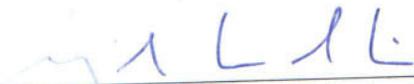
FERNANDA GOMES LINHARES

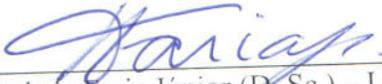
Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Naturais, na área de concentração em Ciências Ambientais.

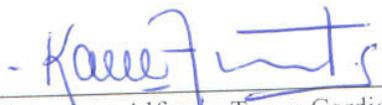
Aprovada em12 de Julho de 2019.....

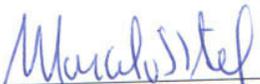
Comissão examinadora:


Prof. Paulo Sérgio Gomes de Almeida Júnior (D. Sc.) – IFF Campos


Prof. Marcelo Gomes da Silva (D. Sc.) – LCFIS/CCT/UENF


Prof. Roberto da Trindade Faria Júnior (D. Sc.) – LCFIS/CCT/UENF


Profª Karoll Andrea Alfonso Torres Cordido (D. Sc.) – LZO/CCTA/UENF
(Co-orientadora)


Prof. Marcelo Silva Sthel (D. Sc.) – LCFIS/CCT/UENF
(Orientador)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me sustentar até aqui com saúde e me fazer resiliente às adversidades surgidas, me mostrando os caminhos a seguir.

A minha mãe Tânia que é a razão da minha vida, razão pela qual precisei dividir meu doutorado, algumas ausências. Foram muitos momentos de provação, ainda é, mas a cada dia tenho certeza que venceremos, Deus está conosco. Sua companhia me dá força para vencer qualquer barreira.

A meu pai Josevaldo, meu herói, pela dedicação e todo amor por mim. Por me ouvir e estar sempre disposto.

Obrigada papai e mamãe por rogar a Deus por mim. Tenho certeza que suas orações são essenciais para minha existência.

A meu esposo Igor, por todo amor, carinho, companheirismo, compreensão e por me incentivar a aprender novos saberes. Você me completa em tudo.

A toda minha família pelo apoio e orações. Em especial a tia Enilda, pela dedicação e amor por mim.

A meu orientador Marcelo Sthel, idealizador desta pesquisa, por confiar em mim, por todas as palavras de ânimo e encorajamento e pela compreensão. Você é um ser iluminado por Deus.

A minha co-orientadora Karoll Torres-Cordido, por aceitar o desafio e contribuir do início ao fim com todo vigor para que o experimento fosse possível. Obrigada por todo conhecimento em avicultura, não foi fácil, porém gratificante.

À profa. Maria Priscila por todo aprendizado. Você é uma profissional inspiradora.

Ao professor Marcelo Gomes pela colaboração e toda atenção desde o mestrado.

Aos técnicos do LCFIS Luís Meirelles e Israel Esquef pela disponibilidade.

À Karina Nogueira, co-orientanda de IC, que contribuiu fortemente na pesquisa.

Aos amigos do grupo de Avicultura do LZO-Uenf, Gabriela, Iago, Camilla, Yuri, Samuel e Paulo César (técnico) por todo suor durante o experimento. Em especial a Marize por acompanhar todo o processo, sempre disposta.

Aos amigos do grupo de Fotoacústica LCFIS, Geórgia, Marcenilda, Daniel, Kariza, Sâmylla, Liana, Mila, Torquato, Geysa, Clébio, Laysa, Rosanna e a todos os professores do LCFIS por toda contribuição.

Ao prof. Wander Gomes, tutor do PET Ciências - IFF pelo incentivo à pesquisa.

A todos os amigos pelos momentos de descontração.

A EMBRAPA Solos por ceder o biorreator e acreditar no potencial do grupo de pesquisa em fotoacústica. À Fazenda Santa Clara que cedeu os resíduos de coco e à Granja Brunoro por ceder as amostras de cama de frango.

Enfim, agradeço à UENF e à CAPES e a toda população brasileira por financiarem esta pesquisa.

“Nunca ande pelo caminho já traçado, pois ele
conduz somente até onde os outros já foram.”

Alexander Graham Bell

RESUMO

O aumento na produção de alimentos resulta no crescimento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), seja na pecuária ou na agricultura. Como o Brasil é um grande produtor agropecuário, também está em 4º lugar entre os países que mais emitem GEE. A avicultura brasileira é a maior exportadora mundial de carne de frango, assim o grande volume de resíduos de cama aviária produz concentrações significativas dos gases dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), provenientes da degradação de matéria orgânica. Outro problema envolvendo gases no setor avícola é a produção de amônia (NH_3) a partir da decomposição das excretas das aves. Esse gás é altamente danoso para as aves e para os trabalhadores da granja, pois afeta o sistema respiratório, causando de imediato lacrimejamento e coriza e, em geral, não existe monitoramento de amônia. Desse modo, tornam-se importantes estudos que identifiquem as emissões dos gases neste setor. Portanto, o objetivo deste trabalho foi utilizar a detecção fotoacústica de gases na avicultura de corte a partir de diferentes fontes de radiação, tanto as emissões de NH_3 indoor nos galpões avícolas quanto as emissões de N_2O , CH_4 no processo de compostagem da cama aviária. Na primeira parte do trabalho analisou-se NH_3 por meio do sensor fotoacústico acoplado a um laser de diodo durante o ciclo de vida do frango. Na segunda parte, foram selecionadas amostras de cama de frango de diferentes substratos para análise dos gases CH_4 e N_2O , via fotoacústica com Laser de Cascata Quântica (LCQ), durante o processo de compostagem. Também foram monitorados a temperatura e os gases O_2 e CO_2 , responsáveis pela respirometria do processo de compostagem. As amostras de cama utilizadas para compostagem tiveram origens distintas, sendo duas oriundas de granja comercial e duas de experimentos desenvolvidos nas dependências da UENF. As primeiras amostras foram compostas por uma mistura de palha de café, maravalha e pó de serragem como substrato, enquanto as outras foram compostas unicamente por maravalha ou por fibra de coco. Os resultados obtidos mostraram que a cama de fibra de coco emitiu menos NH_3 que a cama de maravalha. Porém, nos resultados de compostagem, observou-se que a maravalha emitiu menos gases estufa em comparação à fibra de coco e à mistura com palha de café. Conclui-se que a técnica fotoacústica empregada na avicultura foi sensível e seletiva para identificação dos gases em estudo.

Palavras-chave: Amônia. Cama avícola. Compostagem. Espectroscopia Fotoacústica. Gases estufa.

ABSTRACT

The increase of food production results in the growth of greenhouse gas (GHG) emissions whether in livestock or in agriculture. As Brazil is a major agricultural producer, it is also in 4th place among the countries that emit GHG the most. Brazilian poultry is the world's largest exporter of poultry meat, so the large volume of poultry litter waste produces significant concentrations of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) gases from organic matter degradation. Another problem involving gases in the poultry sector is the production of ammonia (NH₃) from the decomposition of bird excreta. This gas is highly harmful to poultry and farm workers as it affects the respiratory system, causing immediate tearing and coryza, and generally there is no ammonia monitoring. Thus, studies that identify the gas emissions in this sector becomes important. Therefore, the objective of this work was using photoacoustic gas detection in poultry from different radiation sources, both indoor NH₃ emissions in poultry houses and N₂O, CH₄ emissions in the poultry litter composting process. In the first part of the work, NH₃ was analyzed by means of the photoacoustic sensor coupled to a diode laser during the broilers life cycle. In the second part, broiler litter samples from different substrates were selected for CH₄ and N₂O gas analysis, using photoacoustics with Quantum Cascade Laser (QCL), during the composting process. Temperature and O₂ and CO₂ gases responsible for the respirometry of the composting process were also monitored. The broiler litter samples used for composting had different origins, two from commercial farms and two from experiments developed at UENF facilities. The first samples were composed of a mixture of coffee straw, shavings and sawdust powder as substrate, while the others were composed only of shavings or coconut fiber. The results obtained showed that the coconut fiber broiler litter emitted less NH₃ than the shavings broiler litter. However, in the composting results, it was observed that shavings emitted less greenhouse gases compared to coconut fiber and coffee straw mixture. It was concluded that the photoacoustic technique used in poultry farming was sensitive and selective to identify the gases under study.

Key words: Ammonia. Poultry litter. Composting. Photoacoustic spectroscopy. greenhouse gases.

Índice de Figuras

Figura 1: As principais regiões da atmosfera terrestre.....	17
Figura 2: Espectro de absorção de moléculas.....	19
Figura 3: Desenho esquemático do efeito estufa.....	19
Figura 4: Comparação do efeito estufa natural e antrópico.....	20
Figura 5: Tendências de CO ₂ atmosférico.....	21
Figura 6: Tendências de CH ₄ atmosférica.....	23
Figura 7: Tendência de N ₂ O atmosférico.....	24
Figura 8: Principais países exportadores de carne de frango em 2018 (a). Destino da produção brasileira de carne de frango (b).....	28
Figura 9: Produção brasileira de carne de frango de 2006 a 2018.....	29
Figura 10: Abate de frango por estado no Brasil em 2018.....	30
Figura 11: Evolução da cura do composto.....	35
Figura 12: Esquema do recipiente proposto para determinação de amônia volatilizada.....	42
Figura 13: Membrana hidrofóbica (PONZONI, 2007).....	43
Figura 14: Unidade móvel de monitoramento de emissões do ar (MAEMU) (MOODY et al., 2008a).....	44
Figura 15: Desenho esquemático dos processos que ocorrem dentro de uma célula fotoacústica.....	46
Figura 16: Diagrama de energia de um LCQ.....	47
Figura 17: Foto da célula fotoacústica ressonante diferencial.....	48
Figura 18: Planta baixa do galpão e cortes transversais com visão das cortinas: Penúltima semana (a) e última semana (b).....	52
Figura 19: Galpão na última semana com parte das cortinas e porta abertas.....	52
Figura 20: Secagem da fibra de coco.....	53
Figura 21: Cama no início da criação com fibra de coco (a) e com maravalha (b).....	53
Figura 22: Desenho esquemático do sensor fotoacústico com laser de diodo.....	55
Figura 23: Varredura de temperatura de NH ₃ (a). Espectro experimental de NH ₃ obtido do banco de dados PNNL (b).....	56
Figura 24: Cascata de diluições de NH ₃ (a) e Curva de calibração de NH ₃ (b).....	57
Figura 25: Desenho esquemático do espectrômetro fotoacústico acoplado ao LCQ.....	58

Figura 26: Varredura da frequência de ressonância da célula fotoacústica para 10 ppm de N ₂ O	60
Figura 27: Varredura de temperatura de CH ₄ e N ₂ O (a). Espectros experimentais de CH ₄ , N ₂ O e H ₂ O obtidos do banco de dados PNNL (b)	61
Figura 28: Curva de diluição N ₂ O	62
Figura 29: Curva de diluição CH ₄	63
Figura 30: Procedimento de coleta de gases.....	64
Figura 31: Imagem real do aparato para compostagem	65
Figura 32: Modelo esquemático do biorreator aeróbio com multicontrol de temperatura (AMCT)....	65
Figura 33: Comportamento da temperatura do sistema de CDT de uma amostra em compostagem	66
Figura 34: Vista panorâmica da Granja Brunoro, Castelo/ES.....	67
Figura 35: Galpão avícola modelo <i>dark house</i>	68
Figura 36: Palha de café (a). Pó de serragem sobrepondo a palha de café sendo utilizado como cama de frango (b).	69
Figura 37: Galpão de depósito da Cama de frango (a). Amostra de cama Castelo umidificada para Compostagem (b).....	69
Figura 38: Galpão modelo do Projeto Mais Frangos	70
Figura 39: Galpão com cinco boxes para experimento no biotério-CCTA-UENF.....	70
Figura 40: Curva de diluição CO ₂ (a) e O ₂ (b)	71
Figura 41: Fases de crescimento dos frangos de corte.....	72
Figura 42: NH ₃ do galpão com cama de Fibra de Coco (a) e Maravalha (b)	74
Figura 43: Fibra de casca de coco utilizada como substrato para cama de frango de corte.	76
Figura 44: Temperatura e concentração de O ₂ e CO ₂ durante a compostagem da amostra Castelo I....	80
Figura 45: Concentrações de CH ₄ e N ₂ O durante a compostagem da amostra Castelo I.....	80
Figura 46: Espectros fotoacústicos durante a compostagem da amostra Castelo I.....	81
Figura 47: Temperatura e concentração de O ₂ e CO ₂ durante a compostagem da amostra Castelo II..	82
Figura 48: Concentrações de CH ₄ e N ₂ O durante a compostagem da amostra Castelo II.....	83
Figura 49: Espectros fotoacústicos durante a compostagem da amostra Castelo II.....	84
Figura 50: Concentração de N ₂ O (a) e CH ₄ (b) das amostras Castelo I e II.....	85
Figura 51: Temperatura e concentração de O ₂ e CO ₂ durante a compostagem da amostra maravalha..	87

Figura 52: Produção de CH ₄ e N ₂ O de cama de maravalha durante a compostagem	87
Figura 53: Espectro fotoacústico da compostagem de cama de maravalha.....	88
Figura 54: Temperatura e concentração de O ₂ e CO ₂ durante a compostagem amostra fibra de coco. .	89
Figura 55: Produção de CH ₄ e N ₂ O da amostra fibra de coco durante a compostagem.....	90
Figura 56: Espectros fotoacústicos da cama de fibra de coco em compostagem	91

Índice de Tabelas

Tabela 1: Efeitos da exposição ao gás metano em humanos	23
Tabela 2: Níveis de concentração máxima de NH ₃ listadas para saúde ocupacional.....	32
Tabela 3: Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto (resultados em material seco a 110°C).....	34
Tabela 4: Guia de temperatura ambiente de acordo à umidade relativa do ar e o peso corporal para a criação de frangos de corte (COBB, 2004).	50
Tabela 5: Diretrizes de qualidade do ar em galpão avícola (COBB, 2009).	51
Tabela 6: Emissão de NH ₃ (ppm) pela cama com diferentes substratos ao longo da criação de frangos de corte.....	75
Tabela 7: Composição química dos substratos e das camas na criação experimental de frangos de corte:	77
Tabela 8: Resultados de pH, Ca, Mg, P ₂ O ₅ e K ₂ O dos substratos e das camas pós-criação.....	78

Sumário

Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tabelas	x
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo central.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 A Atmosfera e Problemas Ambientais.....	17
3.1.1 Efeito estufa e sua intensificação	18
3.1.2 Gases estufa: Dióxido de carbono, Metano e Óxido nitroso	21
Dióxido de carbono.....	21
Metano	22
Óxido nitroso.....	23
3.1.3 Formação de material particulado	24
3.2 Impactos ambientais da atividade agropecuária	26
3.3 Avicultura no Brasil e no mundo: Importância socioeconômica no Brasil.....	28
3.4 Problemas ambientais gerados pela atividade avícola de corte.....	30
3.4.1 Amônia e seus impactos na saúde (animal e humana).....	31
3.4.2 Compostagem.....	33
3.4.3 Cama de aviário.....	36
3.5 Técnicas para detecção de amônia utilizadas em granjas avícolas.....	41
3.6 Espectroscopia Fotoacústica	45
3.6.1 Fonte de radiação: Laser de Cascata Quântica (LCQ).....	46
3.6.2 Célula fotoacústica ressonante diferencial	48
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
4.1 Galpão avícola experimental e aves	50

4.2	Metodologia de secagem da fibra de coco	52
4.3	Composição química da cama pré e pós-criação.....	54
4.4	Sensor fotoacústico para detecção de NH ₃	55
4.4.1	Condições de operação do sistema fotoacústico para detecção de NH ₃	55
4.5	Sensor fotoacústico para detecção de N ₂ O e CH ₄	58
4.5.1	Condições de operação do sistema fotoacústico para detecção de CH ₄ e N ₂ O	59
4.6	Coleta das amostras gasosas do galpão.....	63
4.7	Compostagem de cama de frango em biorreator	64
4.7.1	Biorreator aeróbio de bancada.....	64
4.7.2	Amostras para compostagem	67
4.7.3	Calibração dos sensores O ₂ e CO ₂	71
4.8	Análise dos dados	71
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
5.1	Detecção de NH ₃ nos galpões avícolas.....	72
5.2	Composição química pré e pós-criação	76
5.3	Detecção dos gases CH ₄ ,N ₂ O, CO ₂ e O ₂ da compostagem	79
5.3.1	Amostra Castelo I.....	79
5.3.2	Amostra Castelo II.....	82
5.3.3	Unidade experimental: Cama de maravalha.....	86
5.3.4	Unidade experimental: Cama de fibra de coco.....	88
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	92
7	PRODUÇÃO ACADÊMICA DURANTE O DOUTORADO	94
8	REFERÊNCIAS.....	95

1 INTRODUÇÃO

O estudo de detecção de gases em nível de traço utilizando a espectroscopia fotoacústica tem proporcionado grandes avanços em pesquisas de diversas áreas no Brasil e no mundo, como controle de amadurecimento de frutos como o mamão (CORREA et al., 2011; DA SILVA et al., 2003; JANSSEN et al., 2014; POPA et al., 2014), controle de nitrogênio em solos (FILHO et al., 2006), detecção de gases provenientes de escape de motores a combustão (ROCHA et al., 2012; TEODORO et al., 2010).

Na Zootecnia, há a preocupação com os gases amônia, metano e óxido nitroso, haja vista os prejuízos à saúde e ao ambiente (ANDERSON; BEARD; HANSON, 1964; CONCEIÇÃO; JOHNSON; WATHES, 1989; HASSOUNA et al., 2013; WATHES et al., 1998). Na avicultura são muito utilizados para análise de gases os sensores eletroquímicos, os quais possuem sensibilidade menor se comparado à fotoacústica. A técnica fotoacústica que dispomos nesta pesquisa possui alta sensibilidade, devido ao ótimo limite de detecção podendo medir partes por bilhão em volume (ppbv) e seletividade por se usar um laser de comprimento de onda sintonizável (LIMA et al., 2014; ROCHA et al., 2014).

O gás amônia (NH_3) presente em granjas avícolas é decorrente da decomposição do ácido úrico eliminado pelas aves. Este gás pode causar malefícios à saúde humana e animal e prejuízos ao sistema produtivo. A exposição de pessoas e animais a altas concentrações causa irritação, cegueira temporária e severos danos aos olhos. Caso seja ingerida em forma de amônio (NH_4^+), provoca ação corrosiva na boca, esôfago e estômago. O efeito danoso sobre a saúde depende da concentração de gás e da duração à exposição (BARKER; CAROLINA; HUMENIK, 1986; FERREIRA, 2010).

Os gases óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) são chamados de gases de efeito estufa, colaborando na intensificação do aquecimento global. Apesar de ter baixa abundância na troposfera terrestre, se comparado ao dióxido de carbono (CO_2), o N_2O possui potencial estufa 296 vezes maior que o CO_2 . O metano, por sua vez, tem esse potencial estufa menor, cerca de 23 vezes, isto é, 1 unidade de metano equivale a 23 unidades de CO_2 (EPA, 2010; IPCC, 2012).

No âmbito da indústria de alimentos, o Brasil ocupa o primeiro lugar no ranking de exportação de carne de frango. Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), cerca de um terço da produção avícola de corte do país destina-se a abastecer o mercado externo, um volume que vem crescendo ao longo dos anos. Entretanto, desde o ano de 2014, o valor de mercado do produto tem reduzido (ABPA, 2017). Isso desafia os produtores a reduzir custos da produção sem perder a qualidade, a fim de manter um preço competitivo.

Levando em consideração a importância da avicultura para a economia brasileira, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas de detecção de gases para o monitoramento das atividades avícolas, de modo a torná-la mais sustentável ambiental e socialmente.

O monitoramento da perda de nitrogênio em forma de amônia em galpões avícola é uma carência já relatada na literatura (YANG; LORIMOR; XIN, 2000). A partir da avaliação da volatilização de amônia juntamente com outros fatores, como monitoramento da temperatura e umidade é possível estimar a qualidade do ar nestes ambientes e, conseqüentemente a saúde desses animais. Além disso, é importante pensar na grande quantidade de resíduos gerados pela avicultura brasileira. Sabe-se que as excretas das aves são abundantes em nutrientes, sendo uma importante fonte de nitrogênio. Uma saída econômica e sustentável é a compostagem que resulta em um fertilizante bastante eficiente.

Embora a compostagem traga muitas vantagens, este processo emite gases estufa como óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4), além do CO_2 (OSADA; KURODA; YONAGA, 2000). Portanto, é de extrema importância estudar o comportamento destes gases neste processo, já que o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de gases efeito estufa com a Contribuição Nacionalmente Determinada (Nationally Determined Contribution - NDC) (UNFCCC) (REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 2015).

Convencionalmente, a maravalha é utilizada para cama de frango, no entanto, dependendo da localização da granja, o custo com frete deste material pode não ser atrativo. Assim sendo, é de suma importância que se aproveite os resíduos regionais, quando houver e se estes possuírem características adequadas para cama (AVILA et al., 2007). Dessa forma, se faz necessário estudar o uso de resíduos regionais para esta finalidade, já que reduz o lixo e o custo de produção.

Na região Norte Fluminense - RJ novos empreendimentos no ramo avícola de corte estão surgindo. Além disso, essa região possui uma grande produção de coco, gerando grandes volumes de resíduo orgânico e na região Sul do Espírito Santo há grande oferta de palha de café. Ao empregar a fibra da casca do coco ou a palha de café na cadeia produtiva avícola, além de reduzir a demanda de corte de árvores para fabricação de maravalha, aumenta a sustentabilidade da cadeia produtiva, tornando o resíduo um subproduto.

Este trabalho objetivou a detecção fotoacústica de gases na avicultura de corte, realizando um estudo do gás NH_3 indoor em galpão avícola e dos gases estufa óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) e também os gases O_2 e CO_2 detectados por sensores eletroquímico e infravermelho, respectivamente. Esses gases foram produzidos durante o processo de compostagem da cama de frango de diferentes substratos, maravalha e fibra de coco e palha de café.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica dos temas relacionados a este trabalho, onde, inicialmente são abordados brevemente os problemas ambientais atmosféricos, como o efeito estufa e a formação de material particulado por NH_3 . Também é apresentada uma revisão bibliográfica dos impactos ambientais da atividade agropecuária, da importância da avicultura no Brasil e no mundo e os problemas ambientais gerados por essa atividade. Além desses, foi feita uma breve revisão sobre a amônia e saúde, sobre compostagem e cama de aviário e as técnicas utilizadas para detecção de amônia em granjas avícolas. Por fim, apresentamos uma revisão da espectroscopia fotoacústica, técnica empregada nesta pesquisa.

O terceiro capítulo aborda a metodologia aplicada nesta pesquisa, onde apresentamos a unidade experimental do galpão avícola, onde foram desenvolvidos os experimentos para medição de NH_3 de camas distintas, a metodologia de secagem da fibra de coco, as análises da cama antes e depois do experimento, tais como teor de matéria seca, teor de umidade, teor de matéria mineral e a análise química do material. Além disso, foram descritos a metodologia da detecção de NH_3 dos galpões avícolas e a metodologia de compostagem e detecção dos gases gerados nesse processo.

O quarto capítulo apresenta os resultados das emissões de NH_3 dos galpões com fibra de coco e com maravalha. Também são apresentados os resultados de matéria seca, de umidade, de matéria mineral e da caracterização química da cama de fibra de coco e de maravalha do experimento onde se analisou as emissões de NH_3 . Além desses, também apresentamos os resultados das análises de gases das compostagens das amostras de cama de frango. Por fim, as considerações finais e perspectivas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo central

Utilizar sistemas fotoacústicos com fontes de radiação: laser de cascata quântica (LCQ) e laser de diodo para análise de gases traço na avicultura.

2.2 Objetivos específicos

- ξ Utilizar fibra de coco como alternativa de cama de aviário em substituição de maravalha;
- ξ Identificar e quantificar traços de amônia em granja avícola ao longo dos 42 dias de vida dos frangos no espectrômetro fotoacústico acoplado ao laser de diodo;
- ξ Comparar a volatilização de amônia entre os tipos de cama (maravalha x fibra de coco);
- ξ Identificar e quantificar traços de metano e óxido nitroso proveniente da compostagem de cama de aviário a partir de maravalha convencional, fibra de coco e cama de granja comercial com palha de café, utilizando o espectrômetro fotoacústico acoplado ao LCQ;
- ξ Analisar o comportamento dos gases O_2 e CO_2 pela respirometria e temperatura da amostra durante a compostagem da cama de frango;
- ξ Comparar a produção desses gases nas amostras de cama durante a compostagem;
- ξ Analisar as vantagens e desvantagens da fibra de coco como cama de frango.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Atmosfera e Problemas Ambientais

A radiação solar que atinge a Terra está compreendida entre 0,12 μm e 3 μm . Uma pequena parte dessa radiação é composta por luz ultravioleta - UV, situada na região 0,12 μm até 0,4 μm . A luz visível compreende a região entre 0,4 μm e 0,7 μm , e luz infravermelha - IV, 0,7 μm a 3 μm (ODUM, 2012).

Do total da luz solar, 30% é refletida de volta para o espaço sem ser absorvida, 20% da radiação solar é absorvida por gases presentes na atmosfera, e 50% efetivamente atinge a superfície da Terra e é absorvida pelos corpos d'água, solo, vegetação, prédios, entre outros, sendo que mais da metade é radiação IV e o restante luz visível (BAIRD; CANN, 2011).

A atmosfera é uma camada gasosa que envolve a superfície da Terra. Possui cerca de 1000 quilômetros de espessura e, por conveniência de estudo, é subdividida em camadas concêntricas, de acordo com o perfil vertical de temperatura, como mostra a figura 1. Uma de suas principais funções é filtrar a radiação solar que causam danos à vida terrestre: em humanos ocasiona queimaduras solares e melanoma maligno, lesões e cataratas, e supressão do sistema imunológico; em plantas, podem causar danos no DNA (ASSADOURIAN, 2008).

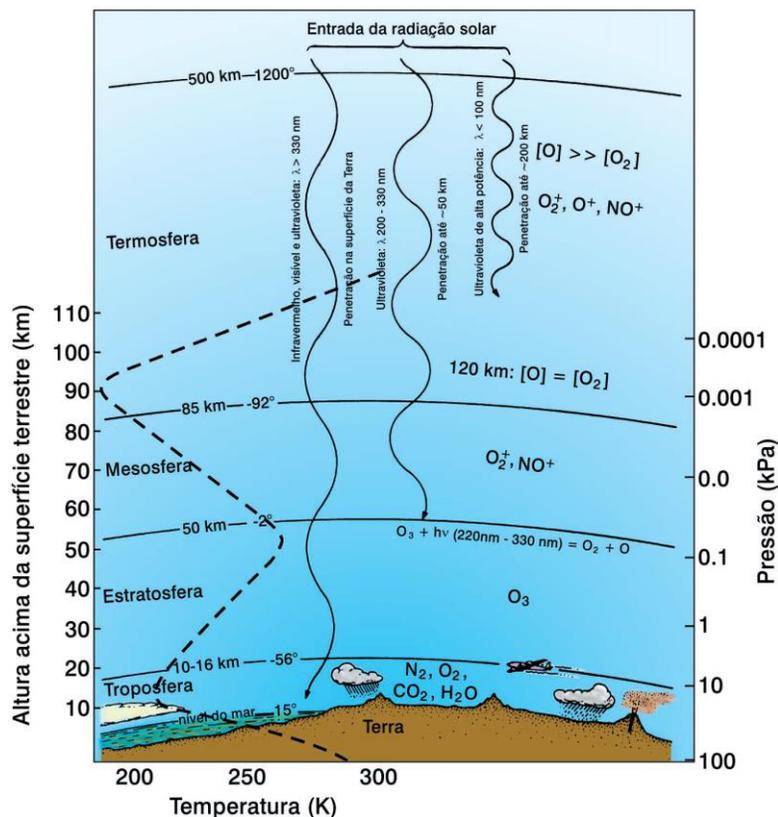


Figura 1: As principais regiões da atmosfera terrestre
Fonte: (MOZETO, 2001)

Dentro da faixa de radiação ultravioleta, os chamados UV-C, são raios extremamente danosos à vida, no entanto, não ultrapassam a termosfera, sendo filtrados pelo Oxigênio diatômico (O_2) presentes nessa camada, os quais absorvem luz UV com comprimentos de onda até $0,22 \mu\text{m}$. Já a estratosfera, que engloba a camada de ozônio (O_3), é responsável por filtrar os raios UV na região entre $0,22$ e $0,32 \mu\text{m}$, correspondendo todos os raios UV-B. A radiação UV-A compreendida entre $0,32$ - $0,40 \mu\text{m}$, não é absorvida por nenhum constituinte na atmosfera. Este tipo de radiação ultravioleta é biologicamente menos nociva à vida humana (BAIRD; CANN, 2011; MACÊDO, 2002).

A troposfera, camada mais próxima da superfície, concentra cerca de 75% de todos os gases que compõem a atmosfera e, praticamente, todo o vapor de água. Esta camada apresenta temperatura maior próxima ao solo e tende a se resfriar a proporção que a altitude aumenta como mostra a linha pontilhada da figura 1. Sua temperatura média varia de 20°C na camada inferior a -60°C na camada superior (MACÊDO, 2002).

3.1.1 Efeito estufa e sua intensificação

O efeito estufa natural tem mantido a temperatura da superfície da Terra por volta de 30°C mais quente do que ela seria na ausência dele (-15°C), possibilitando a existência de vida humana (MACÊDO, 2002). Parte da radiação solar é absorvida pela Terra e re-emitida na região do infravermelho (IV), compreendida entre 4 e $50 \mu\text{m}$, (BAIRD; CANN, 2011)

Alguns gases presentes na troposfera absorvem a radiação re-emitida pela Terra, já que a frequência de movimento vibracional dessas moléculas gasosas coincide com a frequência na região dessa radiação. Como exemplo, tem-se o metano (CH_4) em $7,7 \mu\text{m}$, o óxido nitroso (N_2O) em $8,6 \mu\text{m}$ e principalmente o dióxido de carbono (CO_2) em $4,3 \mu\text{m}$ e $15 \mu\text{m}$ e o vapor d'água em $6,3 \mu\text{m}$ e $18 \mu\text{m}$, como ilustra a figura 2 (BAIRD; CANN, 2011; VIANELLO; ALVES, 2006).

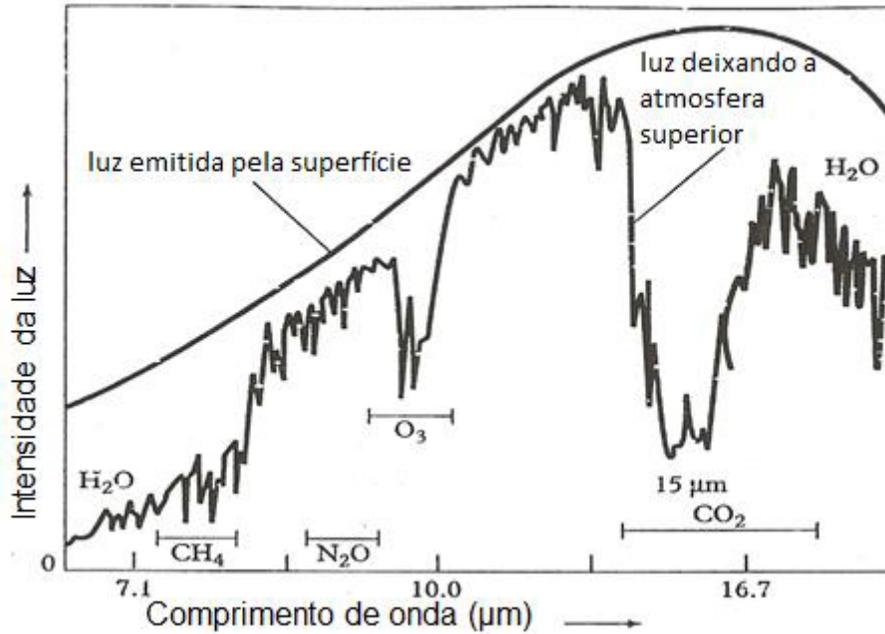


Figura 2: Espectro de absorção de moléculas
 Fonte: BAIRD, 2011.

Assim, após a absorção, a molécula pode reemitir imediatamente o fóton absorvido ou converter em calor em outras moléculas e essas reemitirem o fóton. Das duas formas, a direção do fóton emitido é completamente aleatória e, então, parte dessa radiação IV é redirecionada de volta em direção à superfície da Terra, como é mostrado na figura 3 (CRETON; STHEL, 2011).

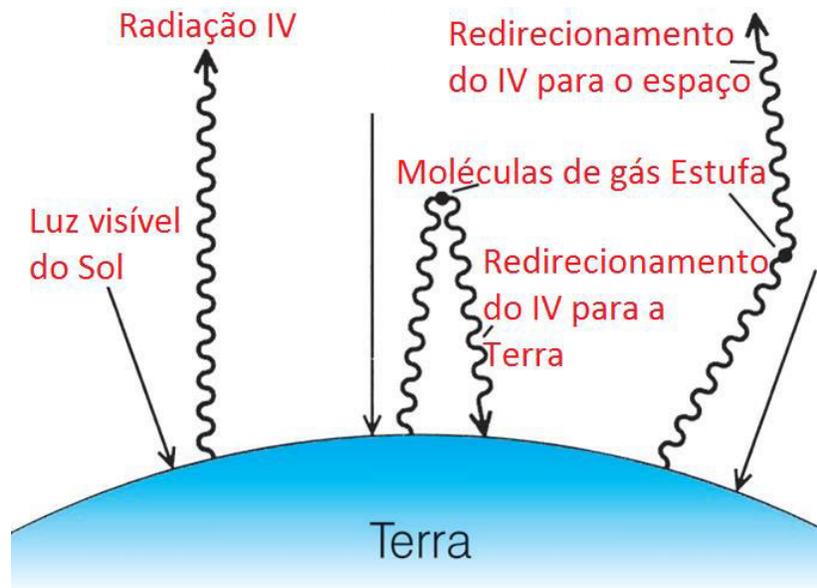


Figura 3: Desenho esquemático do efeito estufa
 Fonte: adaptada de (MOZETO, 2001).

Para esse fenômeno de captação da radiação IV emitida, e sua distribuição como calor para aumentar a temperatura da atmosfera, dá-se o nome de efeito estufa. Efeito este que tem

como função manter a temperatura da superfície terrestre aquecida na temperatura média de 15°C.

Entretanto, o aumento da concentração dos gases que absorvem a radiação IV resulta em um incremento na quantidade de calor retido e conseqüentemente, um aumento da temperatura média da superfície para valores acima de 15°C, este fenômeno é chamado de Intensificação do efeito estufa ou Aquecimento Global Artificial (para diferenciá-lo do aquecimento natural que vem ocorrendo a milênios) (BAIRD; CANN, 2011). A figura 4 apresenta um desenho esquemático fazendo uma comparação entre o efeito estufa natural e o antrópico, ou seja resultante do aumento na concentração dos gases estufa pela ação humana.

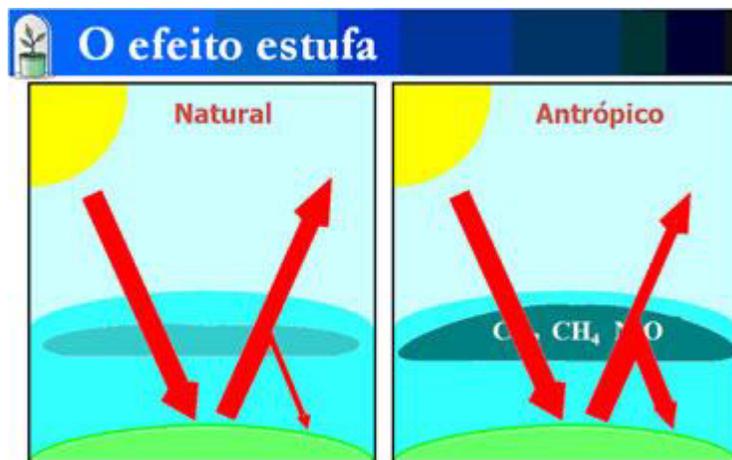


Figura 4: Comparação do efeito estufa natural e antrópico.
Fonte: (SILVEIRA, 2007)

Acredita-se que o homem, principalmente após a Revolução Industrial, devido ao aumento do uso de combustíveis fósseis, tem acrescentado na atmosfera uma quantidade maior de gases estufa, alterando, assim, a temperatura do planeta por reter mais calor. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC aponta um aumento na concentração de dióxido de carbono CO₂, chegando a 390,5 ppm (partes por milhão) em 2011 (IPCC, 2013).

A intensificação do efeito estufa pode provocar novos padrões de clima com repercussões nos regimes de vento, chuva e circulação geral dos oceanos. Dentre os indícios de alteração do clima destacam-se: as temperaturas aumentam; extensas regiões do planeta ficam mais secas e as áreas desérticas aumentam; em algumas áreas, o alto índice de chuvas provoca enchentes; os oceanos esquentam e se expandem, inundando ilhas e litorais; tempestades violentas ocorrem com mais frequência; colheitas são perdidas e comunidades vulneráveis abandonam suas casas, migrando para outro lugar (MACÊDO, 2002).

3.1.2 Gases estufa: Dióxido de carbono, Metano e Óxido nítrico

Esta seção aborda os gases estufa dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nítrico (N₂O), enfatizando suas concentrações atmosféricas atuais e seus avanços, seus maiores emissores, entre outros.

Dióxido de carbono

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás fundamental para a manutenção da vida no planeta. Sem ele, plantas não realizariam o processo da fotossíntese, que transforma a energia solar em energia química. Entretanto, é o gás estufa mais abundante na atmosfera terrestre e começou a aumentar no final do século XVIII com a revolução industrial que demandou a utilização de grandes quantidades de petróleo como fonte de energia. Desde então a concentração de CO₂ passou de 280 ppm em 1750 para aproximadamente 410 ppm em 2018, segundo a Divisão de Monitoramento Global da NOAA/EUA, como ilustra o gráfico 5a abaixo (TANS; DLUGOKENCKY, 2018).

Na figura 5a observa-se em vermelho o comportamento real do CO₂ na atmosfera e em preto a média. A figura 5b mostra com detalhes o crescimento do CO₂ atmosférico dos últimos cinco anos. Notam-se ainda variações sazonais de CO₂, em que há picos positivos no primeiro semestre e picos negativos no segundo semestre.

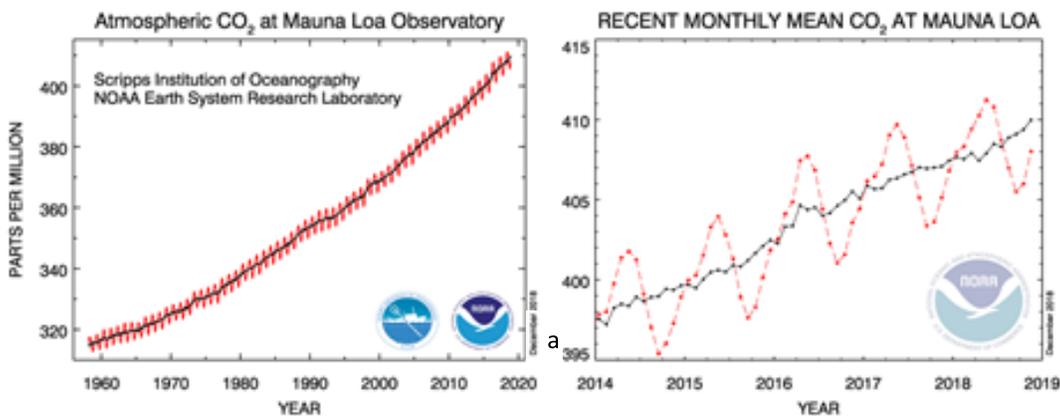


Figura 5: Tendências de CO₂ atmosférico

Fonte: Adaptada de Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends, Out./2018)

Os picos positivos coincidem exatamente com o inverno no hemisfério norte, com baixa incidência de luz solar, o que ocasiona considerável redução da fotossíntese e consequentemente

o amarelamento e queda das folhagens. Já os picos negativos coincidem com o verão, quando as plantas aumentam sua biomassa, absorvendo o CO₂ atmosférico (MANNINGL, 1993).

Os dados citados foram medidos no Observatório Mauna Loa, localizado no Havaí, EUA. Ponto estratégico de altitude de 3400 m nos subtrópicos do norte.

Este gás possui duas regiões de maior absorção de radiação na região do infravermelho. No comprimento de onda de 15,0 μm (frequência de 2×10^{13} Hz), que corresponde a frequência de vibração de deformação angular O=C=O. A outra região de grande absorção de IV ocorre no comprimento de onda de 4,26 μm (7×10^{13} Hz) correspondendo à frequência de vibração de deformação assimétrica O=C=O (BAIRD; CANN, 2011).

Devido a molécula de CO₂ não ser decomposta química ou fotoquimicamente, fica difícil estabelecer o seu tempo de vida. Esta molécula pode se dissolver na superfície do mar ou ser absorvida pela planta, podendo voltar para o ar em poucos anos. Ou também pode depositar-se em águas profundas do oceano, em forma de carbonato de cálcio insolúvel, mas este processo é bem lento. Dessa forma, não é possível citar um tempo de vida médio efetivo apenas para o gás no ar (BAIRD; CANN, 2011).

Metano

O gás metano (CH₄) é um hidrocarboneto de um carbono, da classe dos compostos orgânicos voláteis (COVs). Sendo considerado um gás estufa, que quando comparado ao CO₂ é mais perigoso: uma molécula de metano absorve com uma eficiência 23 vezes maior os raios infravermelhos que uma molécula de CO₂ (“USP - LaQA Laboratório de Química ambiental,” 2006).

A concentração atmosférica global de CH₄ aumentou de 715 ppb em 1750 para 1732 ppb no início da década de 1990, e 1774 ppb em 2005, significando um aumento de 148% (WILLIAMS, 2009). Atualmente, em Dezembro/2018, a concentração de metano na atmosfera terrestre chegou a 1860 ppbv como mostra a Figura 6 abaixo (TANS; DLUGOKENCKY, 2018).

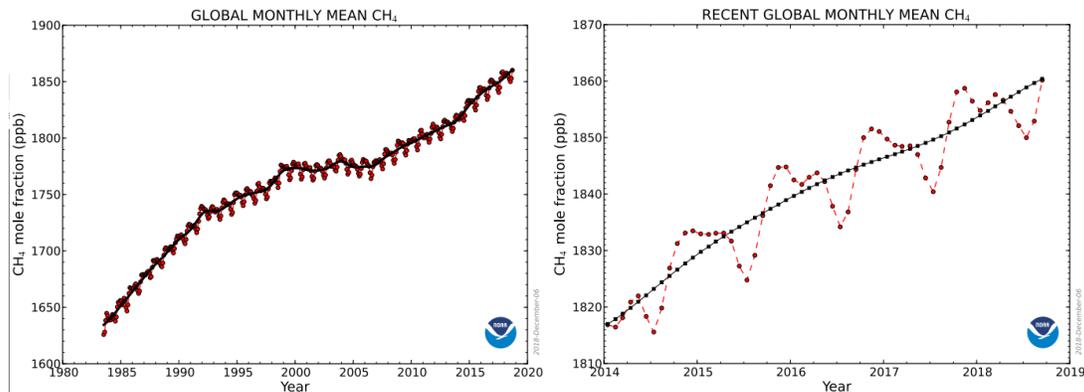


Figura 6: Tendências de CH₄ atmosférica
 Fonte: (TANS; DLUGOKENCKY, 2018)

Este gás é abundante em aterros sanitários, lixões e reservatórios de hidrelétricas, e também pela criação de gado e cultivo de arroz. Também é resultado da produção e distribuição de combustíveis fósseis (gás, petróleo e carvão) e também da queima desses combustíveis.

Este gás também é produzido durante a decomposição natural de estrume e não é tóxico. No entanto, concentrações elevadas podem causar dores de cabeça e até mesmo asfixia. A principal preocupação de segurança sobre o metano é que é altamente inflamável e pode ser explosivo em níveis que vão de 50.000 a 150.000 ppm (5 a 15%) (BARKER; CAROLINA; HUMENIK, 1986).

A concentração máxima de metano recomendado seguro para trabalhadores durante um período de 8 horas é de 1.000 ppm. Os seus efeitos sobre humanos são apresentados na tabela 1, extraída de (BARKER; CAROLINA; HUMENIK, 1986).

Tabela 1: Efeitos da exposição ao gás metano em humanos

Nível de exposição	Efeitos ou sintomas
50.000 a 150.000 ppm	Potencialmente explosivo
500.000 ppm	Asfixia

(BARKER; CAROLINA; HUMENIK, 1986)

Óxido nitroso

O Óxido nitroso (N₂O) é um gás estufa de baixa concentração na atmosfera terrestre, porém, por molécula, é 296 vezes mais efetivo que o CO₂ em causar um aumento imediato no aquecimento global (RAPSON; DACRES, 2014). A concentração atmosférica deste gás foi constante até 300 anos atrás (WILLIANS, 2009), no entanto, aumentou de 275 ppbv (na era pré-

industrial) para aproximadamente 330 ppbv em 2018, como mostra a figura 7 abaixo (JAMES H. BUTLER; STEPHEN A. MONTZKA, 2018).

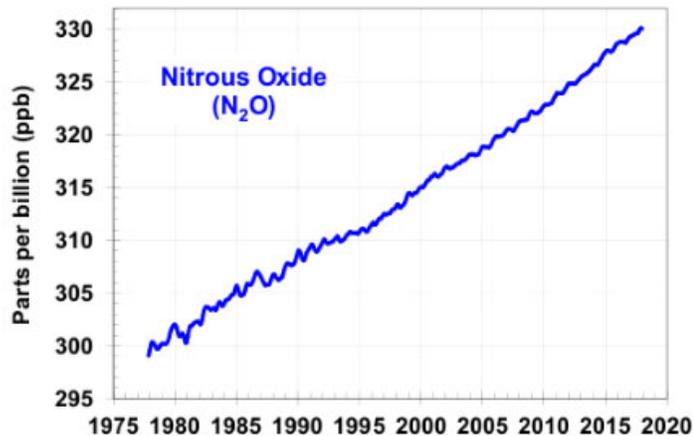


Figura 7: Tendência de N₂O atmosférico
Fonte: Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)

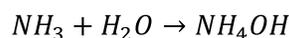
Menos de 40% das emissões atuais são de fonte antropogênicas. A maior parte do suprimento natural vem da liberação pelos oceanos e de processos que ocorrem em solos das regiões tropicais. Ele é subproduto de processos biológicos de desnitrificação e nitrificação em ambientes aeróbios e anaeróbios, respectivamente (RAPSON; DACRES, 2014). A concentração de oxigênio dissolvido é o parâmetro mais importante na emissão de N₂O (BORTOLI et al., 2012).

Dessa forma, o uso de fertilizantes é considerado a maior fonte de emissão antropogênica do N₂O. Contudo, além desta fonte, há também a liberação deste gás devido à queima de combustíveis, principalmente os derivados de biomassa, tais como o biodiesel.

3.1.3 Formação de material particulado

No ambiente externo, o gás NH₃ pode viajar com o vento durante vários dias até sua transformação por meio de deposição úmida ou seca, onde a reação mais importante é com gases ácidos e partículas de aerossol para formar os sais correspondentes, em outras palavras, é a conversão de amônia gasosa em particulado de amônia. A deposição úmida, que é simplesmente a absorção de amônia na precipitação, pode se depositar em locais a várias centenas de quilômetros da fonte. Enquanto que a deposição de particulado de amônia em seco geralmente ocorre em alguns quilômetros, devido ao seu tempo de vida prolongado (1 - 15 dias). (WIEGAND et al., 2011).

Deposição úmida

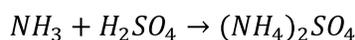
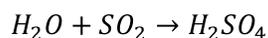


Os sais de amônio formados na atmosfera possuem diâmetro menor que 2,5 μm sendo caracterizado como material particulado 2,5 (MP 2,5). A formação desses sais ocorre através de uma série de reações químicas de fase gasosa e aquosa com óxidos de enxofre (SO_x) e nitrogênio (NO_x), que formam os gases ácidos nítrico (HNO_3) e sulfúrico (H_2SO_4), respectivamente (ISTAS, 1988).

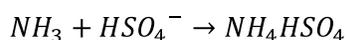
Os óxidos de enxofre e de nitrogênio decorrem de indústrias e escape de automóveis (MOTHÉ et al., 2010; TAVARES et al., 2011). Abaixo temos alguns exemplos de reações de formação de sais de amônio, nitrato de amônio e sulfato de amônio.

Deposição seca

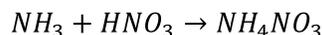
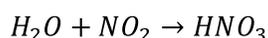
Gases sulfurados:



ou



Gás nitrogenado:



Assim, essas partículas podem ser transportadas para longe das fontes poluentes causando efeitos para o ecossistema com mudanças consequentes em solo, plantas, água e animais. Após a deposição, os aerossóis de NH_4^+ podem contribuir para a acidificação de solos e águas e eutrofização nos rios e lagos, tornando assim, uma preocupação ambiental. Cabe ressaltar que é utilizado NH_4SO_4 no solo para fertilização, mas o excesso desse sal é lixiviado.

No Brasil não existe legislação para níveis máximos de emissão de NH_3 permissíveis de serem lançados na atmosfera como há para outras espécies gasosas como SO_2 , NO_x , CO (monóxido de carbono), O_3 (ozônio), partículas inaláveis, partículas totais em suspensão e

fumaça. Estes citados são os poluentes padronizados nacionais, de acordo com o CONAMA (LISBOA; KAWANO, 2007).

Contudo, na União Europeia, o protocolo de 1999, dito Protocolo de Gotemburgo foi aprovado no âmbito da convenção de 1979 sobre a poluição atmosférica transfronteiriça a longa distância (Convenção LRTAP), relativo à Redução da Acidificação, da Eutrofização e do Ozônio Troposférico. Este documento estabelece valores-limite nacionais de emissão que cada Parte deve cumprir aplicáveis aos seguintes poluentes atmosféricos: SO₂, NO_x, NH₃, compostos orgânicos voláteis (COVs) e material particulado. Em 2012, este protocolo foi alterado e foram introduzidos dois novos anexos a fim de reforçar os esforços com vista a alcançar os objetivos de proteção a longo prazo da saúde humana e do ambiente, estabelecendo novos compromissos de redução das emissões a partir de 2020 (EUROPEIA, 2013; UNECEC, 2012).

Diante do fato do Brasil ocupar o segundo lugar na produção mundial de carne de frango (ABPA, 2019) e ser um dos maiores produtores agrícolas no mundo (ROSS, 2015), com grande território destinado a agricultura, e sabendo que essas duas atividades são responsáveis por grandes emissões de NH₃, faz-se necessário estabelecimento de leis mais rígidas para monitoramento deste gás, já que pode causar diversos danos ao ambiente e à saúde humana da população local.

3.2 Impactos ambientais da atividade agropecuária

Estima-se que a demanda global por alimentos crescerá 20% até o ano de 2020 e o Brasil poderá atender cerca de 40% deste incremento. Sendo assim a maior exigência do mercado envolverá aspectos de qualidade nutricional, responsabilidade social, bem estar animal e sustentabilidade ambiental (SAMBUICHI et al., 2013 *apud* KLEIN *et. al.*, 2007).

Desenvolvimento sustentável pode ser definido como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações no sentido de atenderem às suas próprias necessidades (SAMBUICHI et al., 2013 *apud* CMMAD, 1988).

As ações que ditam quando o alimento é procedente de agropecuária sustentável incluem não praticar desmatamento ilegal, preservação de áreas naturais, conservar a biodiversidade, uso de água de forma racional, trabalhar com responsabilidade social, permitindo lucro e sustento familiar digno, evitar a formação e recuperar áreas com pastagens degradadas, conservar o solo e emitir menos gases de efeito estufa (GEE).

Aqui está um parâmetro complexo de se controlar. Sabe-se que o aumento na produção de alimentos resulta em aumento nas emissões de GEE, seja na agropecuária como na agricultura (OLIVEIRA, 2015). Assim, temos o Brasil em 4º lugar entre os países emissores de gases estufa.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA elaborou, em 2012, o plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura, também conhecido por plano ABC (Agricultura de Baixa emissão de Carbono). Neste documento há alguns programas para a redução de emissão de GEE entre 36,1% e 38,9% até 2020, compromisso assumido voluntariamente pelo Brasil na 15ª Conferência das Partes – COP15, em Copenhague em 2009 (BRASIL, 2012).

Em 2015, na Conferência das Partes - COP-21, em Paris, reunião com o intuito de buscar soluções para o clima, o Brasil por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) se comprometeu a reduzir até 2025 as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis registrados em 2005, com uma contribuição indicativa subsequente de chegar a 43% em 2030 (MMA, 2015; REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 2015).

O Brasil é um país rico em florestas com vasta biodiversidade. No entanto, o crescimento na agropecuária tem levado a um número cada vez maior de desmatamento de áreas florestais visando áreas de pastagens e monoculturas (OLIVEIRA, 2015). A retirada da cobertura vegetal provoca redução da biodiversidade, extinção de espécies animais e vegetais, redução dos nutrientes do solo, desertificação, erosão, contribuindo para o aquecimento global.

As estratégias de mitigação de GEE na pecuária objetivadas pela EMBRAPA são: melhorar os índices produtivos, reduzindo a idade do abate; melhorar os índices reprodutivos; selecionar animais com melhor consumo alimentar residual; aperfeiçoar a formulação de dietas; utilizar aditivos e suplementos; melhorar a eficiência de conversão de alimentos; aperfeiçoar a oferta de água de qualidade; melhorar o manejo dos animais e das pastagens; aprimorar a sanidade animal, incluindo controle de parasitas, doenças e vacinas; buscar bem estar animal; reduzir a emissão de CH₄ entérico, adotar um manejo adequado para os dejetos; praticar a agricultura e zootecnia de precisão, utilizando de forma racional e cautelosa os nutrientes N, P e K; buscar a intensificação sustentável, utilizando tecnologias adequadas ao ambiente tropical como plantio direto, pastagens bem manejadas, sistemas integrados como lavoura, pecuária e floresta; além de buscar eficiência energética e o uso de energias renováveis (BRASIL, 2012).

3.3 *Avicultura no Brasil e no mundo: Importância socioeconômica no Brasil*

A avicultura brasileira teve um grande avanço a partir dos anos 60, e no ano de 1992 o Brasil já ocupava a segunda colocação entre os exportadores mundiais de frangos de corte (AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992). Este resultado é fruto do progresso em melhoramento genético, nutrição, sanidade, manejo, instalações e equipamentos. Há ainda grande preocupação com os materiais mais apropriados para serem utilizados como cama de aviário (AVILA et al., 2007b; SANTOS et al., 2000).

A crise econômica de 2015 que afetou o Brasil e o mundo impactou a avicultura em vários aspectos durante o ano no país. Seja pelo preço do milho e soja que eleva o custo de produção, sejam pelo fechamento parcial do porto de Itajaí devido problemas climáticos, pelas greves dos caminhoneiros e dos fiscais federais agropecuários que reduziram momentaneamente o fluxo das exportações.

Contudo, a avicultura brasileira encerrou 2015 com diversos recordes na produção e na exportação de frangos e no consumo de ovos, como a consolidação da carne de frango consolidada como quarto item da pauta exportadora nacional (ABPA, 2016), segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), alcançou os três melhores resultados mensais da história das exportações do setor.

Conforme o Relatório Anual da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) de 2019, o Brasil segue como maior exportador mundial de carne de frango (Figura 8a), responsável por 35%, seguido dos Estados Unidos que tem retomado aos poucos suas vendas após o surto de gripe aviária que sofreram em 2015. Importante ressaltar que os EUA ainda estão proibidos de vender à China. A produção de carne de frango do país totalizou 13 milhões de toneladas no ano de 2018 (ABPA, 2019).

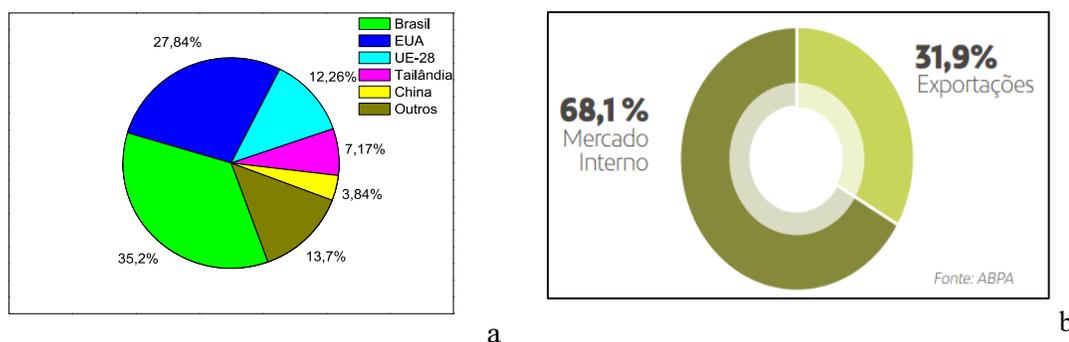


Figura 8: Principais países exportadores de carne de frango em 2018 (a). Destino da produção brasileira de carne de frango (b).

Fonte: Adaptada de ABPA, 2019.

Segundo a ABPA 68,1% da produção brasileira de carne de frango em 2018 abasteceu o mercado interno, enquanto que 31,9% destinou-se à exportação (Figura 8b). Além disso, a ABPA afirma que a produção de carne de frango no país atingiu 13,14 milhões de toneladas em 2015, o maior número desde 2006, no entanto, esse valor teve um leve declínio, chegando em 12,86 milhões de toneladas em 2018 (Figura 9).

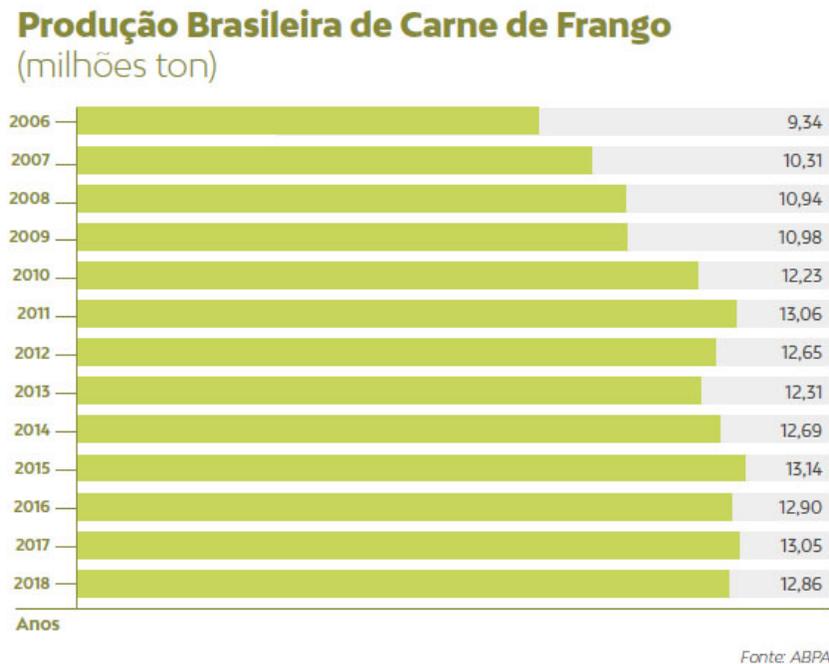


Figura 9: Produção brasileira de carne de frango de 2006 a 2018.

Assim, desde 2015, o Brasil assumiu o segundo lugar no ranking de produção mundial, posição que antes era da China. Em 2018, os líderes mundiais foram os Estados Unidos que continuou como líder em produção de carne de frango, com 19,36 milhões de toneladas, seguido pelo Brasil. Em terceira e quarta posição, à EU-28 com 12,20 milhões de toneladas e a China com 11,70 milhões de toneladas.

Observando o mapa da distribuição de abatedouros no Brasil (Figura 10), percebe-se que a maior concentração de granjas e abatedouros se localiza no sul do país, principalmente no estado do Paraná, responsável por 32,46%, seguido de Santa Catarina (16,24%) e Rio Grande do Sul (14,13%).

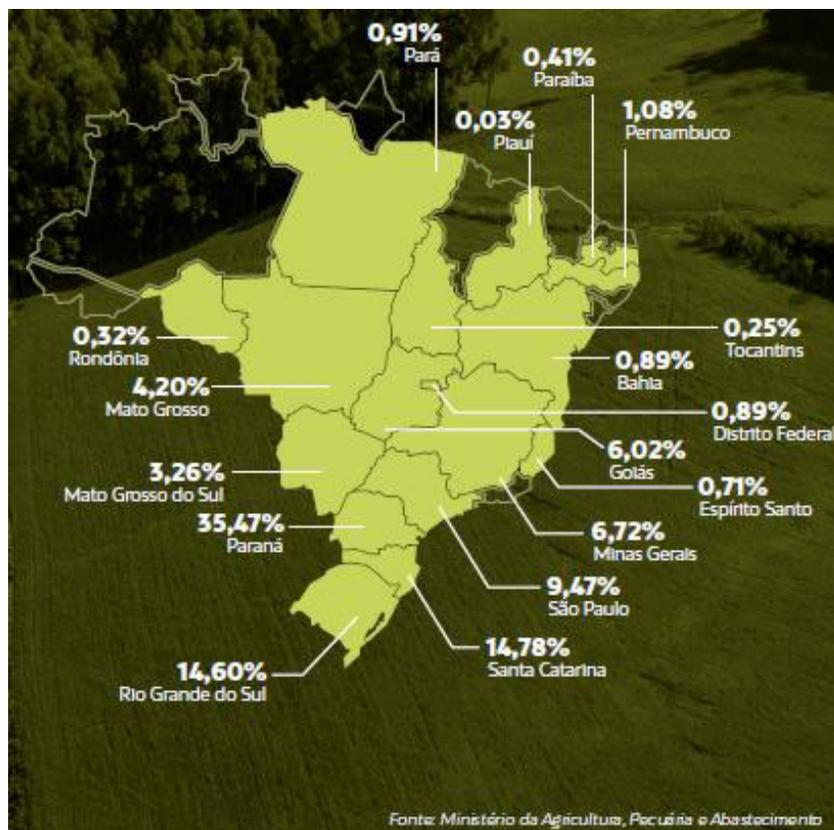


Figura 10: Abate de frango por estado no Brasil em 2018.

O consumo interno de carne de frango mantém uma média de 42 kg / habitante /ano. Por outro lado, as exportações brasileiras de carne de frango que vem aumentando seu volume desde 2004, atingiu um patamar histórico de 4384 mil toneladas em 2016, mas decresce desde então, sendo exportados 4101 mil toneladas em 2018. Os destinos desses produtos são bem diversificados por todos os continentes, desde a América, África, Ásia, União Europeia e Europa extra-EU, Oceania e Oriente Médio. As empresas brasileiras que mais exportaram carne de frango foram: em primeiro lugar a BRF (nomes fantasia: Sadia e Perdigão), seguido da JBS (nome fantasia: Seara) e em terceiro lugar a Aurora Alimentos.

3.4 *Problemas ambientais gerados pela atividade avícola de corte*

Toda atividade produtiva gera algum dano ambiental. No caso da atividade avícola de corte há os resíduos sólidos da criação em galpões, a cama e as carcaças de animais mortos, os quais liberam gases prejudiciais tanto à saúde humana e animal quanto ao ambiente.

3.4.1 Amônia e seus impactos na saúde (animal e humana)

A amônia (NH_3) é um gás incolor à temperatura ambiente, altamente irritante com um odor sufocante. Muito utilizado na indústria e comércio para fins de refrigeração, e também existe naturalmente no organismo humano (biomarcador de doenças do sistema urinário) e no ambiente (liberado na emissão da combustão de combustíveis) (ATSDR, 2011).

Este gás é uma importante fonte de nitrogênio, o qual é necessário para plantas e animais. É essencial para muitos processos biológicos e serve como um precursor para a síntese de aminoácidos e de nucleotídeos. No ambiente, este gás faz parte do ciclo do nitrogênio e é produzido no solo por processos bacterianos. Também é produzido naturalmente a partir da decomposição da matéria orgânica, incluindo plantas, animais e resíduos animais.

Dentre suas propriedades físico-químicas, é conhecida em sua forma pura, como amônia anidra a qual é higroscópica (absorve a umidade); tem propriedades alcalinas e é corrosiva. O gás amônia é facilmente comprimido e forma um líquido claro sob pressão. A amônia não é altamente inflamável, mas recipientes de amônia podem explodir quando expostos ao calor elevado (“Department of Health New York State: The Facts About Ammonia,” 2005).

Este gás é liberado para a atmosfera por diversas fontes, incluindo volatilização de resíduos animais e fertilizantes sintéticos, queima de biomassa, perda natural pela vegetação, excrementos humanos, processos industriais e emissões decorrentes da combustão de combustíveis fósseis. É utilizada como matéria-prima em processamentos químicos, incluindo os fertilizantes; para fins de refrigeração e para a geração de ambientes redutores em metalurgia.

Na criação de animais, principalmente de aves, altas concentrações de amônia também podem advir de ventilação reduzida e umidade excessiva, afetando negativamente a saúde e o desempenho produtivo dos animais. Garantindo um manejo adequado é possível manter as taxas de concentração de NH_3 até 20 ppm em exposição prolongada (ANDERSON; BEARD; HANSON, 1964; CARLILE, 1984).

Nas granjas avícolas, o principal gás produzido é a amônia e alta concentração desta molécula pode causar diversos danos à saúde dos animais e seres humanos, e também prejuízos ao sistema produtivo, como o rendimento zootécnico dos lotes e, possivelmente, a qualidade do produto obtido: carnes e ovos (FERREIRA, 2010).

As dietas dos frangos de corte consistem em alimentos ricos em proteínas. O nitrogênio não metabolizado em proteína animal é excretado na urina e fezes, onde a ação microbiana libera amônia gasosa (NH_3) no ar durante a decomposição do estrume. O NH_3 presente em granjas avícolas é decorrente da decomposição do ácido úrico eliminado pelas aves (HONG; DINH, 2010).

Este gás pode causar malefícios à saúde humana (principalmente os trabalhadores dentro do aviário) e animal e prejuízos ao sistema produtivo. Por possuir alta solubilidade, pode dissolver facilmente nas secreções dos olhos e pulmões. A exposição de pessoas e animais a altas concentrações causa irritação, cegueira temporária e severos danos aos olhos. Caso seja ingerida provoca ação corrosiva na boca, esôfago e estômago. O efeito danoso sobre a saúde depende da concentração de gás e da duração à exposição (BARKER; CAROLINA; HUMENIK, 1986; FERREIRA, 2010).

A amônia é eliminada essencialmente pela formação de ureia no fígado, mas também pode ser produzida por todos os tecidos durante o metabolismo de compostos diferentes. Amônia elevada no sangue (hiperamonemia) devido a sua inalação provoca alterações fisiopatológicas no sistema nervoso central. Hiperamonemia não é uma doença verdadeira, mas é um sinal de que anormalidades específicas podem estar presentes (POPA, 2015).

Os efeitos gerados pela exposição de humanos a níveis de NH_3 acima de 25 partículas por milhão em volume (ppm) são dor de cabeça, náuseas, queimação intensa nos olhos, nariz e garganta (DONHAM, 2002).

Em aves pode comprometer o sistema respiratório e deixá-los mais suscetíveis a doenças, por exemplo, o vírus da doença de NewCastle (ANDERSON; BEARD; HANSON, 1964; CARLILE, 1984). Também pode causar queimaduras nos coxins plantares (calos), irritação ocular, irritações da pele e calos de peito, perda de peso, baixa uniformidade e cegueira (COBB, 2009). Além disso, em aves poedeiras pode levar ao comprometimento da qualidade dos ovos e retardar a maturidade sexual (CHARLES; PAYNE, 1966).

Nos Estados Unidos, existem quatro órgãos que estabelecem as recomendações em relação aos limites de exposição ocupacional ao gás amônia para humanos, como a Conferência Americana de Sanitaristas Industriais Governamentais (ACGIH), Associação de Higiene Industrial Americana (AIHA), Instituto Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho (NIOSH) e Administração de Segurança e Saúde do Trabalho (OSHA) (DONHAM, 2002). A tabela 2 abaixo apresenta os níveis de concentração de NH_3 máximo em ambientes *indoor* para as agências norte- americanas.

Tabela 2: Níveis de concentração máxima de NH_3 listadas para saúde ocupacional

	AIHA	ACGIH	NIOSH	OSHA
NH_3	25 ppm	25 ppm	25 ppm	50 ppm

Fonte: (DONHAM, 2002) adaptada

De acordo com as diretrizes de criação animal dos EUA elaborada por UEP (United Egg Producers), a concentração atmosférica deste gás nos galpões avícolas geralmente é recomendada para ser inferior a 25 ppm (UEP, 2016). Além disso, o guia de manejo da linhagem *Cobb500*[®] recomenda não exceder 10 ppm de amônia a fim de manter a qualidade do ar dos galpões avícolas (COBB, 2013).

No Brasil, porém, não há legislação específica para níveis de amônia tanto para saúde ocupacional quanto para aves. Entretanto, os exportadores de carne de frango adotam o padrão internacional.

3.4.2 Compostagem

As atividades agrícola e pecuária geram enormes quantidades de resíduos sólidos os quais podem causar problemas ambientais. Contudo, se manipulados adequadamente, esses resíduos podem ser processados com uma técnica denominada de compostagem (OLIVEIRA; SATORI; GARCEZ, 2008).

A compostagem é empregada desde os tempos antigos, nos quais gregos, romanos e povos orientais, empiricamente, sabiam que os resíduos orgânicos podiam ser retornados ao solo, contribuindo para fertilidade deste. Somente, a partir de 1920, o processo passou a ser pesquisado cientificamente por Albert Howard.

De acordo com (FERNANDES; SILVA, 1999), a compostagem pode ser definida como uma bioxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável.

A compostagem também pode ser entendida como um processo de tratamento de resíduos orgânicos, sendo este processo aeróbico controlado, desenvolvido por micro-organismos diversos e dividido em duas fases: a primeira quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas, predominantemente termofílicas; a segunda quando ocorre o processo de humificação, conhecido como fase de maturação.

Quando a compostagem ocorre naturalmente no ambiente, esta é denominada de degradação de matéria orgânica, porém este processo ocorre lentamente. Como o ser humano tem gerado cada vez mais resíduos urbano, industrial, agrícola e florestal foi necessário desenvolver técnicas para acelerar a decomposição desta matéria e produzir compostos orgânicos, os quais podem ser definidos como um produto estabilizado e higienizado, que é

benéfico para a produção vegetal (ZUCCONI & BERTOLDI, 1987 *apud* (OLIVEIRA; SATORI; GARCEZ, 2008).

Os materiais para compostagem se dividem em duas categorias: os materiais ricos em carbono, que incluem lenhosos, como palhas, casca de árvores, podas do jardim, aparas de madeira, galhos de árvores, que são os responsáveis por fornecer a matéria orgânica e a energia para a compostagem. Enquanto que a função dos materiais ricos em nitrogênio, as folhas verdes, estrumes animais, urina, solos, restos de vegetais hortícolas e ervas é acelerar o processo de compostagem, porque o nitrogênio é necessário para o crescimento dos microrganismos. A tabela 3 apresenta a relação C/N de alguns resíduos da agropecuária considerados como compostáveis (OLIVEIRA; SATORI; GARCEZ, 2008).

Tabela 3: Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto (resultados em material seco a 110°C)

M.O. – matéria orgânica; C/N – relação carbono/nitrogênio.

Fonte: Adaptado de Kiehl (1981 e 1985) por (OLIVEIRA; SATORI; GARCEZ, 2008)

* o teor de C (g/kg) foi calculado com base na relação C/N e teores de N informados pelo autor.

Oliveira e colaboradores explicam que a relação C/N (peso em peso) ideal para a compostagem é frequentemente considerada como 30. Dois terços do carbono são liberados como dióxido de carbono (CO₂) que é utilizado pelos microrganismos para obter energia e o outro terço do carbono em conjunto com o nitrogênio é utilizado para constituir as células microbianas (OLIVEIRA; SATORI; GARCEZ, 2008).

As perdas de nitrogênio durante o processo de compostagem dos materiais orgânicos podem ser muito altas (cerca de 50%) principalmente em materiais com relação C/N baixa. Para

Lampkin (1992 *apud* OLIVEIRA; SATORI; GARCEZ, 2008) uma boa compostagem necessita de uma relação C/N de 25 a 35. Para relações C/N inferiores, o nitrogênio ficará em excesso e poderá ser perdido como amônia causando odores desagradáveis. Para relações C/N mais elevadas a falta de nitrogênio limitará o crescimento microbiano, o carbono não será todo degradado conduzindo a que a temperatura não aumente, e a que a compostagem se processe mais lentamente.

Quanto à umidade, é conveniente iniciar o processo de compostagem com umidade superior a 50%, porque no processo ocorre secagem devido à evaporação de água pelo calor. O monitoramento da umidade é de extrema importância, pois se estiver baixa, a atividade biológica ficará reduzida, por outro lado, se estiver alta, a geração biológica será prejudicada, podendo ocorrer anaerobiose (respiração celular na ausência de oxigênio). Neste último caso, há mais produção de chorume, líquido resultante da atividade enzimática natural de resíduos orgânicos, podendo causar lixiviação (VILHENA, 2018).

Há três fases durante o processo de compostagem: uma primeira inicial e rápida do composto cru ou imaturo, seguida de uma segunda fase de semi-cura ou bioestabilização, a fim de atingir finalmente a terceira fase, a humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica. A figura 11 relaciona essas fases com a temperatura do composto no tempo (KIEHL, 1998). Exibe também a relação da temperatura, o processo inicia à temperatura ambiente (fase mesófila). À medida que a ação microbiana se intensifica, a temperatura se eleva, atingindo 60°C (fase termófila). Neste momento são eliminados os micróbios patogênicos e sementes. Após esta etapa, a temperatura desce até a temperatura ambiente.

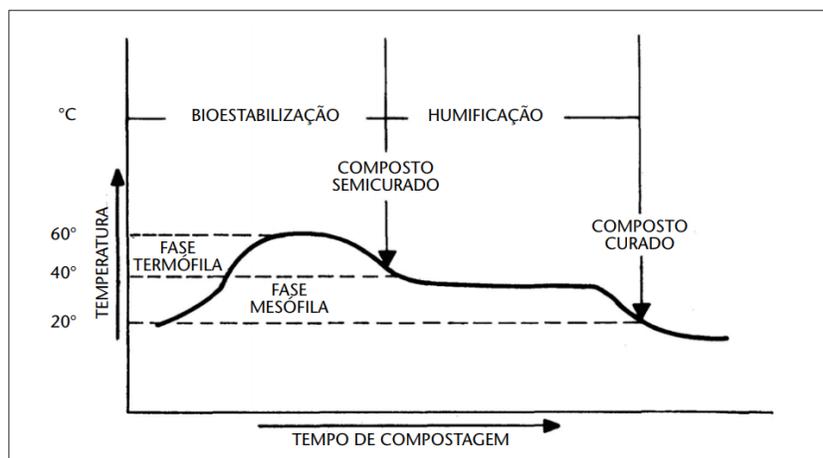


Figura 11: Evolução da cura do composto (BELUSSO; HESPANHOL, 2010; KIEHL, 1998; VILHENA, 2018)

Além da relação C/N, umidade e temperatura citadas anteriormente, a aeração, e granulometria também influenciam o processo de compostagem. A aeração possibilita a decomposição da matéria orgânica de forma mais rápida e sem odor pelo processo aeróbio (presença de oxigênio). Resíduos com tamanhos grandes demoram a serem compostados, enquanto que resíduos com granulometria muito pequena facilitam a compactação da pilha de compostagem, podendo induzir a situação de anaerobiose camadas inferiores. O tamanho ideal das partículas dos resíduos para compostagem é de 3,5 cm diâmetro (MEIRA; CAZZONATO; SOARES, 2003).

Observando a composição do esterco de galinha, percebe-se que este resíduo tem o maior índice dentre os outros da tabela 3 em nitrogênio, cerca de 30 g de N para cada kg de esterco. Além disso, tem maior teor de fósforo e potássio.

3.4.3 Cama de aviário

Denomina-se cama todo o material distribuído em um galpão para servir de leito aos animais, de modo a evitar o contato direto deste com o piso. Mais especificamente chama-se cama de frango o material que permanecendo no piso de uma granja avícola para produção de frangos de corte, irá absorver umidade do ambiente, e incorporar fezes, urina, penas, descamações da pele e restos de alimento que caem do comedouro. Outro papel da cama é contribuir para a redução das variações de temperatura no ambiente (ARAÚJO; OLIVEIRA; BRAGA, 2007; AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992). Este material deve apresentar propriedade como: ser de tamanho médio cerca de 3 a 4 cm, material picado ou triturado, ter capacidade de absorver a umidade sem empastar e liberar facilmente para o ar essa umidade, ter baixa condutividade térmica, ter capacidade de amortecimento, mesmo sob alta densidade, ter baixo custo e disponibilidade (AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992).

O contínuo contato da ave com a cama exige que o material utilizado apresente qualidades adequadas para modificar as características do meio, proporcionando conforto aos animais, de forma a evitar oscilações de temperatura no interior da instalação e o contato direto das aves com as fezes e com o piso. O material considerado deve absorver a umidade do piso e diluir a excreta para facilitar as práticas de manejo que maximizem a vida útil da cama e seu posterior aproveitamento no final da criação.

As determinações, buscando a preservação ecológica, levam a redução da disponibilidade dos materiais comumente utilizados com a finalidade de servir como cama, principalmente a raspa de madeira (maravalha) que tende a se tornar escassa.

Maravalha são raspagens ou aparas de madeira, resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria / beneficiamento e beneficiadora (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos, forros, etc.). O que difere da serragem é que a serragem compreende o resíduo de madeira gerado pelas operações de corte, geralmente com serra de fita, ou seja, varia somente o tamanho e modo de corte, sendo o material o mesmo (HILLIG et al., 2006).

De acordo a tabela 3, a serragem de madeira possui alto teor de matéria orgânica, ademais tem alta razão C/N, ajustando bem com o esterco de galinha que tem alto teor de nitrogênio, como já dito anteriormente. No entanto, esse substrato está ficando escasso e com maior valor de mercado. Além disso, muitas vezes a região da granja fica longe de fornecedores, tornando o frete um empecilho na produção.

Desde 1992 a Embrapa sugere materiais alternativos e práticas de manejo necessárias para que as camas de aviários sejam reutilizadas, atendendo as exigências das aves para o seu máximo desempenho. Além disso, aponta possibilidades do seu uso como fertilizante (AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992).

Com isso, pesquisadores e produtores propõem a utilização de materiais alternativos para cama de aviário, como casca de arroz, sabugo de milho triturado, bagaço de cana picado, fibra de coco, capim seco, casca de amendoim, casca de café, entre outros. Estes materiais consistem em subprodutos industriais, restos de culturas, a maioria produzida na propriedade ou adquirido das regiões produtoras. A escolha vai depender da disponibilidade na região, qualidade, custo ou finalidade de sua utilização após descarte do lote (AVILA et al., 2007b).

Altos custos e volume de materiais para cama de frango levam os produtores a reutilizar o resíduo, composto de excrementos das aves e penas (AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992; AVILA et al., 2007a). A literatura internacional afirma que é possível sua reutilização por até quatro ciclos, no entanto, existem riscos sanitários associados a esta prática, incluindo o aumento do potencial de propagação de doenças e a produção de níveis inaceitavelmente elevados de amônia (CARLILE, 1984).

No Brasil, a Embrapa recomenda a reutilização por até seis lotes, desde que submetida a tratamentos adequados para redução de riscos microbiológicos. Isto é possível porque o clima permite um manejo adequado e viável, com a produção em aviário aberto. Dessa forma, a avicultura brasileira é considerada como uma das mais desenvolvidas do mundo. Este fato

contribuiu para a redução do montante de cama no ambiente e reduz a demanda de corte de árvores, já que o substrato mais utilizado para cama é a maravalha (AVILA et al., 2007b).

Alguns trabalhos foram conduzidos no Brasil visando comparar os materiais disponíveis em cada região para uso em cama de frangos sobre o desempenho dos animais. Barriga *et al.* (1970) não encontraram diferenças significativas em consumo e conversão alimentar, peso ao abate e mortalidade em lotes de frango criados sobre camas de capim, areia, casca de arroz, sabugo de milho, maravalha. Semelhantemente Mouchrek *et al.* (1987) não constataram diferenças significativas entre camas de capim napier, capim braquiária, casca de arroz, maravalha e sabugo de milho nas variáveis de desempenho: ganho de peso, consumo alimentar, peso ao abate das aves, nem na umidade inicial e final da cama. Contudo, houve melhor conversão alimentar para os lotes criados sobre capim braquiária (2,049) em relação à maravalha (2,160).

Corroborando com Barriga *et al.* e Mouchrek *et al.*, o trabalho de Ângelo *et al.* (1997) sugere que os fenos (capim) de braquiária, napier, de coast cross e de casca de arroz não interferiram no desempenho e nas taxas de mortalidade dos frangos de corte. Santos *et al.* (2000) também relatou não observar efeito significativo no desempenho de frangos em ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar para cepilho de madeira, casca de arroz, casca de café e sabugo de milho triturado. Araújo *et al.* (2007) utilizaram casca de arroz, bagaço de cana e maravalha e também não observou efeito significativo no ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar. Os trabalhos anteriormente citados utilizaram o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$) (ANGELO et al., 1997; ARAUJO; OLIVEIRA; BRAGA, 2007; AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992; CASTELLANELLI et al., 2008; SANTOS et al., 2000).

O trabalho de Mizubuti *et al.* (1994) contrasta com os acima citados porque identificaram algumas diferenças significativas da cama sobre o consumo de ração no período de crescimento e final na criação de frangos de corte (MIZUBUTI; FONSECA; PINHEIRO, 1994). Anisuzzaman e Chowdhury (1996) analisaram serragem, palha de arroz, areia e casca de arroz como cama de frango na Ásia e puderam comprovar maior consumo de alimento, maior ganho de peso, melhor eficiência de conversão alimentar e maior pontuação no número de produção para os animais criados na cama de casca de arroz do que com os outros materiais (ANISUZZAMAN; CHOWDHURY, 1996). Além desses materiais, a fibra de coco e bagaço de cana são resíduos com possibilidade de utilização, porém estudos são necessários para investigar suas propriedades.

Um método para reutilização da cama de aviário é a compostagem através de amontoamento em pilhas de até 1,5 m de altura e cobertas com lona PVC ou cobertura da cama com lona PVC de toda a área do aviário. Dessas duas maneiras de compostagem, deixar em processo por no mínimo 14 dias. Outro método adotado é o uso de condicionadores químicos, como cal hidratada, gesso agrícola, sulfato de alumínio, entre outros. Estes tratamentos tem como função a redução da umidade e do pH, além da volatilização de NH_3 da cama (OLIVEIRA; FERREIRA; CANCHERINI, 2004; SANTOS, 2009).

A cama de frango pode ser comercializada como fertilizante de acordo com o Decreto nº 4.954/04 e a Instrução Normativa nº 15/05 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2004 a e b).

Por meio da compostagem deste resíduo da produção de frangos obtém-se um biofertilizante sólido. A maior parte do solo brasileiro é de baixa fertilidade, sendo o país fortemente dependente de terceiros mercados, já que é o principal importador de fósforo (P) e o terceiro maior comprador mundial de nitrogênio (N) e potássio (K), afetando o custo de produção substancialmente. Os fertilizantes químicos compostos por N, P e K são obtidos a partir de atividades mineradoras ou por meio da transformação de outras matérias-primas fósseis, conseqüentemente suas fontes primárias são de característica finita (Brasil Food Trends 2020, 2010).

O nitrogênio, na forma de ureia, é obtido a partir do gás natural. Já a produção de fósforo e potássio é concentrada em poucos centros fornecedores. Em 2007, 73,5% da produção de fósforo e 82,2% de potássio estiveram concentradas em apenas cinco países. No entanto o país possui reservas desses minerais, porém os custos de extração e ambiental são considerados inviáveis (Brasil Food Trends 2020, 2010).

Os cuidados com o manejo durante a compostagem são fundamentais, sendo necessário aerar o material de tempos em tempos, pois a ausência de oxigênio pode gerar maus odores (metano). (AVILA et al., 2007a).

Ávila *et al.* estudaram a reutilização da cama com diferentes materiais em um aviário de piso de concreto com 35 compartimentos de 4 x 4 m cabendo 160 aves em cada. O tempo de criação foi de 40 dias, com manejo e a alimentação padrão da linhagem. Foram utilizados maravalha, casca de arroz, sabugo de milho triturado, capim cameron picado, palhada de soja picada, resto da cultura do milho picado e serragem. Ao todo, sete materiais, portanto, puderam ser feitas cinco repetições. Esses materiais foram reutilizados por seis lotes consecutivos. Porém não relataram se houve tratamento da cama nos intervalos entre ciclos. Foram analisados o teor de Nitrogênio (N), Cálcio (Ca), Fósforo (P) e o pH. Os resultados obtidos mostraram que as

diferenças de composição química dos materiais não interferiram no potencial de uso, apesar de a maioria dos materiais estudados apresentarem valor em minerais superior à maravalha. Verificou-se ainda que os teores de N, Ca e P, em geral, aumentaram a cada lote. Já para o pH observou-se uma tendência de estabilização entre os lotes. Isso é positivo, pois produz efeito inibitório contra o desenvolvimento de salmonela. (AVILA et al., 2007b).

Para utilizar a cama de frango como fertilizante se faz necessário o estudo do solo para avaliar a real capacidade suporte do solo e a composição da cama, além de levar em consideração o tipo de plantio e níveis de produtividade esperados. Caso contrário, pode gerar excesso de nutrientes, os quais estariam suscetíveis a sofrerem processos de lixiviação e percolação, podendo gerar impactos ambientais negativos como poluição do ar, do solo, das águas, fitotoxicidade e deterioração da qualidade dos produtos agrícolas.

As propriedades favoráveis dos compostos se devem à formação de complexos húmus-argilo-minerais que proporcionam, segundo o Manual de Compostagem da USP: melhora da estrutura e porosidade dos solos, permitindo uma melhor retenção de água e nutrientes e um melhor arejamento, reduzindo erosão; contém nutrientes e oligoelementos que são liberados para o solo a um ritmo compatível com a necessidade da planta, ao contrário dos fertilizantes químicos, que disponibilizam os nutrientes de uma forma quase instantânea; micro-organismos presentes no composto aumentam a capacidade de fixação de nitrogênio e previnem o desenvolvimento de organismos patogênicos (MEIRA; CAZZONATO; SOARES, 2003).

A compostagem de resíduos orgânicos em um país com as características do Brasil reveste-se de grande importância e necessidade. Trata-se de uma medida que atende a vários objetivos: - sanitários (diminuição de doenças e na produção de resíduos sólidos); - ambientais (controle da poluição) - econômicos (incentivo à economia da região) - agrícolas (incentivo à agricultura familiar) As características tropicais do país, associadas à grande produção diária de resíduos orgânicos nas comunidades brasileiras, fazem da compostagem um dos processos com grande viabilidade de uso (MEIRA; CAZZONATO; SOARES, 2003)

Embora a compostagem traga todas as vantagens citadas até agora, este processo emite gases estufa como óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) (OSADA; KURODA; YONAGA, 2000). Portanto, é de extrema importância estudar o comportamento destes gases nesse processo, visando o comprometimento do país na NDC, como já dito nas seções anteriores.

Ciclo do Nitrogênio na criação de frango de corte

O ciclo do nitrogênio é denominado biogeoquímico, uma vez que consiste de processos químicos, biológicos e geológicos no ciclo global. Os possíveis caminhos que uma molécula contendo N pode sofrer são: nitrificação, desnitrificação, formação de óxido nítrico, lixiviação de nitratos e volatilização de amônia (MENDES et al., 2012).

A perda de nitrogênio na avicultura tem sido muito estudada devido aos prejuízos ecológicos, financeiros e zootécnicos. Na criação de animais, principalmente quando se faz necessário o confinamento, há altas quantidades de N por meio da ração rica em aminoácidos que garantem um melhor desempenho produtivo dos animais.

A literatura aponta que cerca de 40% do N inserido no sistema em forma de ração na criação de aves em confinamento é perdido para atmosfera em forma de NH_3 (Patterson e Lorenz, 1996 *apud* YANG; LORIMOR; XIN, 2000). Em geral, essa perda ocorre através do ar que passa pela estrutura do galpão, já que é necessária alguma abertura para que se mantenham os níveis de O_2 e CO_2 e outros gases dentro do padrão permitido de acordo com os parâmetros de qualidade do ar (YANG; LORIMOR; XIN, 2000).

Alguns estudos têm calculado as perdas de N de um sistema a partir de cálculos matemáticos tendo como base o balanço de N. assim, a diferença entre os fluxos de entrada e de saída é igual à taxa de emissão (perda) de N (ou NH_3). Para o caso de frangos de corte, o fluxo de entrada é calculado pela quantidade de N da ração. Já o fluxo de saída se dá pelo N da cama usada, N das aves mortas e as emissões gasosas de compostos nitrogenados são considerados como forma de escape de N do sistema (KEENER; ZHAO, 2008; YANG; LORIMOR; XIN, 2000).

3.5 *Técnicas para detecção de amônia utilizadas em granjas avícolas*

Nesta seção é apresentada uma revisão da literatura das técnicas utilizadas na avicultura de corte para detecção de NH_3 em granjas. Há vários estudos com objetivo de reduzir ou controlar a degradação microbiana e por consequência a produção de NH_3 com aditivos químicos na cama de frango, porém é unânime que o manejo cuidadoso da cama e ventilação adequada seja a melhor forma de controle, devido ao custo e outros problemas que podem ser gerados indiretamente (CARLILE, 1984; FERREIRA, 2010).

Há diversas técnicas para detecção de amônia nas mais variadas aplicações em instalações de animais, tais como: Fotometria, colorimetria, condutimetria, pH, tubos de

detecção de gás, espectroscopia de Transformada de Fourier infravermelho (FTIR), analisadores não dispersivos IV, analisador de NO_x , sensores eletroquímicos (NI; HEBER, 2001). Todavia, apenas algumas delas são ou já foram empregadas na avicultura de corte de forma satisfatória.

A literatura relata que as técnicas mais empregadas na zootecnia para monitoramento de traços de gases na criação de animais são os sensores eletroquímicos (H. XIN et al., 2003) e os analisadores de gases no infravermelho (IV) baseado em fotoacústica (AMARAL et al., 2007; HASSOUNA et al., 2013). Os analisadores de gases comerciais utilizados atualmente, apesar da facilidade no uso e baixo custo por medição são dotados de certas derivas na calibração, o que aumenta a incerteza na medição.

Contudo, o método padrão reconhecido pela EPA para amostragem de NH_3 a partir de superfícies de áreas é a Cromatografia iônica (EPA 40 CFR). Neste caso, o analito em questão é preso no ácido sulfúrico e posteriormente analisado em laboratório (WEBBER et al., 2005).

No Brasil ainda carece de técnicas mais avançadas neste setor. As pesquisas brasileiras de emissão de NH_3 muitas vezes são realizadas com métodos de análise bem simples, como método de titulação. Este método é considerado relativamente simples e barato, mas carece de precisão e exatidão, além de estar sujeita a interferências de todos os ácidos e bases. A Figura 12 ilustra o esquema de montagem utilizada no Brasil para determinação de amônia em granjas nas cidades de Jaboticabal/SP e Dourados/MS (GARCIA et al., 2011; SAMPAIO et al., 1999).

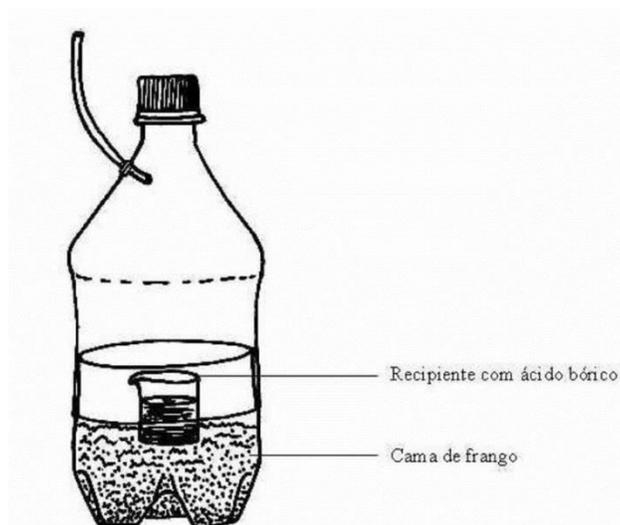


Figura 12: Esquema do recipiente proposto para determinação de amônia volátilizada
Fonte: (GARCIA et al., 2011)

Os tipos de sensores mais adequados e amplamente utilizados para controle e monitoramento do gás amônia nesses ambientes de criação de animais são os eletroquímicos e os infravermelhos. De modo geral, os sensores eletroquímicos operam reagindo com o gás a ser detectado, produzindo um sinal elétrico proporcional à concentração do gás (BAKKER; QIN,

2006; PONZONI, 2007). As principais características dos analisadores de gases a base de sensores eletroquímicos são a sua portabilidade, rápido tempo de resposta, simplicidade de operação do equipamento, possibilidade de miniaturização e baixo custo (MANDON et al., 2012; WINDMILLER; WANG, 2013). Contudo, é um método recomendado para determinar altas concentrações (DENGFEI; JINMING; YIBIN, 2015).

Um sensor eletroquímico é constituído por três eletrodos: de detecção, reagente e auxiliar; e um eletrólito inserido entre os eletrodos. O material dos eletrodos é selecionado de acordo com o gás a ser detectado, tipicamente feito de platina ou ouro. O eletrodo de detecção é recoberto por uma estrutura de diafragma, uma espécie de membrana hidrofóbica, como mostra a figura 13, que evita a contaminação da superfície do eletrodo e mantém o desempenho eletrolítico. Esta membrana é capaz de controlar a quantidade de moléculas gasosas que chega ao detector e de evitar a entrada de água e gases indesejados, melhorando assim, a seletividade do método (BARD; FAULKNER, 2001; DENGFEI; JINMING; YIBIN, 2015).

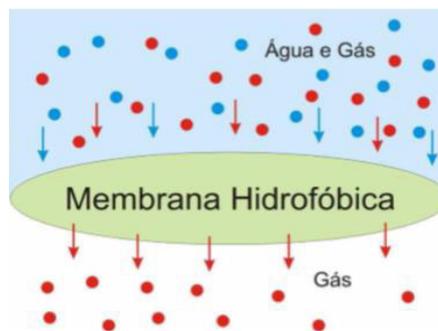


Figura 13: Membrana hidrofóbica (PONZONI, 2007)

Xin e colaboradores relatam o desenvolvimento do sistema portátil com sensor eletroquímico de NH_3 que mais tarde gerou diversas aplicações em galpões avícolas, conhecido como unidade de monitoramento portátil (PMU). Eles usaram dois sensores NH_3 modelo alemão *Dräger III* de modo a minimizar dados faltantes devido a possíveis falhas do sensor (XIN et al., 2002). Wheeler e colaboradores utilizaram-se de sensores eletroquímicos na detecção de NH_3 de diversas granjas avícolas comerciais norte-americanas, utilizando PMU que é uma unidade portátil de monitoramento com precisão de 3 ppm e faixa de detecção de 0 a 200 ppm para medição deste gás (WHEELER et al., 2012).

Já os analisadores no infravermelho são baseados na técnica fotoacústica, no entanto, utilizam uma lâmpada de tungstênio e têm sido largamente utilizados para estudos de emissões

de gases por animais, como o *INNOVA 1412*[®] e o *Chillgard RT*[®], encontrados no mercado comercial. O analisador *Chillgard* caracteriza-se, de acordo com Li e colaboradores, pela precisão, repetitividade e tempo de resposta, originalmente projetado para monitoramento de NH₃ de sistemas de refrigeração, sua faixa de detecção é de 1 a 1000 ppm com sensibilidade de 1 ppm e precisão ± 2 ppm (LI; ZHANG; XIN, 2015).

Essa técnica de análise multi-gás está sendo reconhecida pela EPA e usada pelo Estudo Nacional de Medição de Emissão do Ar (NAEMS) para medições de algumas espécies gasosas por suas vantagens na estabilidade, baixo custo e manutenção mínima. Uma desvantagem relatada na literatura é a interferência por umidade e outros constituintes gasosos da atmosfera de amostragem.

A figura 14 mostra uma unidade móvel de monitoramento de emissões do ar (MAEMU) como uma espécie de trailer. Composto de diversos equipamentos para medições de gases e material particulado, entre esses equipamentos, o analisador INNOVA. Este trailer tem sido utilizado para operações com animais (NGWABIE et al., 2011; NI; HEBER, 2001) e também em atividades agrícolas (Li, 2008a *apud* LI; ZHANG; XIN, 2015).



Figura 14: Unidade móvel de monitoramento de emissões do ar (MAEMU) (MOODY et al., 2008a)

Segundo Moody, o limite de detecção do analisador INNOVA para NH₃ é de 0,2 ppm e pode medir até 2000 ppm, seu alcance máximo. No entanto, a linearidade foi verificada no intervalo de concentração entre 0-300 ppm. Isso não é um problema, já que as concentrações máximas esperadas em galpões de frango de corte estão muito abaixo desse limite (MOODY et al., 2008b).

Li e colaboradores compararam os analisadores *Chillgard RT* e *INNOVA 1412* para monitoramento contínuo em tempo real de NH₃ em granjas avícolas e observaram que o tempo de resposta de medição de NH₃ é menor no *Chillgard* e isso foi relacionado com as interferências

entre os gases CO₂, N₂O, CH₄. Além disso, concluíram que houve uma forte relação linear entre Chillgard RT e INNOVA em todas as condições experimentais, em galpões de galinhas poedeiras e frangos de corte e também em camas de frango armazenada (LI; ZHANG; XIN, 2015).

3.6 *Espectroscopia Fotoacústica*

A Espectroscopia Fotoacústica (FA) utiliza o processo de relaxação não radiativa, convertendo, praticamente, toda a energia absorvida em calor. O processo de decaimento não radiativo prevalece, pois o tempo de decaimento radiativo (10^{-1} s a 10^{-3} s) é maior que o decaimento não radiativo (10^{-6} s a 10^{-9} s), particularmente para o infravermelho (HESS, 1983).

Em 1880, Alexander Graham Bell descobriu que quando uma amostra numa célula fechada é iluminada por radiação modulada produz-se um sinal acústico. Ele descobriu através de inventos paralelos como o telefone (MARÍN, 2008).

Por muito tempo, essa descoberta permaneceu simplesmente como uma curiosidade científica. A partir do início da década de 1970 com o desenvolvimento de microfones, lasers e amplificadores lock-in esta técnica ganhou um grande impulso despertando interesse de diversos pesquisadores (HINDERLING; SIGRIST; KNEUBÜHL, 1987; KREUZER, 1971; ROSENCWAIG, 1978), sendo hoje considerada como uma das principais técnicas de análise e caracterização de materiais (ARSLANOV et al., 2013; CORREA et al., 2011; DA SILVA et al., 2003; HARREN et al., 2000; PEREIRA et al., 2009).

A figura 15 ilustra um desenho esquemático do efeito fotoacústico. Ao iluminar a amostra com luz modulada, esta absorve energia, passando do estado fundamental para um estado excitado. Como a radiação não é contínua, há, em seguida, um decaimento não radiativo que gera aquecimento na amostra, causando a expansão do gás seguido de contração, devido à modulação da luz. Isto resulta em uma onda acústica dentro da amostra, a qual é detectada pelo microfone.

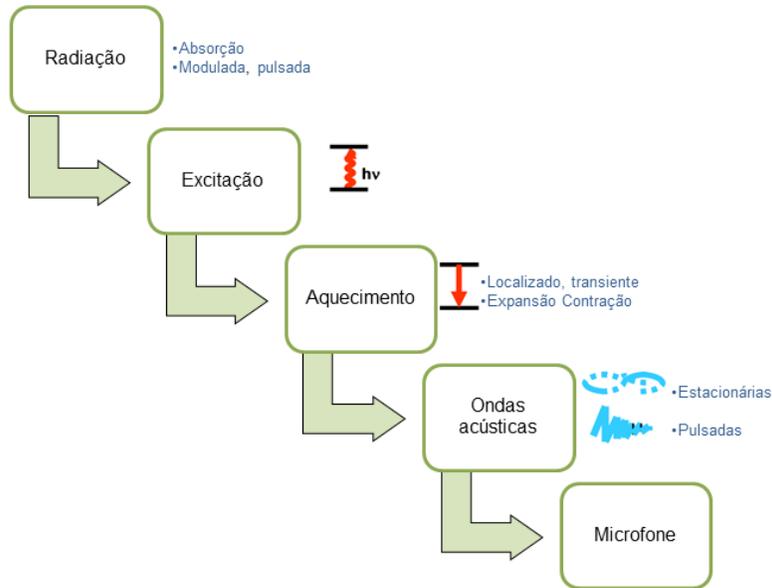


Figura 15: Desenho esquemático dos processos que ocorrem dentro de uma célula fotoacústica
Fonte: própria autora

A intensidade do sinal fotoacústico $S(\lambda)$ produzido por uma única espécie gasosa absorvedora diluída num gás não absorvedor pode ser calculada por meio da equação 5 proposta por Sigrist (SIGRIST, 1995).

$$S(\lambda) = CP(\lambda)Nc\sigma(\lambda)$$

onde C é a constante da célula fotoacústica, $P(\lambda)$ é a potência emitida pelo laser no comprimento de onda escolhido, N é a densidade total de moléculas, c é a concentração molar do gás desejado e σ é a seção de choque de absorção das moléculas gasosas.

3.6.1 Fonte de radiação: Laser de Cascata Quântica (LCQ)

Uma das fontes de radiação utilizada na espectroscopia fotoacústica é o laser de cascata quântica (LCQ). Este laser pertence à família dos semicondutores, com a particularidade de utilizar transições quânticas dentro da mesma banda. Diferente dos lasers semicondutores convencionais, os LCQs utilizam apenas um tipo de transportador de carga (elétrons) que submetem-se a saltos quânticos entre níveis de energia E_n e E_{n-1} para criar um fóton de frequência $(E_n - E_{n-1})/h$. Esses níveis de energia não existem naturalmente nos materiais constituintes da região ativa, mas são criados artificialmente por estruturação da região ativa em linhas ultrafinas de compostos de gálio e alumínio conhecidas como poços quânticos, que são da espessura de alguns nanômetros (CURL et al., 2010).

A figura 16 ilustra o diagrama de energia de um laser de cascata quântica. Neste tipo de laser, os elétrons saltam de um nível energético a outro e tunelam de uma camada para a próxima através das barreiras de energia separando os poços. Quando eles saltam, liberam energia. Quando o elétron de menor energia deixa o primeiro poço, ele é facilmente reutilizado, sendo injetado na região ativa adjacente idêntica, onde ele emite outro fóton e assim por diante (CURL et al., 2010). Dessa forma, o elétron permanece na banda de condução depois de emitir um fóton, sendo reaproveitado ao ser injetado em uma região ativa adjacente idêntica, emitindo outro fóton e assim por diante, daí o efeito cascata (CURL et al., 2010).

Uma característica importante deste tipo de laser é que a partir da mudança da espessura da camada semicondutora, provocada pela dilatação ou contração do poço quântico, e obtida através da variação de temperatura, é possível alterar o comprimento de onda do laser. A utilização de uma rede de difração, como um elemento seletivo de comprimento de onda, confere ao laser uma alta seletividade, permitindo selecionar exatamente o comprimento de onda de absorção da molécula em estudo (CURL et al., 2010).

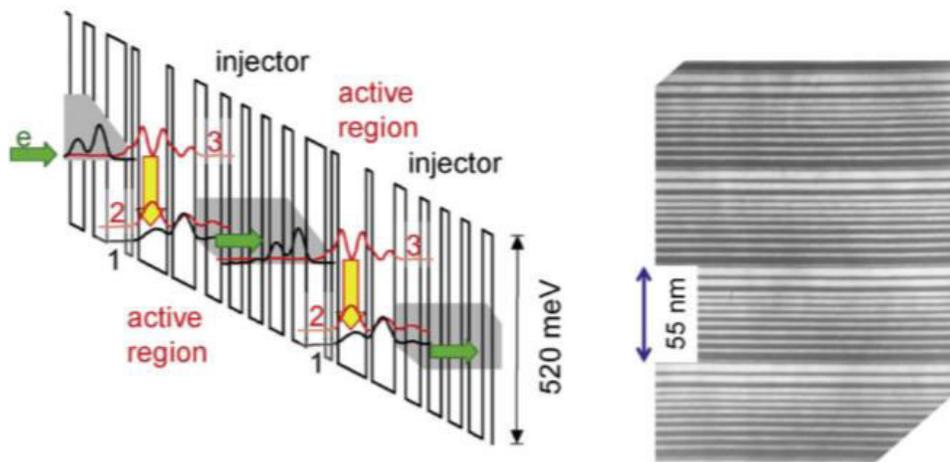


Figura 16: Diagrama de energia de um LCQ.
Fonte (CURL et al., 2010)

Os gases que podem ser detectados por este sistema são os que absorvem radiação na faixa do infravermelho médio tais como: Ozônio (O_3), Amônia (NH_3), Óxido Nitroso (N_2O), Óxido Nítrico (NO), Metano (CH_4), entre outros. No entanto, como essa região é extensa, cada laser tem uma faixa de emissão, por exemplo, para o QCL utilizado neste trabalho para detecção de N_2O , sua faixa de emissão é de $7,71 \mu m$ a $7,88 \mu m$, de modo que é possível a detecção tanto do N_2O quanto do CH_4 (RAPSON; DACRES, 2014).

O LCQ acoplado a um detector fotoacústico tem se destacado na medição da concentração de diferentes gases pela alta seletividade, tamanho compacto, baixo custo se comparado a outros lasers, alta resolução espectral, além da possibilidade de ser operada a temperaturas próximas à temperatura ambiente (DA SILVA et al., 2004; FILHO et al., 2006; ROCHA et al., 2011).

3.6.2 Célula fotoacústica ressonante diferencial

A célula fotoacústica ressonante diferencial apresenta as seguintes vantagens: rápida resposta temporal (quando comparada a outras células fotoacústicas), baixo ruído acústico e elétrico e alta sensibilidade (DA SILVA et al., 2004; FILHO et al., 2006; LIMA et al., 2006). A figura 17 mostra como exemplo a célula utilizada na detecção de NH_3 nesta pesquisa. Esta célula possui tamanho compacto, medindo 6,6 cm x 5,4 cm x 3,0 cm. Basicamente, a célula é composta por duas janelas ópticas de seleneto de zinco (ZnSe) com filme antirreflexo para a faixa de comprimento de onda usado. Os tubos ressonadores tem forma cilíndrica com 23,2 mm de comprimento e 3,8 mm de diâmetro e estão equipadas com microfones (Knowles Electrónica, TM 24547-C36) localizados no meio dos tubos. Os microfones foram cuidadosamente selecionados, de modo a ter a mesma frequência de resposta, em outras palavras, que sejam casados.

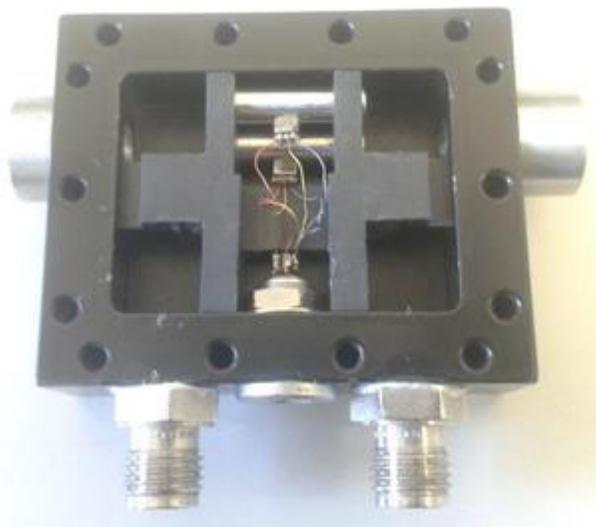


Figura 17: Foto da célula fotoacústica ressonante diferencial.
Fonte: Própria autora

O feixe de radiação laser, então, passa através de um único ressonador para gerar o sinal fotoacústico acrescido de sinal de fundo. No segundo ressonador, somente é medido o fundo,

também chamado de background. Pela diferença de ambos os sinais de microfones, a contribuição do fundo pode ser significativamente reduzidas, aumentando assim, a razão sinal-ruído.

Objetivando minimizar o ruído de turbulência causado pelo fluxo de gás para dentro da célula, esta célula fotoacústica possui filtros acústicos, que são volumes definidos que contribuem na atenuação de ruídos originados por fluxos turbulentos de gás, além de atuar na redução do sinal fotoacústico provocado pelo aquecimento das janelas ópticas (LIMA, 2014). Além disso, a superfície interior da célula é revestida por politetrafluoretileno (PTFE) mais conhecido por Teflon, que tem propriedade não adsorvente e não reativa.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 *Galpão avícola experimental e aves*

O projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Uso de Animais (CEUA) da UENF (protocolo CEUA/UENF n°. 362 de 30 de Maio de 2017).

O experimento foi conduzido nas dependências da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Pintainhos de um dia de idade da linhagem Cobb-500, machos e fêmeas, procedentes de incubatório comercial, foram distribuídos em dois grupos para serem criados alojados no piso em dois galpões separados do biotério de aves do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA) da UENF. Em cada galpão de 120 m² foram construídas cinco baias de tamanho 2,10 x 1,20 m (2,52 m²) para alojar 33 frangos em cada, atendendo às normas de densidade de criação de frangos de corte em galpões abertos, de 13 aves/m². Em cada galpão foi utilizado um tipo de substrato para conformar a cama de cobertura do piso (tratamentos experimentais), maravalha ou fibra de coco verde. Tal separação foi importante para evitar interferência entre os tratamentos na coleta de gases, e garantir a precisão das coletas,

Foram utilizados aquecedores elétricos e campânulas a gás para garantir o conforto térmico, na primeira semana do ciclo produtivo, preconizado pelo manual da linhagem.

A temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas por meio de termohigrômetros diariamente e ao longo do dia anotando máxima e mínima, visando garantir um ambiente constante e uniforme de acordo com a tabela 4 extraída do Guia de Manejo da *Cobb*, pois grandes flutuações na temperatura do galpão causam estresse nos pintos e reduzem o consumo de ração. Além disso, essas flutuações resultam em maior consumo de energia para manter a temperatura corporal (COBB, 2009).

Tabela 4: Guia de temperatura ambiente de acordo à umidade relativa do ar e o peso corporal para a criação de frangos de corte (COBB, 2004).

Idade (dias)	Peso Corporal (g)	Umidade relativa do ar (%)					
		30	40	50	60	70	80
1	42	33	32,5	32	29,5	29	27
7	175	32	31	31	29	28	26,5
14	486	30	30	29,5	28,5	27	25,5
21	931	28	28	27,5	26,5	26	25
28	1467	26	25	25	24	23,5	22,5
35	2049	23	23	22,5	22	21	20,5
42	2634	20	20	19,5	18,5	17,5	16

A ciclo de vida dos frangos é dividido em fases, em que de 0 a 7 pré inicial, 8 a 21 inicial, 22 a 35 crescimento e 36 a 42 final.

Para fornecer uma boa qualidade do ar no galpão foi necessário garantir uma ventilação mínima. É muito importante que o ambiente de alojamento das aves contenha volume adequado de oxigênio, e baixas quantidades de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), amônia (NH₃) e poeira. A queda na qualidade do ar no aviário pode levar ao aumento dos níveis de NH₃, CO₂, umidade e a ocorrência de síndromes como a ascite nas aves (JAENISCH et al., 2001). Por isso, os manuais técnicos de linhagens comerciais de frangos preconizam os limiares aceitáveis das variáveis de qualidade do ar (tabela 5). Destaca-se também a recomendação de concentração de NH₃ abaixo de 10 ppm.

Tabela 5: Diretrizes de qualidade do ar em galpão avícola (COBB, 2009).

Variável	Limite aceitável
Oxigênio	>19,6%
Dióxido de carbono	<0,3% / 3000 ppm
Monóxido de carbono	<10 ppm
Amônia	<10 ppm
Umidade relativa	45-65%
Poeira inspirável	<3,4 mg/m ³

O manejo de ventilação em galpões abertos, com o uso de cortinas, objetiva minimizar as flutuações de temperatura, pois o melhor controle da temperatura resulta em melhor conversão alimentar e taxa de crescimento (COBB, 2009). Nas semanas finais do ciclo produtivo, os frangos necessitam de diminuição da temperatura ambiente para dissipar o calor corporal produzido pelos frangos, o que aumenta na fase de crescimento rápido devido à alta taxa metabólica. A ventilação influencia na concentração de amônia no ambiente, devido ao fluxo de ar. Até o dia 28 de criação das aves, o procedimento de ventilação exercido foi abrir o portão 2 vezes ao dia (manhã e tarde). A partir do dia 29 iniciou-se a abertura das cortinas como ilustra a Figura 18, onde mostra o croqui do galpão em cortes transversais e planta baixa na penúltima semana (dias 29 a 35) (a) e na última semana (dias 36 a 42) (b). Os cortes transversais da figura 18 mostra a visão interna das laterais do galpão, com duas grades com cortinas de um lado e do outro lado um portão de correr juntamente com uma porta de giro e uma grade com cortina. Na penúltima semana foram abertas 30 cm das cortinas a partir do teto em lados opostos, sinalizadas na planta baixa da figura 18a, de modo que houvesse circulação de ar por todo o galpão. Na

última semana, foram abertas todas as três cortinas a 80 cm do teto (Figura 18b). A figura 19 mostra imagens reais do galpão na última semana, evidenciando as vistas laterais dos dois lados.

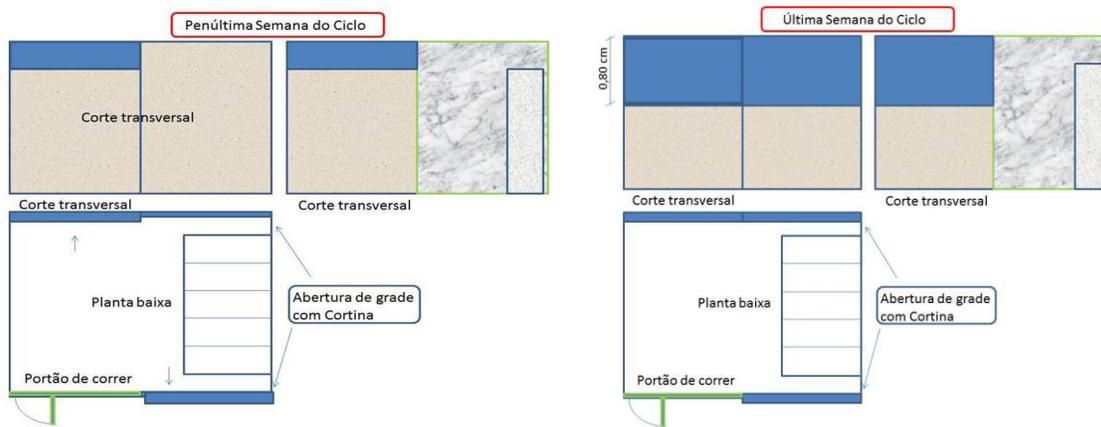


Figura 18: Planta baixa do galpão e cortes transversais com visão das cortinas: Penúltima semana (a) e última semana (b)



Figura 19: Galpão na última semana com parte das cortinas e porta abertas.

4.2 Metodologia de secagem da fibra de coco

O resíduo de coco foi doado por um produtor da cidade de Quissamã, o qual comercializa água de coco no atacado para envasadora local. O material da casca de aproximadamente 200 cocos foi destrinchado com a ajuda de um trator e toda a fibra espalhada em uma mesa feita de tela sombrite (Figura 20) a secagem ao sol, sobre a qual o material foi revolvido três vezes ao dia (às 8h, 12h, 16h) por cinco dias para evitar fermentação do material.



Figura 20: Secagem da fibra de coco

Posteriormente, o material foi submetido à secagem em estufa com ventilação forçada a 55°C por 16 horas de modo a certificar a secagem e evitar proliferação de fungos. Após este período, o aquecimento da estufa foi desligado, deixando apenas a circulação de ar por 8 horas, de modo a resfriar a amostra antes de ensacar, evitando condensação.

Para estabelecer o volume adequado à maravalha, foram analisadas amostras dos dois materiais quanto à composição em umidade (%), matéria seca (%), carbono e nitrogênio. Por meio do índice de matéria seca, estabeleceu-se o volume necessário de material para cada box. Sendo assim, cada 1kg de maravalha corresponde a 1,038kg de fibra de coco. A figura 21 mostra os dois tipos de cama no início do ciclo.

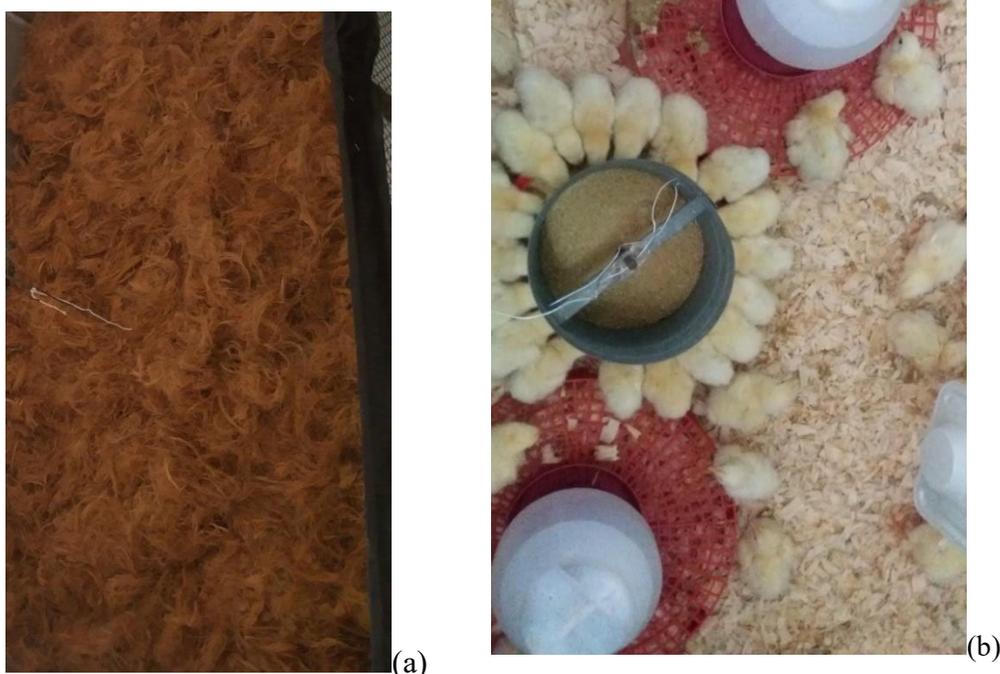


Figura 21: Cama no início da criação com fibra de coco (a) e com maravalha (b).

4.3 *Composição química da cama pré e pós-criação*

A composição química da cama pré e pós-criação foi determinada pelo método de análise proximal de Weende, utilizado em estudos para análise da composição de alimentos. Com esse método foi possível dividir a composição da cama em porcentagens de matéria seca (MS) e água (umidade - U), e foi determinada a composição da matéria seca em matéria orgânica (MO) (carboidratos, extrato etéreo, fibra e compostos nitrogenados) e matéria inorgânica ou cinzas (matéria mineral - MM) (SALMAN et al., 2010). O procedimento laboratorial para a determinação da MS, realizado no Laboratório de Zootecnia (LZO) do CCTA, de acordo com a metodologia da Association of Official Agricultural Chemists (AOAC), consistiu basicamente de duas etapas, a determinação da ASA (peso da Amostra Seca ao Ar) e ASE (peso da Amostra Seca na Estufa a 105°C por 16h). Feitos esses procedimentos calculou-se a MS (%) e por diferença calculou-se a U (%) (HORWITZ, 2002).

Após o procedimento ASA, as amostras foram incineradas em um forno tipo mufla a 600°C a fim de eliminar a parte orgânica. Esta etapa levou aproximadamente 24 h, pois a programação de temperatura da mufla foi lenta, principalmente no resfriamento do forno (HORWITZ, 2002). As amostras queimadas na mufla permaneceram no dessecador por 30 min e em seguida foram pesadas as cinzas, e expressas em porcentagem (MM%) do peso da amostra original. A MO (%) foi calculada por diferença entre a MS% menos a MM%. Amostras dos substratos maravalha e fibra de coco e das camas pós-criação foram secas em estufa a 55°C durante 72 horas, com homogeneização constante. Das amostras secas e homogêneas foi obtida uma quantidade menor de amostra composta, ou seja, retirada de diversos pontos da amostra total. As amostras compostas foram moídas em moinho de faca, peneiradas em malha de 0,5 mm e encaminhadas para o Centro de Análises de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ campus Campos dos Goytacazes-RJ para análise química de acordo com (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Foram realizadas dosagens de pH, N, C, Ca, Mg, P₂O₅ e K₂O. Com os valores de C e N, podemos averiguar a relação C/N, sendo esta uma variável muito importante para a análise da compostagem.

4.4 Sensor fotoacústico para detecção de NH_3

Para a detecção de NH_3 nesta pesquisa foi utilizada a técnica fotoacústica com um laser de diodo acoplado. Esta técnica é caracterizada por ser sensível e seletiva, e quando acoplada a um laser desse tipo é considerada de fácil montagem e baixo custo. Na Figura 22 é mostrado o desenho esquemático do sensor fotoacústico para detecção de NH_3 . Observa-se que o laser está conectado à célula fotoacústica por uma fibra ótica. A parte eletrônica da célula foi conectada ao lock-in. Este equipamento é responsável por filtrar e amplificar somente a frequência de ressonância escolhida. O controlador de fluxo tem como função evitar turbulência da amostra ao ser inserida na célula. Diferente do laser de cascata quântica, no laser de diodo o controlador de temperatura está atrelado ao driver do laser, dispositivo denominado TEC. A corrente de alimentação deste laser foi eletronicamente modulada na frequência de ressonância da célula fotoacústica, por meio da modulação em amplitude, utilizando um sinal TTL (*transistor-transistor logic*). A modulação estabelecida foi de 58 mA contínuo + 8 V, totalizando 214,5 mA e o *dutycycle* de 70% (VIANA, 2018).

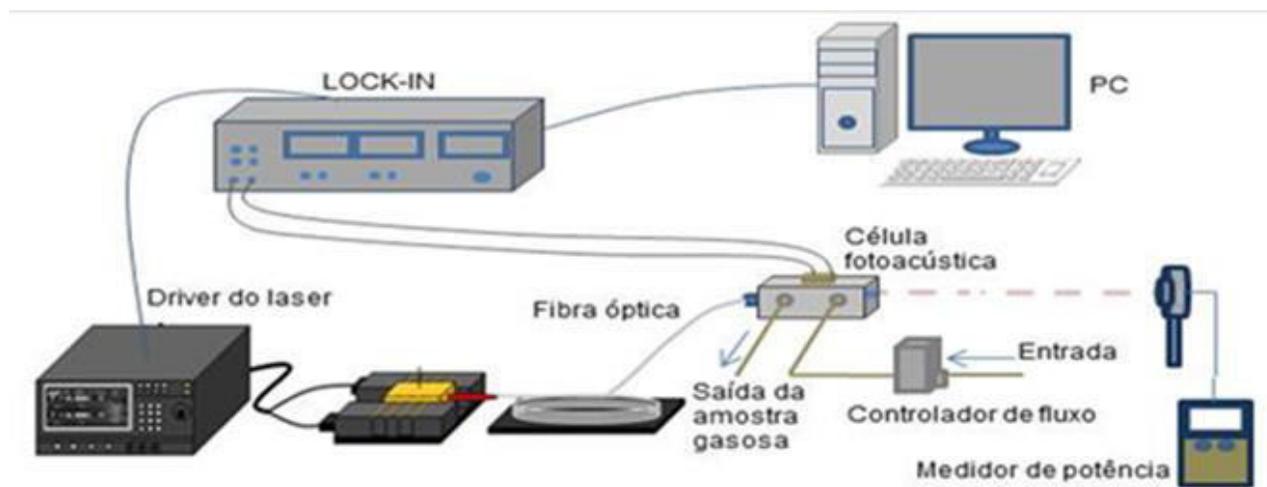


Figura 22: Desenho esquemático do sensor fotoacústico com laser de diodo

4.4.1 Condições de operação do sistema fotoacústico para detecção de NH_3

A frequência de ressonância da célula fotoacústica utilizada é 6380 Hz. A faixa de emissão do laser de diodo utilizado na detecção de amônia é mais restrita quando comparado ao LCQ, compreendendo 1529,7 a 1533,6 nm (IV próximo). A figura 23a mostra o sinal fotoacústico de 100 ppm de NH_3 (certificada) obtido ao variar a temperatura do laser de diodo. A figura 23b apresenta o espectro de NH_3 obtido pelo banco de dados Pacific Northwest National

Laboratory (PNNL), onde se observa os picos de NH_3 coincidentes entre os espectros, o pico em $10,7^\circ\text{C}$ que corresponde a $1531,7\text{ nm}$ obteve absorção superior aos demais. Portanto, esta foi a temperatura sintonizada no laser para detecção de NH_3 em medidas de patamar (temperatura fixa para quantificação do gás específico).

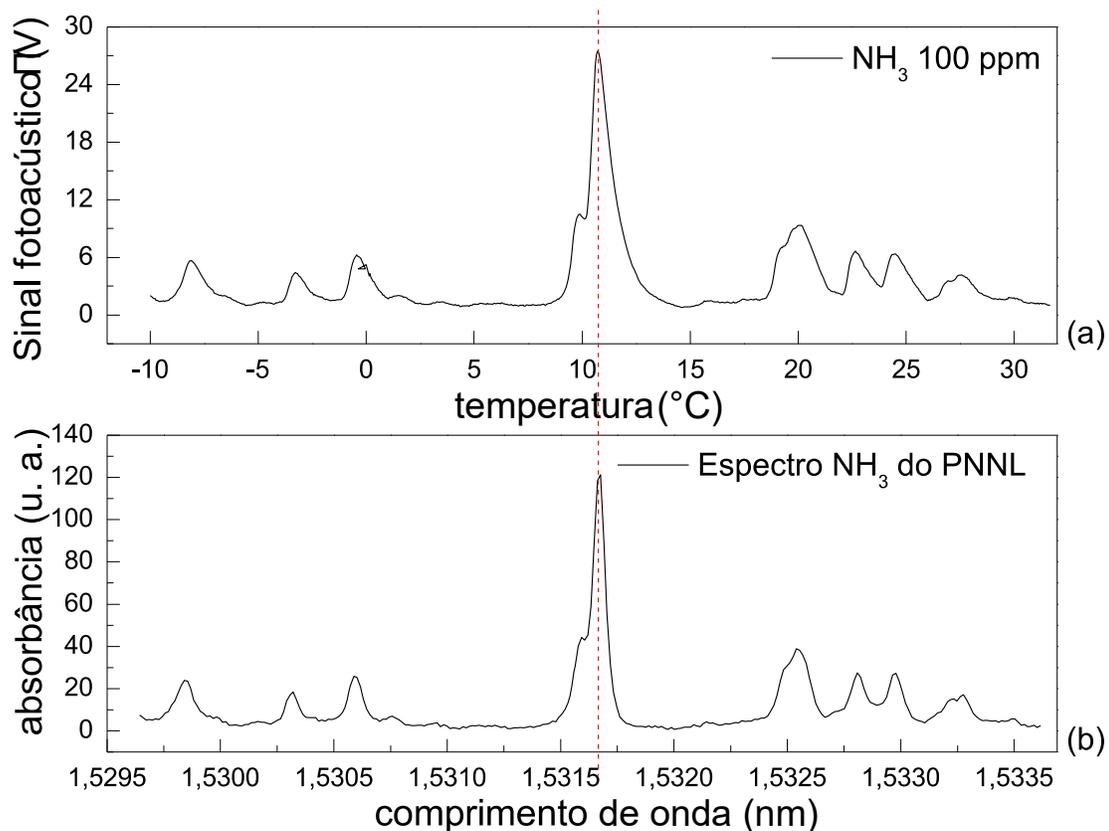


Figura 23: Varredura de temperatura de NH_3 (a). Espectro experimental de NH_3 obtido do banco de dados PNNL (b)

Para converter o sinal fotoacústico medido em concentração (parte por milhão em volume - ppm) é necessária uma curva de calibração. Na figura 24a são mostrados os patamares de diluições realizadas a partir de 10 ppm. Na figura 24b é mostrada a curva de calibração para o gás NH_3 .

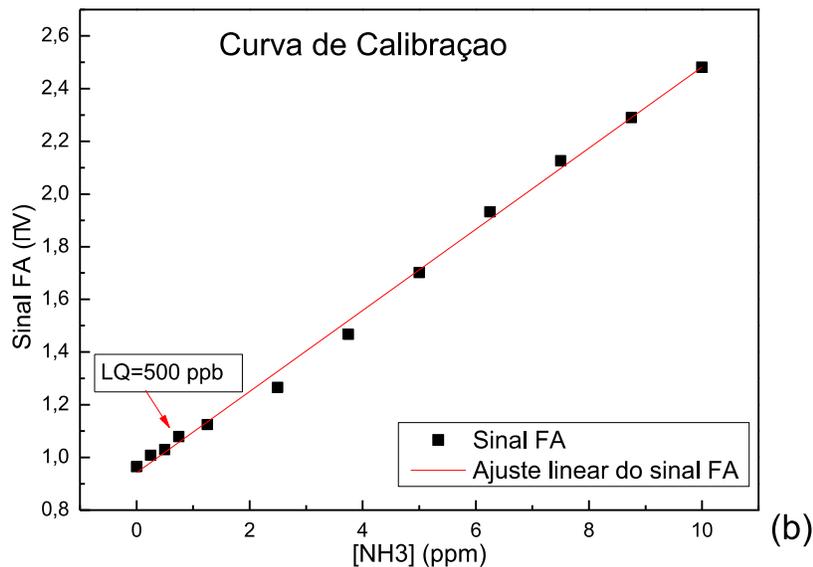
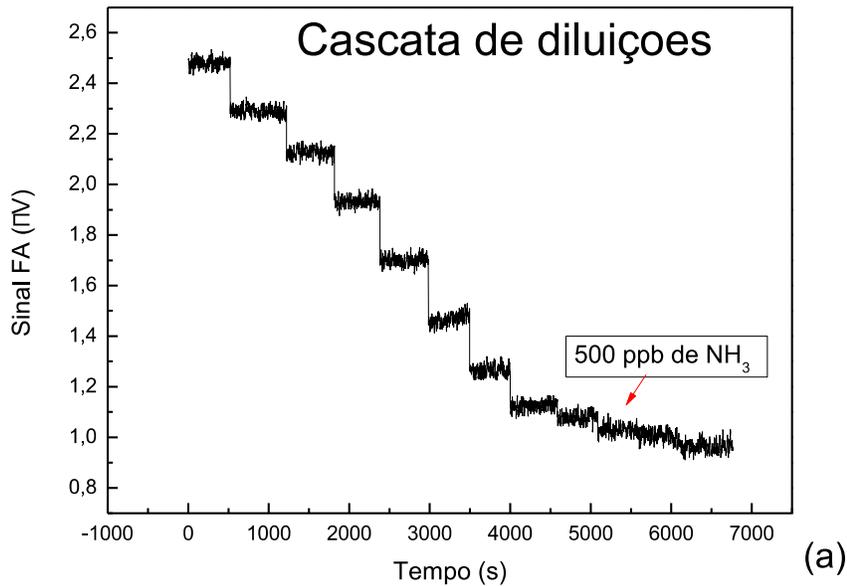


Figura 24: Cascata de diluições de NH_3 (a) e Curva de calibração de NH_3 (b).

A concentração foi obtida por meio da média de 500 pontos em cada patamar dos respectivos sinais fotoacústicos. Ao realizar um ajuste da curva de calibração, determinou-se que a linearidade é melhor que 99,66% para um *range* de 0 a 10 ppm.

O limite de quantificação (LQ) obtido nesta calibração foi de 500 ppb. Abaixo dessa concentração não foi possível determinar com precisão o valor exato, devido aos erros experimentais entre as medidas se sobreporem.

4.5 Sensor fotoacústico para detecção de N_2O e CH_4

Nesta seção é descrita a configuração experimental para detecção dos gases Óxido nitroso (N_2O) e Metano (CH_4), provenientes do processo de compostagem aeróbia das amostras de cama de frango.

O esquema experimental, descrito na figura 25, consiste basicamente de uma fonte de corrente contínua, um gerador de pulsos, já que o laser utilizado é do tipo pulsado, uma chave distribuidora, um laser de Cascata Quântica como fonte de radiação, uma célula fotoacústica diferencial, uma lente convergente, fluxômetros, um medidor de potência, um amplificador lock-in e um computador para aquisição de dados.

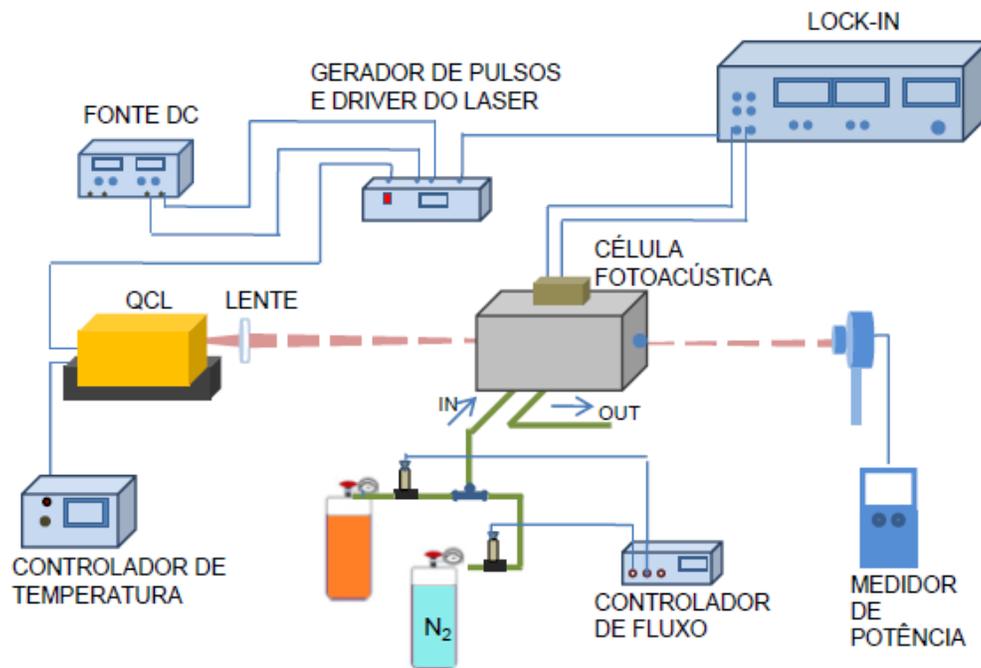


Figura 25: Desenho esquemático do espectrômetro fotoacústico acoplado ao LCQ.

Fonte: própria autora

A fonte (Tektronics – modelo PS280 DC Power Supply) é utilizada na alimentação e operação do laser, conectada através da chave distribuidora com o gerador de pulsos. Por meio do gerador de pulsos (LPG 128-T) determina-se o tempo de duração do pulso (20 ns a 50 ns) do laser e seu tempo de descanso (2,5 μ s a 1 μ s). Ao ligar a fonte e o gerador de pulsos ao LCQ uma radiação eletronicamente pulsada é gerada e com o auxílio de uma lente convergente, essa radiação é focalizada na célula fotoacústica ressonante diferencial.

Para a detecção de Óxido Nitroso (N_2O) foram utilizados os seguintes parâmetros para o funcionamento do LCQ: a temperatura do banho térmico à 18°C, taxa de repetição de 2,5 μ s (400 kHz), pulso laser de 50 ns (20 MHz), tensão de saída da fonte de 11 V, que corresponde a uma corrente de 14,4 A e temperatura do peltier à 11,5 °C.

A amostra no interior da célula absorve a radiação emitida pelo laser, gerando um sinal, que é captado e pré-amplificado pelos microfones dentro da célula, convertido em sinal elétrico, sendo, em seguida, enviado ao amplificador lock-in (Stanford Research Systems, SR 850), onde o sinal é detectado, filtrado de modo a eliminar sinais com frequências distintas da ressonância da célula e, por fim, processado em amplitude e fase.

Outro elemento importante nesse arranjo é o controlador de temperatura (TC-51), que associado ao banho térmico, permite que o diodo opere em diferentes temperaturas. A escolha da temperatura está associada à escolha do comprimento de onda desejado.

Foram feitos vários patamares com temperatura fixa com medidas de N_2O e de CH_4 de tempos em tempos. Além de espectros com variação de temperatura do laser de -5°C a 35°C , a fim de verificar os picos de absorção das moléculas em estudo.

4.5.1 Condições de operação do sistema fotoacústico para detecção de CH_4 e N_2O

Antes de fazer medidas deve ser feito uma varredura de frequência a fim de obter um melhor desempenho do sistema fotoacústico, obtendo a frequência de maior sinal fotoacústico. Deve também realizar uma varredura de temperatura para identificar as linhas de melhor absorção do gás em estudo.

Nesses ensaios são utilizadas misturas gasosas padrão certificadas pela empresa White Martins Ltda, tanto de N_2O , quanto de CH_4 . (concentração: 10 ppmV), sob um fluxo de 30 sccm, assim como o fluxo das amostras.

Para a varredura de frequência, injetou-se o gás certificado na célula. A frequência de ressonância depende da geometria da célula e do tamanho da cavidade ressonante. O maior sinal fotoacústico obtido foi na frequência de ressonância acústica 3945 Hz para misturas gasosas em nível de ppm, como é mostrado na figura 26.

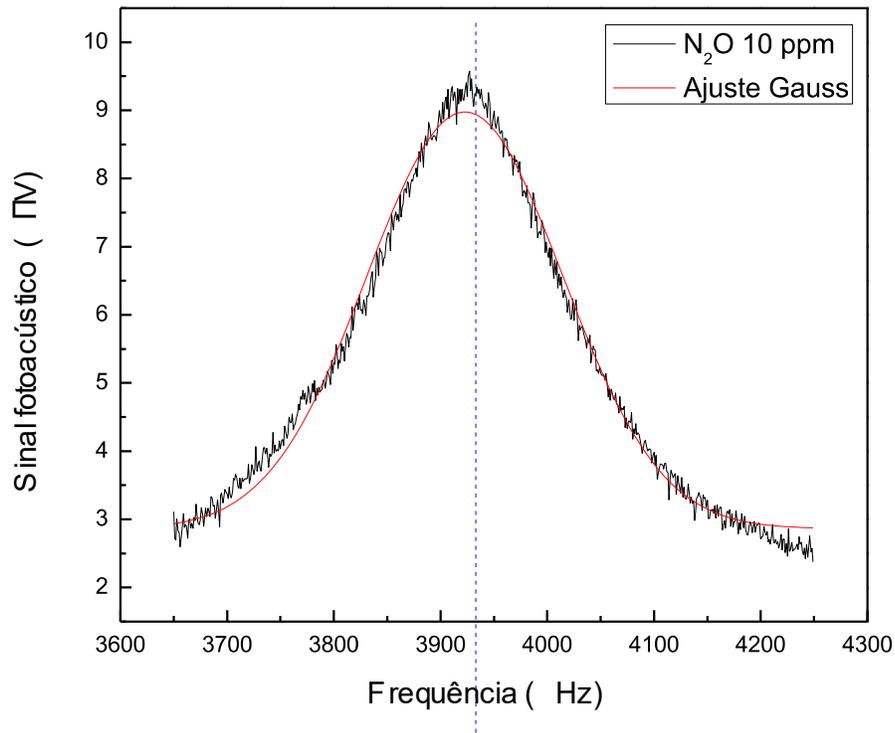


Figura 26: Varredura da frequência de ressonância da célula fotoacústica para 10 ppm de N₂O

Após este procedimento foi realizada a varredura de temperatura de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, mostrada na figura 27a. Como mencionado anteriormente, o comprimento de onda do laser varia com a temperatura de operação. Como se observa na figura 27a há a presença de picos de absorção de N₂O e de CH₄. Nesta etapa é importante verificar qual será o valor de temperatura do laser para uma condição otimizada de operação para medidas de patamar (temperatura fixa para quantificação do gás específica). A figura 27b apresenta os espectros experimentais obtidos do banco de dados PNNL para os gases CH₄, N₂O e água na região espectral de emissão do LCQ utilizado, que, como esperado, coincide com o gráfico obtido por meio da varredura de temperatura do laser utilizado no sensor fotoacústico. Observa-se que nesta região não há absorção de água, de modo que a única absorção nesta região ocorre em $7,710\text{ }\mu\text{m}$.

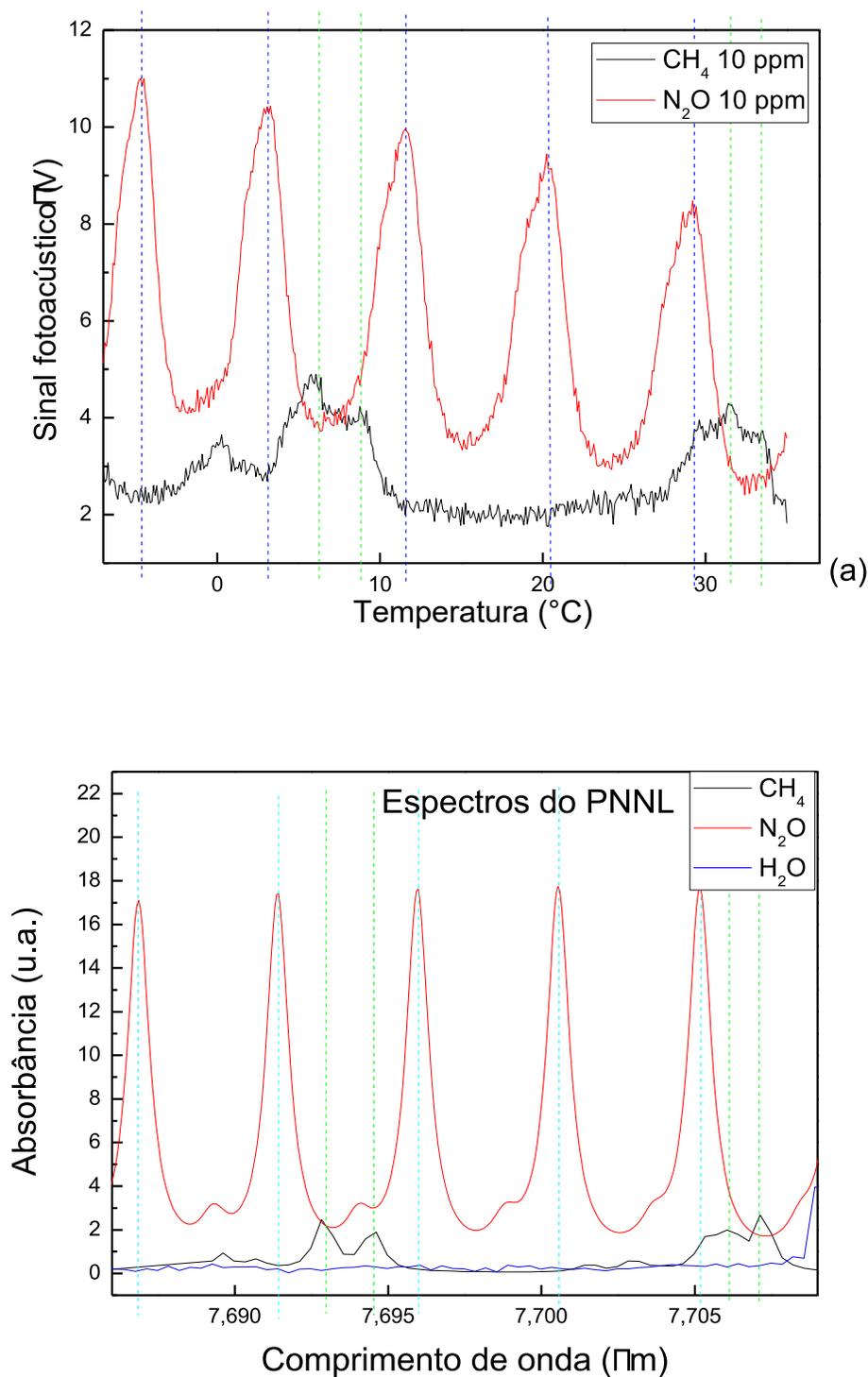


Figura 27: Varredura de temperatura de CH₄ e N₂O (a). Espectros experimentais de CH₄, N₂O e H₂O obtidos do banco de dados PNNL (b)

Desta forma, optou-se por utilizar a temperatura de operação de 11,5 °C para medidas de N₂O, que corresponde a 7,696 μm. A escolha desta temperatura se deve ao fato que os dois picos

de maior intensidade necessitam de uma temperatura de operação muito baixa, e, além disso, apresentam um sinal de fundo (background) alto, o que resultaria em uma razão sinal-ruído reduzida. Quanto às medidas de CH_4 , utilizou-se a temperatura de $6,8^\circ\text{C}$, correspondendo a $7,692\ \mu\text{m}$, visto que no outro pico com intensidade próxima a potência do laser é menor, o que reduz a sensibilidade. Este valor de temperatura corresponde a $1299,4\ \text{cm}^{-1}$ para N_2O e $1298,2\ \text{cm}^{-1}$ para CH_4 .

Calibração do sensor fotoacústico de N_2O e CH_4

Finalmente foi obtida uma curva de diluição para verificar a dependência linear do sinal fotoacústico com a concentração do gás, para que posteriormente fosse possível obter a concentração mínima detectável do gás analisado.

O procedimento para a obtenção desta curva é feito a partir de diluições do gás certificado (concentração inicial de 10 ppmV) em gás nitrogênio N_2 (gás inerte) empresa White Martins de pureza 5.0, ou seja 99,999 % de pureza até a mínima concentração detectada pelo sistema. O limite de quantificação para N_2O obtido com a curva de diluição (figura 28) é de 1 ppm, referindo à diluição mais baixa que houve diferença no sinal fotoacústico em relação ao background (N_2).

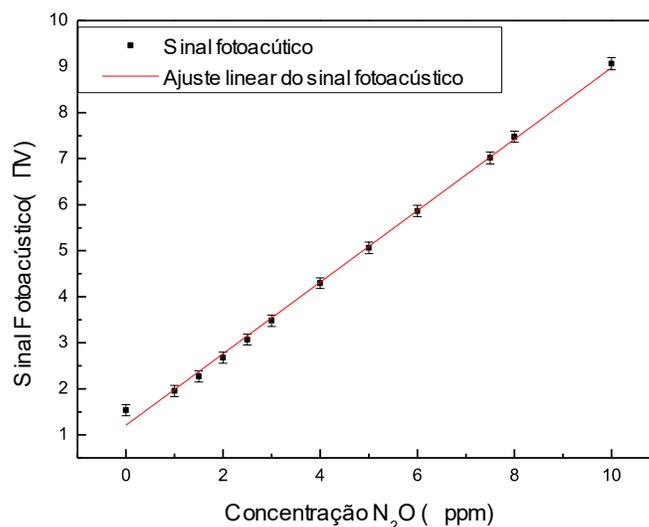


Figura 28: Curva de diluição N_2O

O mesmo procedimento foi feito para o CH_4 , diluições a partir de uma mistura padrão de CH_4 de 10 ppm (figura 29), de modo que o limite de quantificação considerando as barras de erros foi de 1 ppm, o que faz desse sensor altamente capaz de medir com precisão amostras dessa natureza. Importante destacar que esta técnica tem capacidade de medir concentrações bem menores com alta precisão (LIMA et al., 2014; LINHARES, 2015; ROCHA et al., 2011).

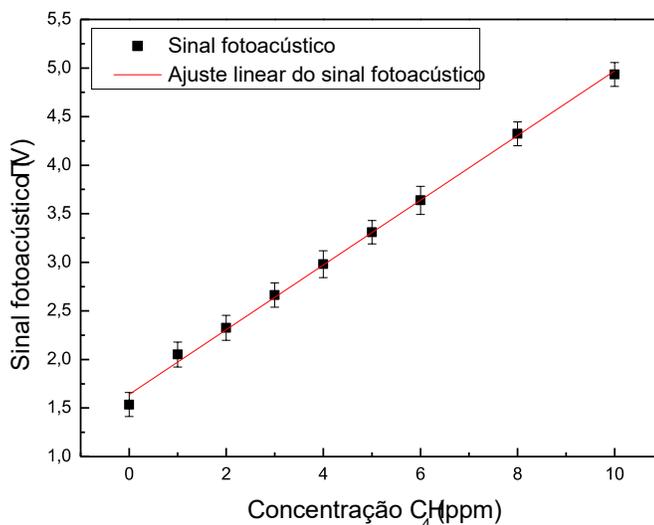


Figura 29: Curva de diluição CH_4

4.6 *Coleta das amostras gasosas do galpão*

Durante o crescimento do lote, foram coletadas amostras do ar do interior de galpão avícola para quantificação de NH_3 por meio da técnica fotoacústica utilizando um diodo laser como fonte de radiação. Essas amostras gasosas foram coletadas através de uma bomba de sucção AVOCS (Figura 30) em sacolas *Tedlar* de capacidade 20L, que são feitas de Polivinilfluoreto (PVF) *Teflon*, material que minimiza adsorção de moléculas polares como a amônia. A coleta iniciou a partir do dia 15 (referente ao dia do ciclo de vida do frango). Essa escolha se deve pelo fato de que no início da criação há pouco consumo de ração e conseqüentemente baixa densidade de resíduo. Sendo assim, a concentração de NH_3 não é preocupante pelo tamanho do galpão. No total foram sete dias de coletas até o final do ciclo.



Figura 30: Procedimento de coleta de gases

4.7 *Compostagem de cama de frango em biorreator*

Foram analisados os gases estufa (N_2O e CH_4) proveniente da cama de frango na compostagem por meio de um biorreator de bancada desenvolvido e cedido pela EMBRAPA solos (BALIEIRO; INÁCIO; MAGALHÃES, A. M. T; MANZATTO, 2010). Nesta etapa, foi utilizado um sensor fotoacústico, tendo como fonte de radiação um laser de cascata quântica.

4.7.1 **Biorreator aeróbio de bancada**

No procedimento experimental de compostagem, utilizou-se um biorreator aeróbio cedido pela Embrapa Solos, o qual permite a aeração forçada por meio de um compressor de ar (figura 31). De modo que no compartimento da amostra há dois orifícios, de entrada de ar umidificado e saída do ar para análise.

Dessa forma, o ar que sai do compressor é controlado por um rotâmetro (configurado em 10L/h), em seguida passa por um recipiente vedado com água para umidificar o ar que entra no biorreator.

Ao sair do biorreator, arrastando os gases produzidos durante o processo, o ar passa por um condensador, recipiente vedado de vidro, de modo que o ar ao entrar nesse recipiente mais frio, condensa parte do vapor d'água. Logo em seguida, passa por dessecador contendo sílica gel para retenção do vapor d'água que ainda houver.



Figura 31: Imagem real do aparato para compostagem

Após isso, essa amostra gasosa chega aos sensores de O_2 e CO_2 e por fim para a célula fotoacústica para mensuração de CH_4 e N_2O .

O biorreator aeróbio utilizado simula o que ocorre nas leiras de compostagem. A figura 32 mostra o modelo esquemático do biorreator cedido pela Embrapa Solos para realização do experimento.

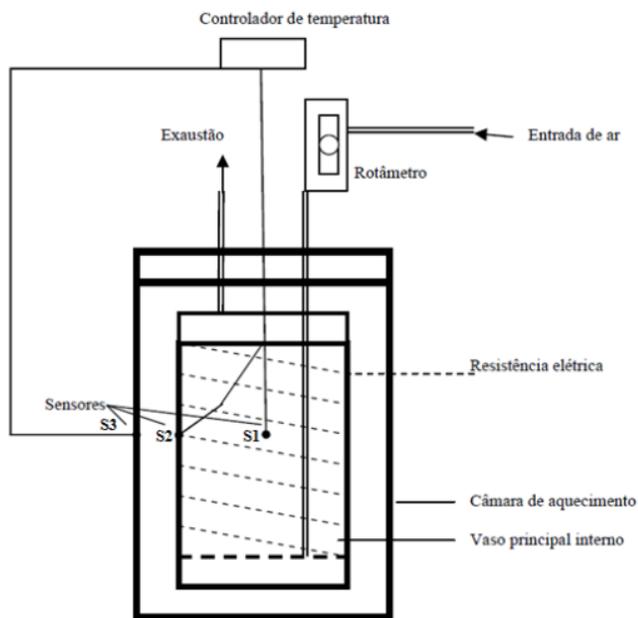


Figura 32: Modelo esquemático do biorreator aeróbio com multicontrol de temperatura (AMCT)

Esse modelo tem corpo cilíndrico em polipropileno preto e possui em torno de 3,0 L de volume útil, com medidas externas 40 cm de altura e 20 cm de largura. É dividido em duas partes: o compartimento principal interno e a câmara de aquecimento, ambos com tampas independentes. O compartimento interno ($h = 30$ cm e $\varnothing = 16$ cm) é vestido pela câmara de aquecimento (cilindro externo $h = 40$ cm e $\varnothing = 20$ cm) para a montagem do conjunto. A câmara

de aquecimento tem sua parede dupla (2,54 cm) recheada com material isolante (lã de rocha), e possui uma resistência elétrica flexível em silicone (150 W, 220 V e 6 m de comprimento), embutida em espiral à parede interna (MININI, 2016).

O equipamento possui três sensores de temperatura revestidos em aço inoxidável (Termistor NTC Rollerbag®), em posições específicas, S1, S2 e S3 ligados a um controlador diferencial de temperatura (Microsol II plus v.3 FullGauge®). O controle de temperatura empregado é o CDT (controle por diferencial de temperatura) que compensa a perda de calor condutivo, favorecida pela alta relação superfície/volume nesta escala de bancada (MAGALHAES et al., 1993; MASON; MILKE, 2005).

O esquema de temperatura do biorreator é composto por três termopares, onde o sensor 1 mede a temperatura no centro da amostra, o sensor 2 mede a temperatura do cilindro onde ocorre a compostagem da amostra e o sensor 3 mede a temperatura do cilindro externo, o qual está ligado a um termostato. A figura 33 mostra, como exemplo, o comportamento da temperatura (em °C) no experimento Castelo II. No eixo esquerdo, a diferença de temperatura da amostra (sensor 1) e do cilindro interno (sensor 2) e no eixo direito as temperaturas dos sensores 1, 2 e 3.

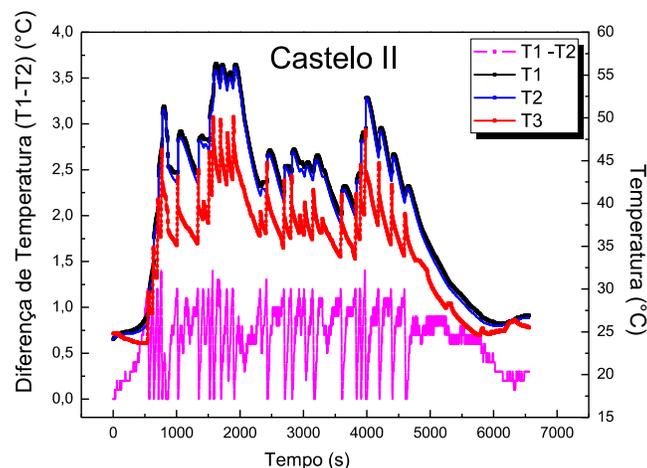


Figura 33: Comportamento da temperatura do sistema de CDT de uma amostra em compostagem

Quando a diferença de temperatura entre os sensores 1 e 2 foi maior que 1,2°C, o termostato foi acionado, elevando a temperatura do cilindro externo, de modo a aquecer o cilindro interno por condução.

Este sistema de CDT permitiu reproduzir as temperaturas termofílicas típicas dos processos de compostagem em escala de Campo mesmo utilizando uma pequena quantidade de material orgânico, como foi o caso da aplicação em laboratório. A compensação da perda de

calor foi feita pelo sistema acionando calor por efeito Joule na resistência elétrica da câmara de aquecimento quando a temperatura da parede do vaso principal ficou menor que a temperatura do centro do material em compostagem. Desta forma, não houve transferência líquida de calor à massa do material, mas apenas a redução do diferencial horizontal de temperatura interna e consequentemente a redução do fluxo de calor condutivo (perda por condução).

A visualização dos dados e a automação do sistema foram feitas via software (SITRAD FullGauge®). As tampas possuíram engates para ligação das mangueiras de poliuretano para entrada de ar (aeração forçada, 8 mm) e exaustão (4 mm). A entrada de ar foi regulada com uso de um fluxômetro de baixa vazão, até 10,0 L/h (rotâmetro modelo 1900 APPLITECH).

4.7.2 Amostras para compostagem

As amostras utilizadas na compostagem foram originadas de galpões avícolas de corte de diferentes perfis. Na primeira etapa, utilizou-se amostra de cama de frango de granja comercial doada pela Granja Brunoro localizada na cidade de Castelo, ES. A figura 34 mostra a estrutura da granja composta por 3 galpões com dimensões de largura e comprimento de 20 m x 100 m, 20 m x 140 m e 20 m x 160 m, e com capacidade total de alojamento de 105 mil aves por lote.



Figura 34: Vista panorâmica da Granja Brunoro, Castelo/ES

Os galpões do tipo *dark house*, mostrados na figura 35, com sistema de iluminação artificial que simula os períodos claro/escuro naturais, com aumento gradativo da intensidade

lumínica (simula o amanhecer) e diminuição gradativa (entardecer) até apagar por completo (noite).



Figura 35: Galpão avícola modelo *dark house*

Os frangos são criados de 1 a 42 - 45 dias e enviados a abatedouros do sistema integrado da Uniaves[®]. Neste caso, o abatedouro é responsável pelos animais e ração e o granjeiro com a mão de obra e estrutura. Na época devida o abatedouro compra os lotes de acordo com a demanda de empresas maiores. A região é rodeada por várias granjas associadas.

A cada lote, a cama é retirada para vazios sanitários e vendida como adubo a R\$200/ t para produtores de hortaliças da localidade, distância de 20 a 50 km. A maravalha de eucalipto empregada na produção é adquirida de uma propriedade vizinha que trabalha com madeira, ou seja, um resíduo de produção, comprada a R\$1,20/ saco (em média 1 m³). Somente quando este resíduo não é suficiente, então compra de um outro produtor, distante 50 km, que produz maravalha exclusivamente. Também é utilizado pó de serragem e palha de café, neste caso, o custo é somente do frete. A palha de café mostrada na figura 36a é colocada em uma primeira camada fina, depois o pó de serragem por cima (Figura 36b). A maravalha é utilizada numa área menor somente para a fase inicial dos pintinhos.

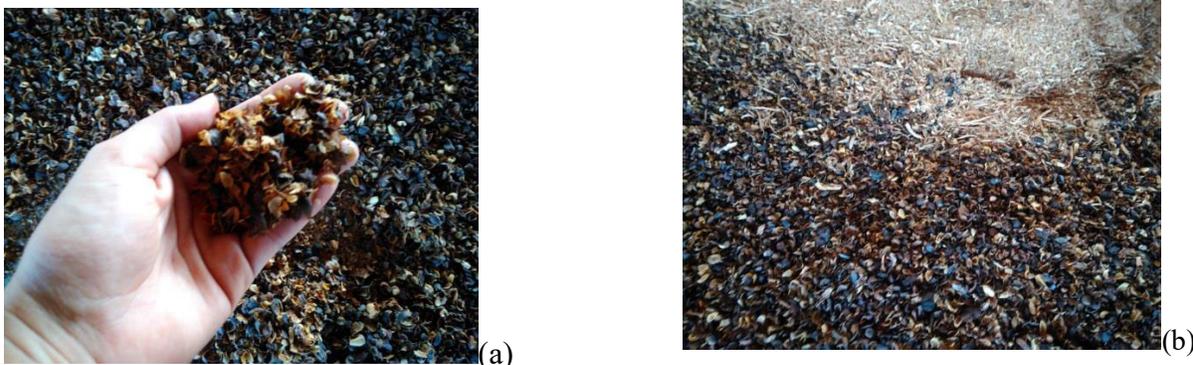


Figura 36: Palha de café (a). Pó de serragem sobrepondo a palha de café sendo utilizado como cama de frango (b).

O objetivo do uso da palha de café é enriquecer a cama para fins de adubo. Neste caso, a região tem cultura de café. Durante a criação, a cama é revirada por meio de uma máquina de pequeno porte somente quando necessário, pelo aumento no teor de umidade, por exemplo.

Foi relatado que a presença de amônia no galpão é perceptível, causando lacrimejamento nos olhos e coriza aos trabalhadores.

O procedimento de coleta foi de amostra composta dos três galpões, sendo esta composta por pó de serra, palha de café e maravalha. A figura 37a mostra o galpão para armazenagem do resíduo de cama destinada a adubo de hortas. E a figura 37b mostra a amostra umidificada para ser compostada no biorreator de bancada no LCFIS.

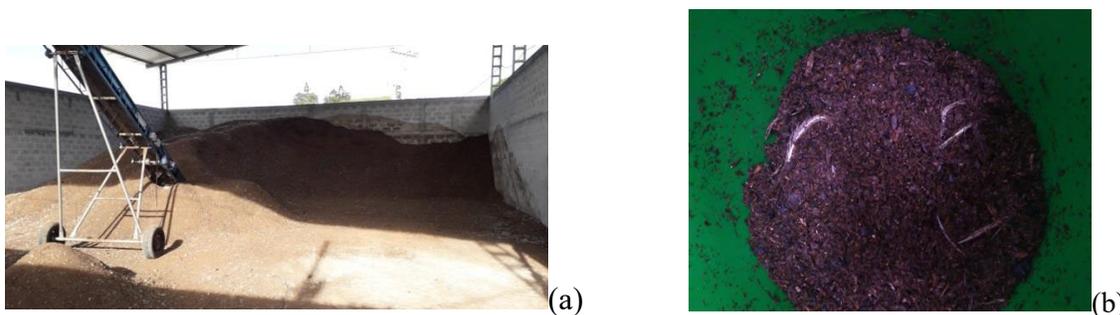


Figura 37: Galpão de depósito da Cama de frango (a). Amostra de cama Castelo umidificada para Compostagem (b).

Outra amostra de cama foi de um experimento em um galpão avícola instalado na Escola Técnica Agrícola Antônio Sarlo. Nesta, foram criados 900 frangos com a finalidade de capacitar produtores rurais do Projeto Mais Frangos, parceria do grupo de Avicultura da UENF e da Secretaria Municipal de Agricultura de Campos dos Goytacazes. O procedimento de coleta foi de amostra composta. Esta cama foi conservada sob refrigeração a 4,8°C. A figura 38 mostra a configuração do galpão modelo do projeto na fase inicial.



Figura 38: Galpão modelo do Projeto Mais Frangos

Por fim, utilizou-se a cama de frango do experimento da planta-piloto realizado no biotério de aves da UENF, o qual foi analisado também o gás amônia dito na seção anterior. A figura 39 mostra a configuração dos boxes do galpão com cama de fibra de coco. O galpão com maravalha foi similar a este.



Figura 39: Galpão com cinco boxes para experimento no biotério-CCTA-UENF

Nesse experimento, foram testados dois tratamentos em galpões distintos, assim, amostramos a cama de maravalha e a cama composta por fibra de coco ao final do ciclo de criação. O procedimento de coleta foi de amostra composta.

No período final de criação o sensor fotoacústico estava sendo utilizado em outro experimento. Dessa forma, as compostagens dessas amostras foram feitas posteriormente.

A amostra de cama de frango foi conservada em freezer horizontal pertencente ao LZO, sob temperatura de $-17,6^{\circ}\text{C}$. Foi determinado este local de armazenamento devido ao volume de amostra, já que a sua capacidade é maior comparado ao frigobar disponível no LCFIS.

4.7.3 Calibração dos sensores O₂ e CO₂

Os sensores de O₂ (eletroquímico) e CO₂ (infravermelho) responsáveis pela respirometria das amostras de compostagem foram calibrados com gás padrão certificado pela empresa White Martins. Ao inserir a mistura gasosa obtida com gás padrão certificado diluído em gás inerte N₂ com teor de pureza 5.0 na cavidade do sensor foi medida por meio de um voltímetro a tensão na saída do módulo *MOD64*[®] dos sensores e registrado a porcentagem mostrada no software *SITRAD*. Esse procedimento foi feito para todas as concentrações medidas tanto para o sensor de CO₂ quanto para o sensor de O₂. E obtido uma equação de ajuste linear. A figura 40a e b mostram as curvas de diluições para os gases CO₂ e O₂.

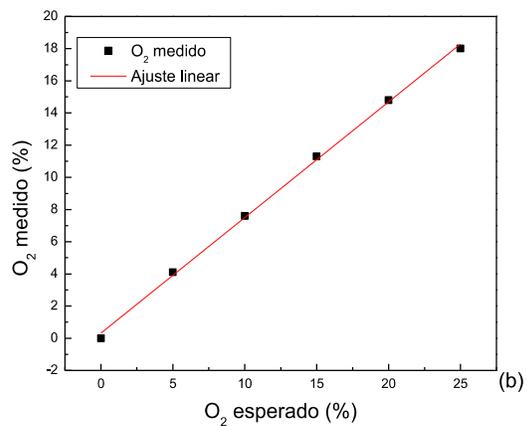


Figura 40: Curva de diluição CO₂ (a) e O₂ (b)

4.8

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram determinadas as concentrações das emissões de NH_3 nos galpões avícolas durante a criação de um lote de frangos de corte em experimento controlado. Em seguida, foi apresentada a caracterização das camas de frango compostas de fibra de coco verde ou maravalha, utilizadas nos galpões (teor de matéria seca, teor de umidade, teor de matéria mineral e a caracterização química). Foram também determinadas as concentrações dos gases CH_4 , N_2O , CO_2 e O_2 do processo de compostagem de camas de frango oriundas de uma granja comercial e de unidades experimentais (galpões). A cama da granja comercial foi composta por uma mistura de palha de café, maravalha e pó de serragem, as amostras provenientes das camas das unidades experimentais foram compostas unicamente de maravalha ou fibra de coco verde.

5.1 *Detecção de NH_3 nos galpões avícolas*

As emissões de NH_3 foram mensuradas a partir do 15º dia do ciclo de vida dos frangos. Este ciclo é dividido em fases, a figura 41 exibe a montagem das etapas de crescimento dos frangos durante os 42 dias, de 0 a 7 pré inicial, 8 a 21 inicial, 22 a 35 crescimento e 36 a 42 final.

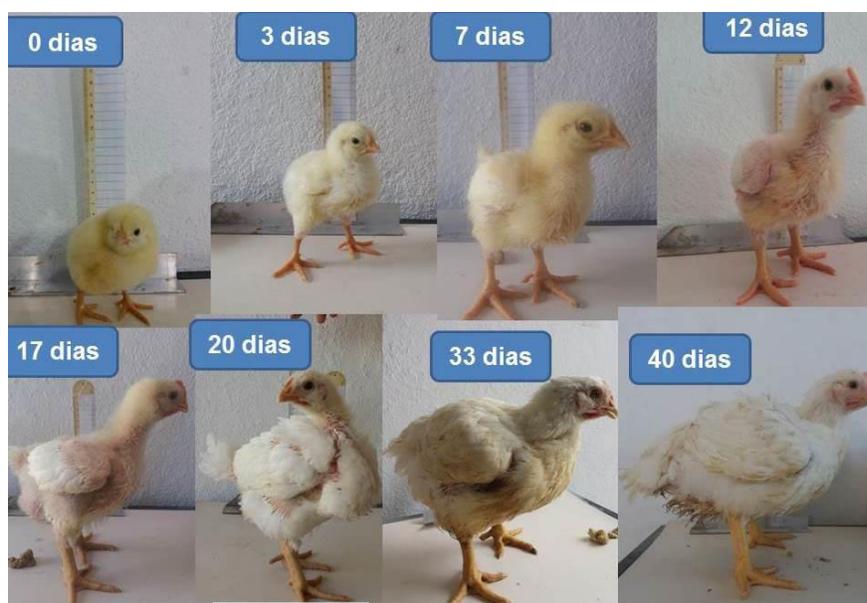


Figura 41: Fases de crescimento dos frangos de corte

A figura 42 mostra de forma gráfica as concentrações de NH_3 em cada galpão ao longo do ciclo de criação dos frangos, e a tabela 6 apresenta os resultados das análises estatísticas dos

dados. Observou-se efeito significativo ($p < 0,01$) da interação entre os fatores cama e tempo sobre a emissão de NH_3 nos galpões avícolas. A interação consistiu em que na primeira amostragem, no dia 15 de criação, houve baixa concentração de NH_3 e não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as emissões pelos dois tipos de cama. Porém, posteriormente observou-se que no galpão com cama de fibra de coco houve aumento significativo ($p < 0,01$) na concentração de NH_3 a partir do dia 28, enquanto que, no galpão com cama de maravalha detectou-se o aumento de forma mais precoce, a partir do dia 21. Nas amostragens dos dias 21, 24 e 31 a emissão foi maior ($p < 0,01$) pela cama de maravalha em comparação com a de fibra de coco, nas amostragens dos dias 15, 28, 35 e 39 não houve diferenças ($p > 0,05$) nas emissões das duas camas. Em todos os dias de amostragem os valores médios de emissão de NH_3 foram maiores quando utilizada a cama de maravalha em comparação com a cama de fibra de coco. No dia 28 houve um pico de concentração em todas as amostras do galpão com cama de fibra de coco. Este fenômeno pode ser explicado pelo aumento na taxa metabólica e na densidade ($\text{kg de peso corporal} / \text{m}^2$) neste período. Como visto na figura 18 da seção 4.1, a partir da quinta semana (29º dia do ciclo) o manejo de ventilação foi iniciar a abertura das cortinas gradativamente. Assim como mostrado na figura 42a, as concentrações de NH_3 emitidas nos dias posteriores (31, 35 e 39) foram menores, exceto para o box 5 em que foram detectadas altas concentrações mesmo com a abertura das cortinas. Entende-se que houve sim o aumento na produção de NH_3 em todos os boxes, porém foi dissipado pelo aumento da ventilação, devido à necessidade de manutenção do bem estar animal com o adequado manejo.

No galpão com maravalha (figura 42b) houve um aumento acentuado nas concentrações da emissão do dia 24 quando comparado ao galpão com fibra de coco no mesmo período. Na véspera do 24º dia houve o revolvimento da cama para homogeneização nos dois galpões (procedimento padrão de manejo da cama). Como a maravalha se manteve mais seca e solta, pode ter liberado mais NH_3 explicando esse aumento considerável. No dia 28, as concentrações nas emissões de NH_3 se mantiveram no mesmo nível do dia 24, entretanto essas concentrações coincidem com o pico do galpão com fibra de coco para o mesmo dia, exceto para o box 3 por apresentar um comportamento anômalo com concentração de 36 ppm. Igualmente como o galpão anterior, na fase final não foi detectado aumento expressivo na concentração de NH_3 , sendo este resultado explicado pelo aumento da ventilação nos galpões.

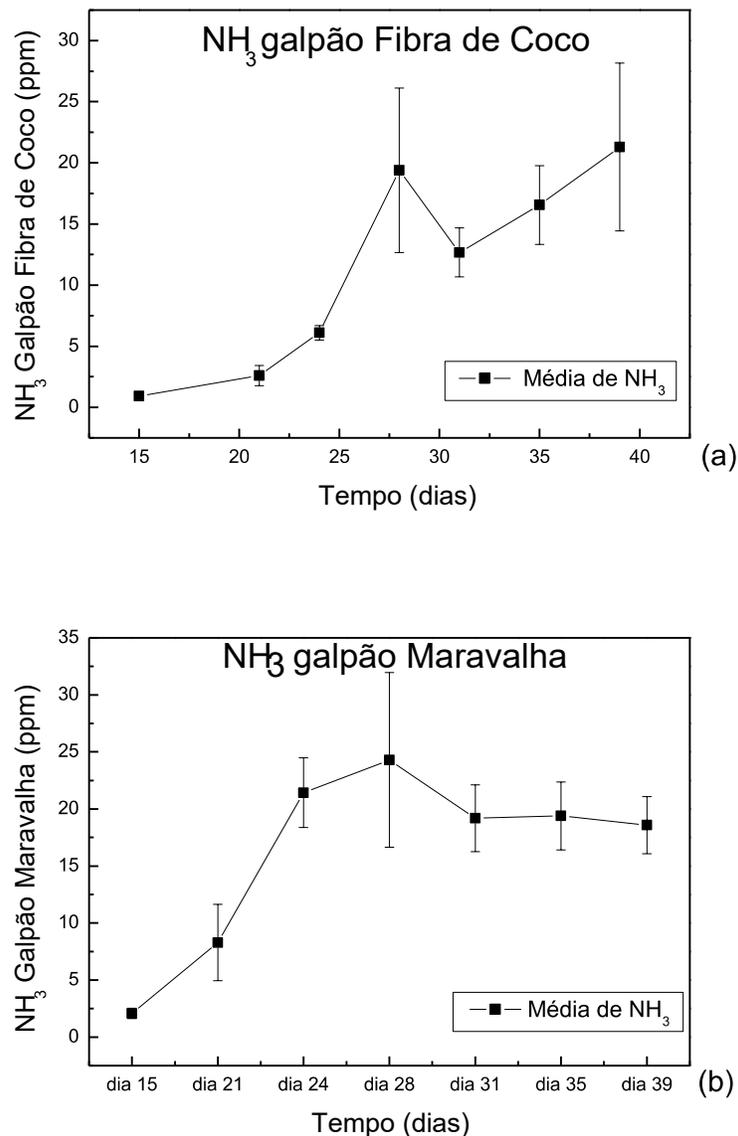


Figura 42: NH₃ do galpão com cama de Fibra de Coco (a) e Maravalha (b)

Vale ressaltar que no dia 24 e 39 o box 5 de maravalha não pode ser medido por problema técnico. Apesar disso, o somatório foi maior para esse galpão em comparação com o que usou cama de fibra de coco. O guia de manejo da *Cobb* estabelece máximo de 10 ppm de NH₃ para manter a qualidade do ar para os frangos de corte nos galpões (COBB, 2013). Donhan (2002), porém, afirma que a concentração do gás amônia em galpões avícolas recomendada para os trabalhadores pelas AIHA, ACGIH e NIOSH deve se manter abaixo de 25 ppm, para que não haja riscos à saúde humana. Dessa forma, tem-se que os resultados da cama composta por maravalha ficaram mais próximos desse limite. Enquanto que no galpão com fibra de coco as concentrações foram significativamente menores. O tipo de cama afetou significativamente

($p < 0,01$) a concentração de NH_3 , na fase de crescimento (21, 24 e 31 dias de idade), sendo maior a concentração nos boxes do galpão com cama de maravalha. As diferenças nas concentrações nas fases inicial e final (15, 35 e 39 dias) não foram significativas ($p > 0,05$).

Tabela 6: Emissão de NH_3 (ppm) pela cama com diferentes substratos ao longo da criação de frangos de corte

Tempo (dias)	Cama	
	Maravalha	Fibra de coco
15	2,078 e	0,92 e
21	8,29 cd	2,60 e
24	21,41 ab	6,11 de
28	24,30 a	19,39 ab
31	19,19 b	12,67 c
35	19,39 ba	16,55 bc
39	18,57 b	21,29 ab
Σ	526,22 ppm	397,73 ppm
Média	15,95	11,36
SEM	1,46	1,44
Valor p		
Tempo		0,0001
Cama		0,0001
Interação Tempo x cama		0,0012

a-e, médias seguidas de letras iguais não diferem entre si. Teste: LSMEANS do procedimento Mixed do SAS[®] (5% de significância)

De modo geral, no galpão com cama composta por fibra de coco havia muita poeira, material particulado (visível). Sabendo que a reação mais importante de NH_3 é com gases ácidos e partículas de aerossol para formar os sais correspondentes (WIEGAND et al., 2011), temos um ponto importante de desvantagem.

Quanto ao uso da fibra de coco em substituição à maravalha, observa-se na figura 43 que ocorreu um entrelaçamento da fibra, o que dificultou revirar o material, uma prática adotada

durante a produção, para diminuir a compactação da cama e homogeneizar o material. Não houve boa absorção da umidade e excretas.



Figura 43: Fibra de casca de coco utilizada como substrato para cama de frango de corte.

5.2 *Composição química pré e pós-criação*

Na Tabela 7 são apresentados os valores de matéria seca (MS), umidade (U) e matéria mineral (MM), dosagem de carbono (C) e de nitrogênio (N) e a relação C/N dos substratos (SC – Substrato de coco e SM – Substrato de maravalha) e das amostras de cama de frango pós-criação de cada box. Os resultados é a média das duplicatas e respectivos desvios padrão das medidas. A média dos valores de MS para as amostras de cama composta por fibra de coco foi $(41,8 \pm 3,6) \%$, enquanto para aquelas compostas por maravalha, a média de MS foi $(47,4 \pm 1,8) \%$, essa diferença foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$). Conseqüentemente, a umidade nas amostras de fibra de coco $(58,2 \pm 3,6) \%$ se mostraram maiores que na maravalha $(52,6 \pm 1,8) \%$ ($p < 0,05$). Nas amostras dos substratos observou-se a mesma característica.

No caso do conteúdo de matéria mineral não foi observada diferença ($p > 0,05$) entre as camas, obteve-se uma média de $(19,4 \pm 1,2) \%$ das cinco amostras de fibra de coco. Enquanto que as amostras de cama de maravalha obteve-se uma média de $(17,9 \pm 1,2) \%$. As análises de MM dos substratos mostraram que a fibra de coco possui mais minerais que a maravalha.

A dosagem de carbono em ambos os substratos antes de iniciar a criação foram bem próximas, porém a dosagem de nitrogênio total mostrou uma larga diferença, conseqüentemente

a relação C/N foi bem distinta. A média de C na cama de fibra de coco obtida foi de (376,3±23,1) g/kg, enquanto na maravalha foi maior como esperado, com o valor de (394,1±2,3) g/kg. No caso do N, os valores médios foram bem próximos, sendo maior para o coco, numa diferença de (41,5±0,7) g/kg para (40,3±2,4) g/kg (maravalha).

Na relação C/N, a cama composta por maravalha teve uma média de 9,9±0,5, enquanto que a média para o coco foi de 9,1±0,6. Comparando as médias das camas com os dados dos substratos, ou seja, pré-criação, pode-se observar que a quantidade de C reduz e de N aumenta. A quantidade de N disponível está diretamente relacionada às excretas dos animais. Dessa forma, temos uma grande redução na relação C/N, principalmente na maravalha com 121,0 antes para 9,9 depois da criação.

Tabela 7: Composição química dos substratos e das camas na criação experimental de frangos de corte:

ID amostra	MS(%)	U (%)	MM (%)	C (g/kg)	N (g/kg)	C/N
SC	89,5	10,5	0,09	518,4	6,9	75,6
SM	92,9	7,1	0,02	556,8	2,3	121,0
C1	43,0	57,0	19,9	333,6	41,0	8,1
C2	43,9	56,1	18,0	465,6	40,7	11,4
C3	45,6	54,4	18,5	369,6	42,7	8,7
C4	36,8	63,2	19,5	362,4	39,8	9,1
C5	39,4	60,6	20,9	350,4	43,4	8,1
M1	48,4	51,6	19,4	386,4	37,4	10,3
M2	44,3	55,7	16,4	393,6	49,7	7,9
M3	48,5	51,5	18,5	400,8	36,8	10,9
M4	48,4	51,6	17,6	396,0	39,6	10,0
M	47,2	52,8	17,4	393,6	38,1	10,3
C	41,8±3,6	58,2±3,6	19,4±1,2	376,3±23,1	41,5±0,7	9,1±0,6
M	47,4±1,8	52,6±1,8	17,9±1,2	394,1±2,3	40,3±2,4	9,9±0,5
Valor p	0,0137	0,0137	0,0725	0,4669	0,6408	0,3401

MS: matéria seca; U: umidade; MM: matéria mineral.

As amostras SC e SM são os substratos compostos respectivamente de fibra de coco e maravalha. As amostras identificadas por C correspondem às camas pós criação de fibra de coco e as identificadas por M estão relacionadas à maravalha (aparas de madeira).

Os resultados de pH, Ca, Mg, P₂O₅ e K₂O são expostos na tabela 8 para os substratos e para as amostras de cama. Os valores de pH das camas ficaram bem próximos, com média de 6,5 nas amostras de coco e 6,4 na maravalha (p>0,05). O elemento Ca também não variou

significativamente ($p>0,05$), ficando a amostra de fibra de coco com $(20,8\pm 0,7)$ g/kg e a de maravalha foi de $(21,6\pm 0,9)$ g/kg de amostra. Com relação ao elemento Mg, o coco teve uma média de $(5,8\pm 0,1)$ g/kg, já a maravalha com $(5,3\pm 0,3)$ g/kg, tal diferença não foi significativa estatisticamente ($p>0,05$).

O composto de fósforo foi encontrado em maiores proporções nas amostras de fibra de coco com uma média de $(49,3\pm 0,9)$ g/kg para $(43,1\pm 1,9)$ g/kg na maravalha, sendo a diferença significativa ($p<0,05$). A fibra de coco também obteve maiores valores para o composto de potássio que apontando uma vantagem, com uma média de $(53,1\pm 1,2)$ g/kg para $(45,4\pm 1,4)$ g/kg da maravalha, sendo altamente significativa ($p<0,01$).

Tabela 8: Resultados de pH, Ca, Mg, P₂O₅ e K₂O dos substratos e das camas pós-criação

Amostras	pH (H₂O)	Cálcio (Ca) (g/kg)	Magnésio (Mg) (g/kg)	P₂O₅ (g/kg)	K₂O (g/kg)
SC	3,7	1,6	1,7	1,8	15,1
SM	4,6	0,5	0,6	0,4	0,7
C1	6,8	22,5	5,9	47,4	52,2
C2	6,5	19,0	5,6	47,3	51,2
C3	6,4	22,5	5,9	49,8	50,3
C4	6,4	20,3	5,9	49,5	55,3
C5	6,6	20,0	5,6	52,3	56,3
M1	6,8	21,2	5,6	46,9	48,2
M2	5,9	19,0	4,1	37,9	41,2
M3	6,6	24,6	5,6	45,8	48,2
M4	6,4	22,5	5,9	45,7	46,2
M5	6,4	20,9	5,3	39,4	43,2
C	6,5±0,1	20,8±0,7	5,8±0,1	49,3±0,9	53,1±1,2
M	6,4±0,1	21,6±0,9	5,3±0,3	43,1±1,9	45,4±1,4
Valor p	0,4937	0,5045	0,1747	0,0185	0,0029

As amostras SC e SM são os substratos compostos respectivamente de fibra de coco e maravalha. As amostras identificadas por C correspondem às camas pós criação de fibra de coco e as identificadas por M estão relacionadas à maravalha (aparas de madeira).

5.3 *Detecção dos gases CH₄, N₂O, CO₂ e O₂ da compostagem*

São mostrados as concentrações das emissões dos gases do processo de compostagem da cama de frango que é composta por mistura de palha de café, maravalha e pó de serragem de uma granja comercial, denominadas de Castelo I e Castelo II. Também são apresentadas as concentrações das emissões das amostras das unidades experimentais da cama de maravalha ou de fibra de coco.

5.3.1 **Amostra Castelo I**

A compostagem da amostra Castelo I foi iniciada no dia 03/4 com 563,6 g de amostra úmida composta por 281,8g de amostra real e 281,3g de água. A pequena quantidade em massa se deve pela baixa densidade da amostra, ou seja, a amostra é leve e seca, pois não é reaproveitada. Portanto, ocupa grande volume, além de permitir que metade da massa total da amostra seja água, a fim de facilitar a compostagem.

A figura 44 mostra o comportamento das emissões dos gases e da variação da temperatura da amostra durante o ciclo da compostagem. A amostra iniciou a fase termofílica (40°C) às 8h do segundo dia (04/4), atingindo a temperatura máxima de 56,3°C no dia 05/4. É mostrada uma redução da emissão de O₂ desde o início da fase termofílica, explicando assim o aumento no consumo de O₂ pela decomposição de matéria orgânica por via aeróbia, conseqüentemente há aumento proporcional de CO₂, liberando o carbono de forma inorgânica. Observa-se ainda que na segunda metade da fase termofílica a disponibilidade de O₂ se manteve menor, podendo ter facilitado o predomínio de atividade microbiana anaeróbia. A figura 45 mostra as concentrações de CH₄ e N₂O das amostras Castelo I, em que corrobora com o resultado de O₂, de modo que as maiores concentrações de CH₄ e de N₂O iniciaram na segunda metade da fase termofílica. Sabe-se que a produção de CH₄ está relacionada à atividade anaeróbia (INÁCIO, 2010) e o aumento na produção de N₂O pode ocorrer em queda ou aumento súbito na concentração de O₂ disponível (AHN et al., 2010). As concentrações das emissões de CH₄ variaram aproximadamente entre 4,39 e 7,90 ppm. Já a do N₂O variaram entre 2,07 a 5,99 ppm durante os cinco dias de compostagem.

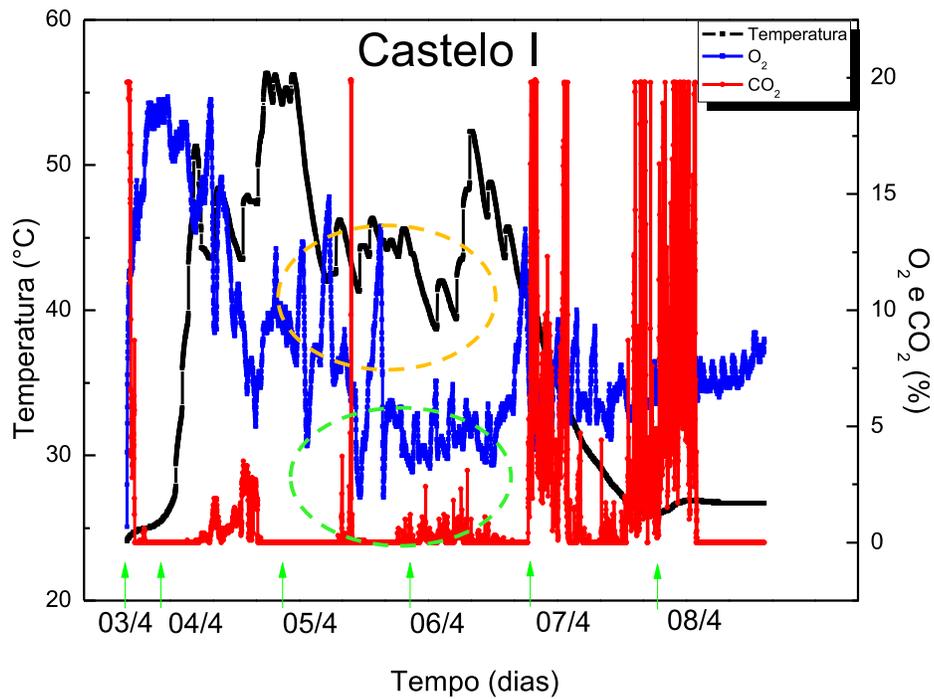


Figura 44: Temperatura e concentração de O₂ e CO₂ durante a compostagem da amostra Castelo I

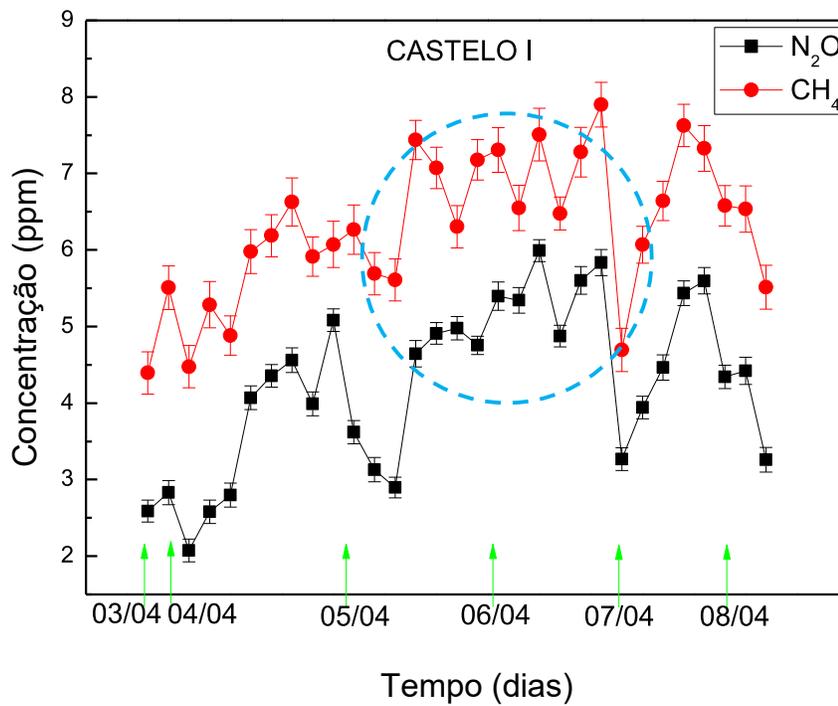


Figura 45: Concentrações de CH₄ e N₂O durante a compostagem da amostra Castelo I

Deve-se ressaltar que a medida de CH₄ foi realizada considerando a temperatura de 6,8°C para o laser. Todavia, nesta temperatura, ainda existe absorção do N₂O devido ao alargamento de linha (ver figura 27). Assim, os resultados apresentados na figura 45 expressam uma tendência da variação do metano.

A figura 46 mostra alguns espectros fotoacústicos (N₂O e CH₄) obtidos por varredura na temperatura durante um ciclo de compostagem. Na parte direita do gráfico indicam os dias que foram obtidos os referidos espectros para a amostra Castelo I. Utilizando a figura 27b da seção 4.5.1 (pág. 61) notam-se picos de CH₄ durante o processo, tendo suas respectivas equivalências em comprimento de onda descritas nas temperaturas 6,8°C, 8,8°C, 31,4°C e 33,5°C relatados na figura 46. Observaram-se picos menos abruptos em relação aos de N₂O devido à diferença no coeficiente de absorção entre esses gases nessa faixa do espectro. Observaram-se também os picos de N₂O nas temperaturas -4,7°C, 3,3°C, 11,5°C, 20,2°C e 29,2°C. Observou-se ainda uma absorção no fim do espectro (34,7°C), que se compara ao pico de água da figura 27b.

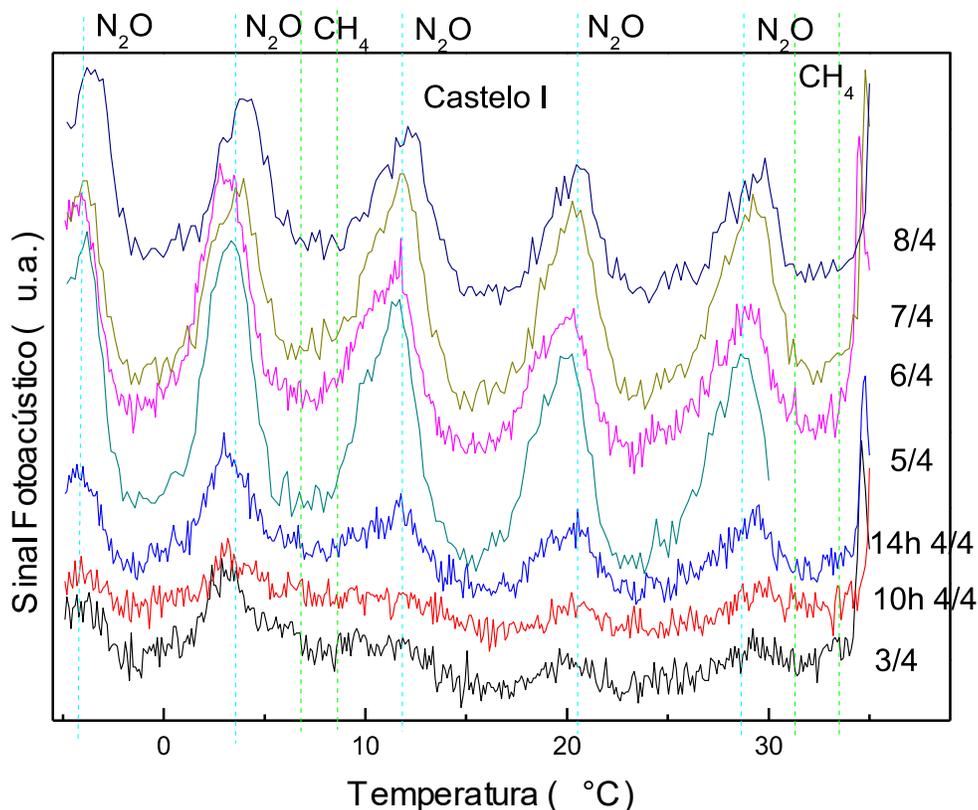


Figura 46: Espectros fotoacústicos durante a compostagem da amostra Castelo I

5.3.2 Amostra Castelo II

A compostagem da amostra Castelo II foi iniciada no dia 10/04 com material e quantidade similar à amostra Castelo I. a figura 47 mostra o comportamento das emissões dos gases da respirometria (O_2 e CO_2) e da variação da temperatura da amostra durante o ciclo de compostagem da amostra Castelo II nos seis dias do processo. A amostra iniciou a fase termofílica ($40^\circ C$) às 11h do segundo dia (11/4), atingindo a temperatura máxima de $48,9^\circ C$ no dia 12/4. Observa-se uma redução da emissão de O_2 desde o início da fase termofílica, explicando assim o aumento no consumo de O_2 pela decomposição de matéria orgânica por via aeróbia, consequentemente há aumento proporcional de CO_2 , liberando o carbono de forma inorgânica. Observa-se ainda que na segunda metade da fase termofílica a disponibilidade de O_2 teve momentos de concentrações mais baixa ainda, facilitando o predomínio de atividade microbiana anaeróbia.

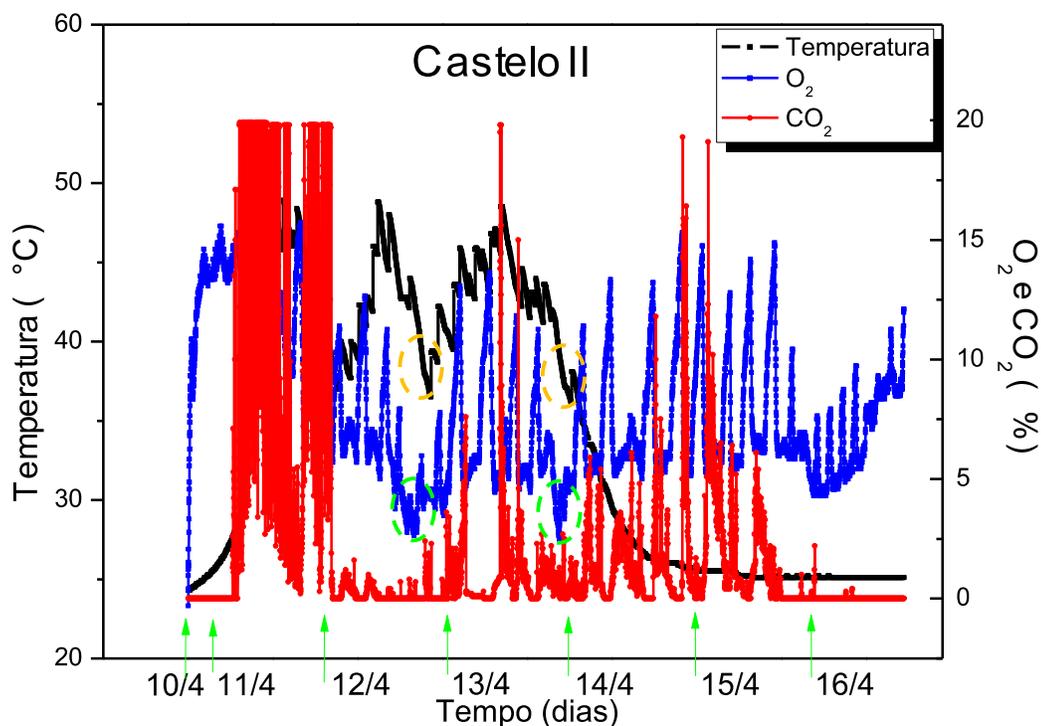


Figura 47: Temperatura e concentração de O_2 e CO_2 durante a compostagem da amostra Castelo II

A figura 48 mostra as concentrações de CH_4 e N_2O das amostras Castelo II, em que corrobora com o resultado de O_2 , de modo que as maiores concentrações de CH_4 e de N_2O iniciaram na segunda metade da fase termofílica. A produção desses gases pode estar relacionada à atividade anaeróbica. As concentrações das emissões de CH_4 variaram entre 4,42 e 9,05 ppm. Já a do N_2O variaram entre 2,89 a 8,51 ppm durante os seis dias de compostagem.

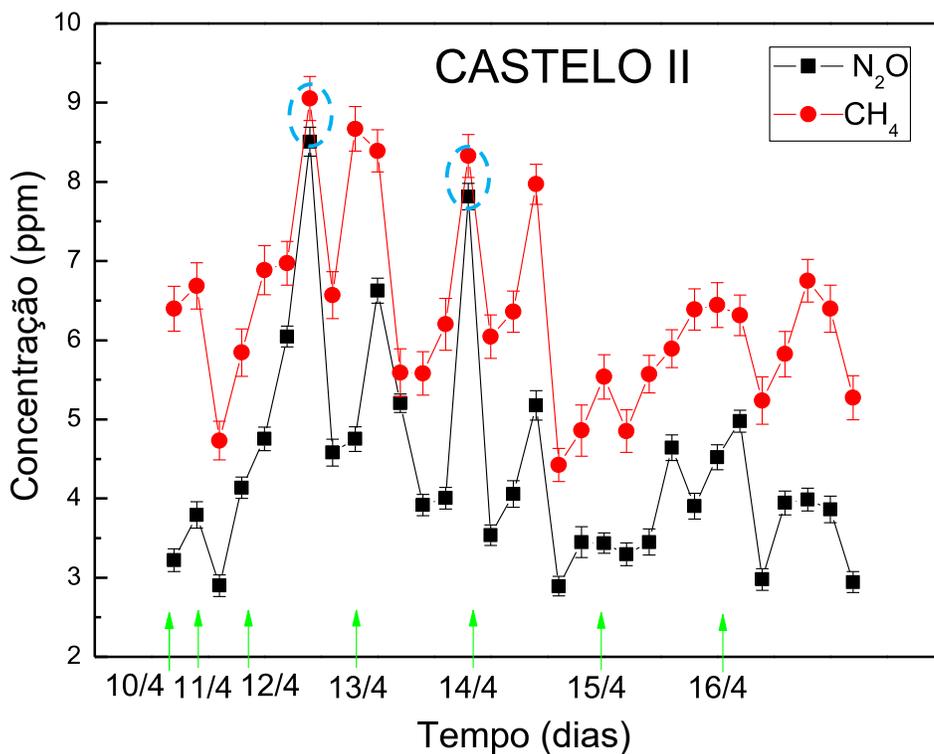


Figura 48: Concentrações de CH_4 e N_2O durante a compostagem da amostra Castelo II

A figura 49 mostra alguns espectros fotoacústicos (N_2O e CH_4) obtidos por varredura na temperatura durante um ciclo de compostagem. Na parte direita do gráfico indicam os dias que foram obtidos os referidos espectros para a amostra Castelo II. Utilizando a figura 27b da seção 4.5.1 (pág. 61) notam-se picos de CH_4 durante o processo, tendo suas respectivas equivalências em comprimento de onda descritas nas temperaturas 6,8°C, 8,8°C, 31,4°C e 33,5°C relatados na figura 49. Observam-se picos menos abruptos em relação aos de N_2O devido à diferença no coeficiente de absorção entre estes gases nessa faixa do espectro. Observam-se também os picos de N_2O nas temperaturas -4,7°C, 3,3°C, 11,5°C, 20,2°C e 29,2°C.

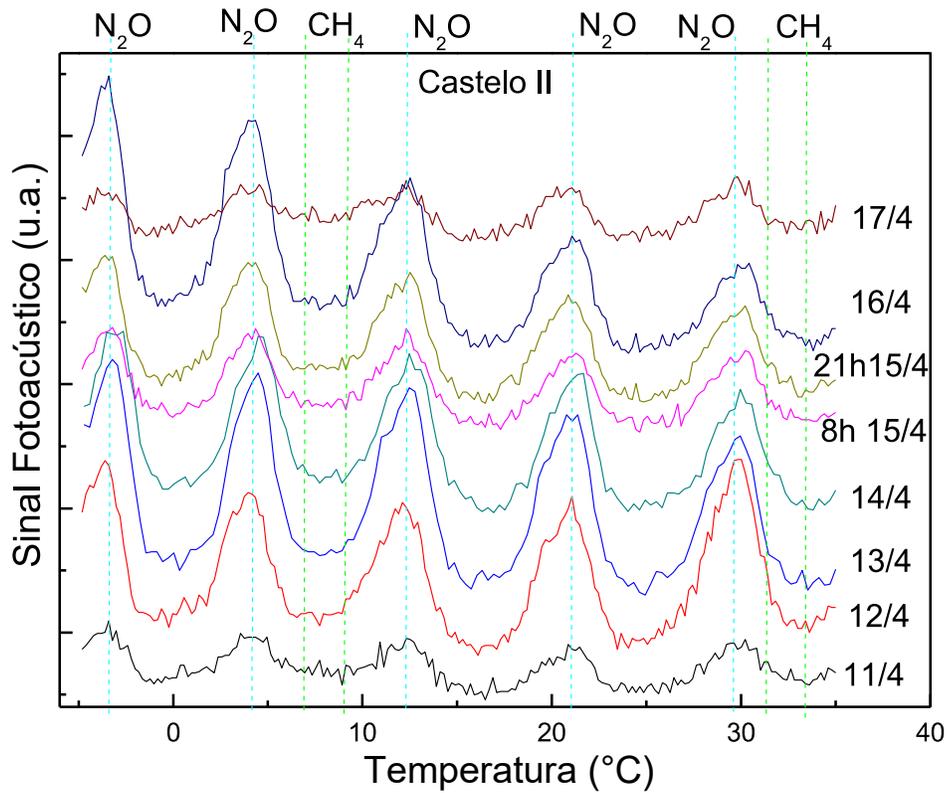


Figura 49: Espectros fotoacústicos durante a compostagem da amostra Castelo II

A figura 50 mostra a comparação das concentrações das emissões de N₂O entre as amostras Castelo I e II. De modo similar, o gráfico 25 apresenta as concentrações de CH₄ para essas amostras.

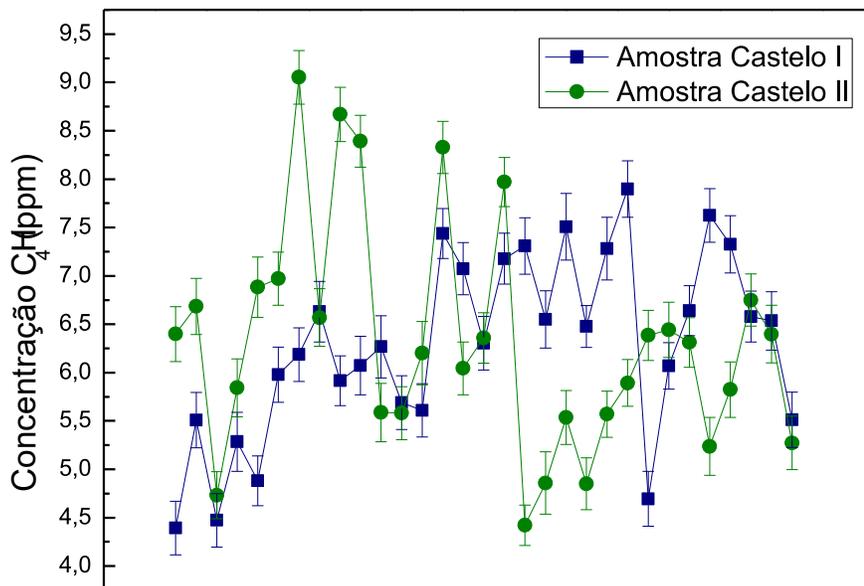
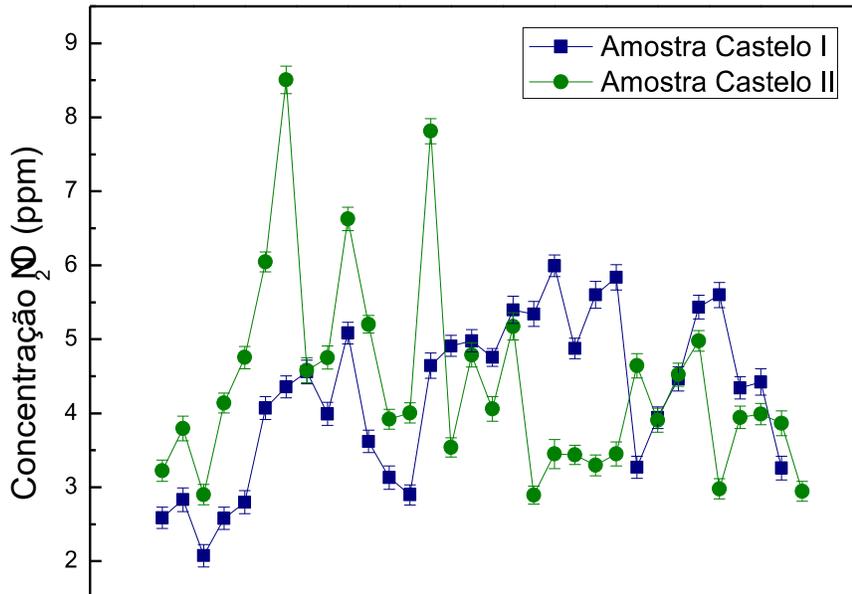


Figura 50: Concentração de N₂O (a) e CH₄ (b) das amostras Castelo I e II

Verificou-se que ambas as amostras produziram mais CH₄ e N₂O na segunda metade da fase termofílica, sendo nos dois casos na ocorrência de vales suaves de temperatura e à baixa

disponibilidade de O₂. Esses picos de CH₄ e N₂O ocorreram em períodos de baixa disponibilidade de O₂ e baixa emissão de CO₂. Isso foi condizente, pois a produção do gás metano ocorre em processos anaeróbios (INÁCIO, 2010).

O CO₂ é produto tanto da atividade biológica aeróbia quanto anaeróbia. Porém, em processo anaeróbio, parte do CO₂ é reduzido a CH₄ (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Observa-se nas duas amostras que as maiores emissões de CO₂ coincidem com níveis sutilmente baixos de CH₄ e de O₂.

5.3.3 Unidade experimental: Cama de maravalha

A compostagem da amostra de cama de frango composta unicamente por maravalha foi iniciada no dia 31/08 com 1000g de amostra real e 588g de água. O gráfico 26 mostra o comportamento das emissões dos gases da respirometria (O₂ e CO₂) e da variação da temperatura da amostra durante a compostagem da amostra Maravalha nos quatorze dias do processo., em que ocorreram fases termofílicas em dois momentos. A amostra iniciou a fase termofílica (40°C) às 10h do segundo dia (01/09) até às 7h do dia 02/09 com temperatura máxima de 51,3°C e permaneceu na fase mesofílica por cinco dias até as 22h dia 07/09. A segunda fase termofílica ocorre até às 11h do dia 13/09, atingindo a temperatura máxima de 52,7°C. O tempo maior de compostagem se deve primeiramente pela maior quantidade em massa de amostra e também por ser a maravalha um substrato com menor proporção de N quando comparado às outras amostras, como a cama de granja comercial que consiste em uma mistura de derivados de madeira com palha de café e como a amostra de cama composta unicamente por fibra da casca de coco.

Na figura 51 é mostrada que a redução da emissão de O₂ induz o aumento proporcional de CO₂. Na fase mesofílica ocorrida entre as duas fases termofílicas (de 02-08/09) observam-se presença de CO₂ em menores concentrações, indicando que não ocorreu degradação de matéria orgânica neste intervalo. A figura 52 mostra as concentrações de CH₄ e N₂O das amostras de cama de maravalha, em que se inicia o aumento na concentração de CH₄ e N₂O no início do dia 12/09 em baixa disponibilidade de O₂ e correspondendo ao início da segunda fase termofílica. A concentração máxima de CH₄ ocorreu no início do dia 12/09, logo após a amostra atingir sua temperatura máxima e a concentração de emissão máxima de N₂O ocorreu ao término do 12º dia ao final da fase termofílica. As concentrações das emissões de CH₄ variaram entre 2,87 e 7,13 ppm. Já a do N₂O variaram entre 1,50 a 5,31 ppm durante os quatorze dias de compostagem.

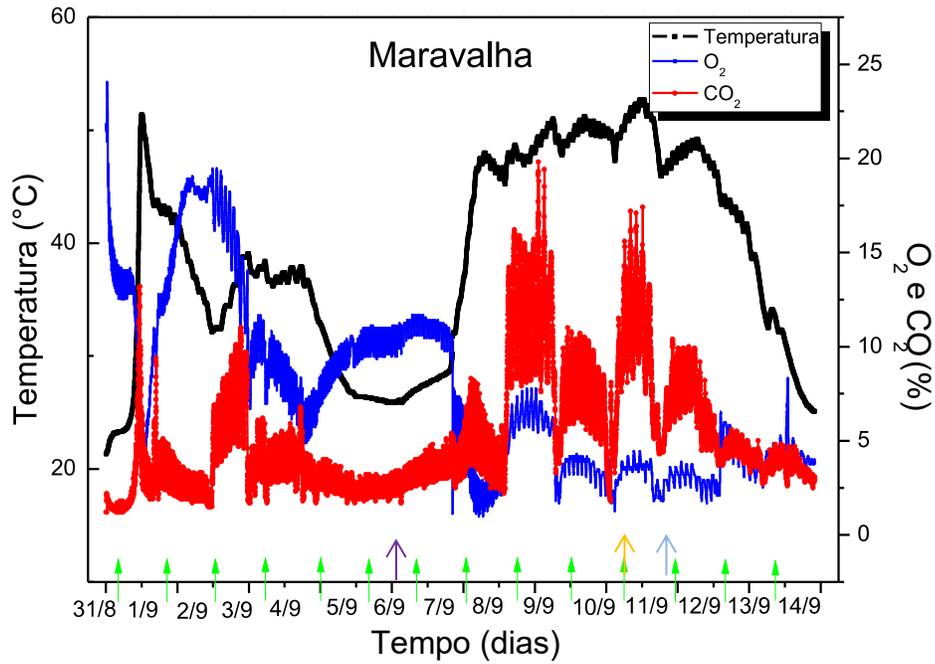


Figura 51: Temperatura e concentração de O₂ e CO₂ durante a compostagem da amostra maravalha

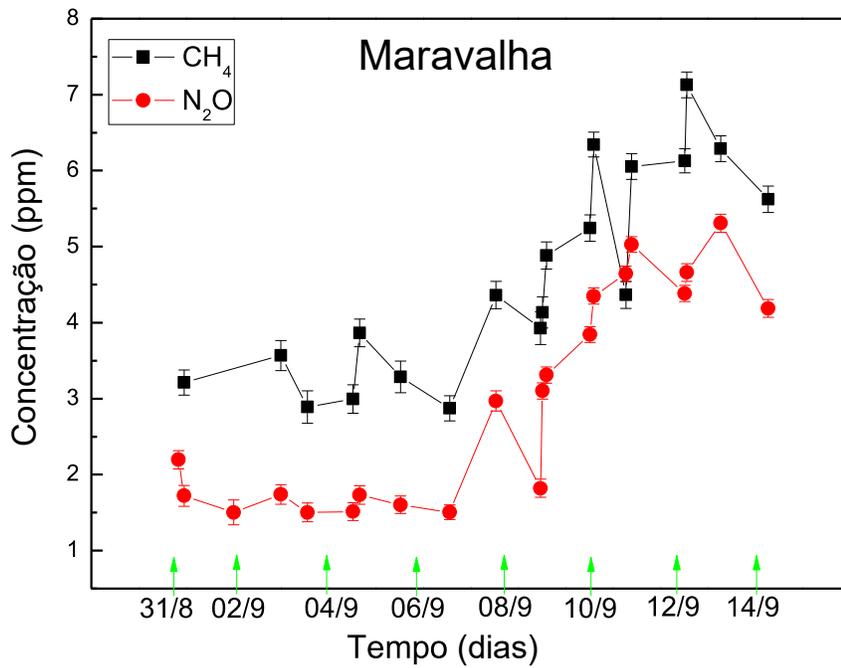


Figura 52: Produção de CH₄ e N₂O de cama de maravalha durante a compostagem

A figura 53 mostra alguns espectros fotoacústicos (N_2O e CH_4) obtidos por varredura na temperatura durante um ciclo de compostagem. Na parte direita do gráfico indicam os dias que foram obtidos os referidos espectros para a amostra Maravalha. Utilizando a figura 27b da seção 4.5.1 (pág. 61) notam-se picos de CH_4 durante o processo, tendo suas respectivas equivalências em comprimento de onda descritas nas temperaturas $6,8^\circ C$, $8,8^\circ C$, $31,4^\circ C$ e $33,5^\circ C$ relatados na figura 53. Observam-se picos menos abruptos em relação aos de N_2O devido à diferença no coeficiente de absorção entre esses gases nessa faixa do espectro. Observam-se também os picos de N_2O nas temperaturas $-4,7^\circ C$, $3,3^\circ C$, $11,5^\circ C$, $20,2^\circ C$ e $29,2^\circ C$.

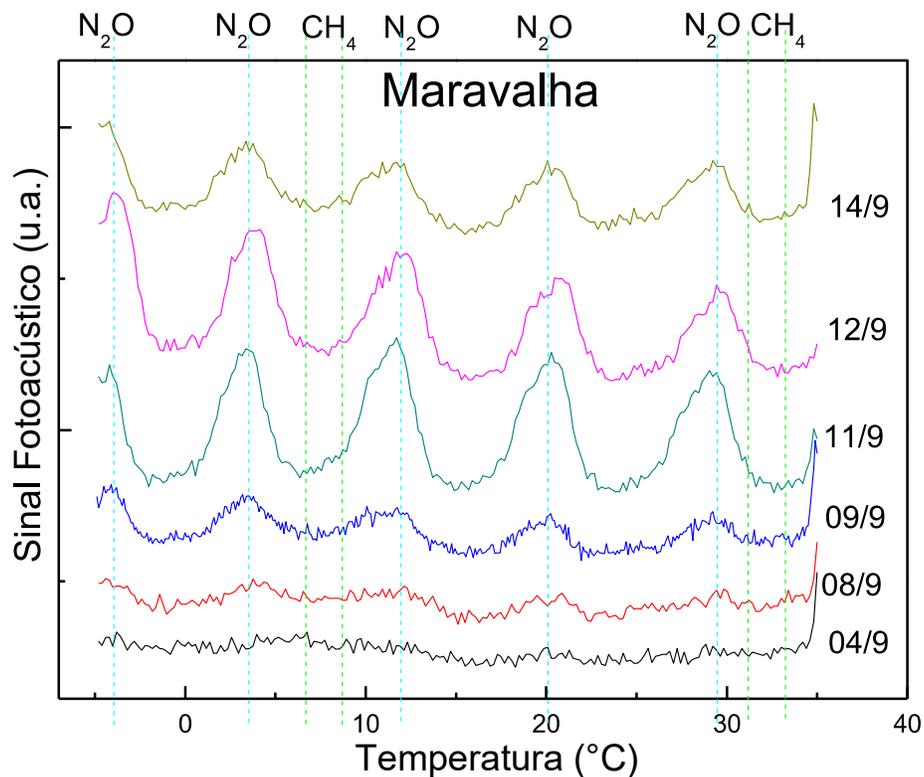


Figura 53: Espectro fotoacústico da compostagem de cama de maravalha

5.3.4 Unidade experimental: Cama de fibra de coco

A compostagem da amostra de cama de fibra de coco foi iniciada às 21h do dia 09/11 com 615g de amostra real e 75g de água. Esse processo levou seis dias, terminando dia 15/11.

Observou-se que esta amostra se apresentou bem mais úmida do que as amostras de maravalha. O substrato de fibra de coco é naturalmente mais úmido, apesar de ter passado pelo processo de secagem na tentativa de igualar a umidade ao substrato de maravalha. A figura 54 mostra o comportamento das emissões dos gases e da variação da temperatura da amostra durante o ciclo da compostagem. A fase termofílica foi iniciada (40°C) às 19h do segundo dia (10/11), atingindo a temperatura máxima de 58,4°C no dia 11/11. É mostrada uma redução da emissão de O₂ desde o início da fase termofílica, as concentrações das emissões de CO₂ tiveram variações relativamente baixas, em comparação às compostagens das outras amostras.

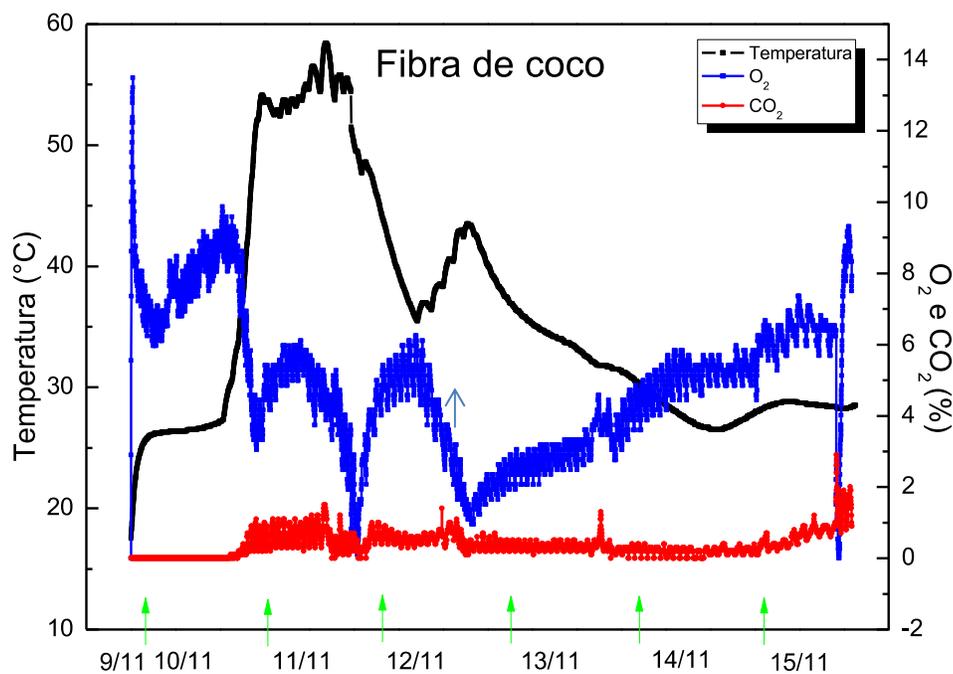


Figura 54: Temperatura e concentração de O₂ e CO₂ durante a compostagem amostra fibra de coco.

A figura 55 mostra as concentrações de CH₄ e N₂O da compostagem da amostra de fibra de coco, em que as concentrações das emissões de CH₄ variaram entre 4,88 e 9,80 ppm e a do N₂O variaram entre 2,20 a 6,26 ppm. Às 15 horas do dia 12/11 (sinalizado no gráfico 23 com uma seta azul), observa-se a maior emissão de N₂O neste processo, atingindo 6,26 ppm. Mais uma vez, ressalta-se alta produção de N₂O em queda na concentração de O₂. Neste mesmo dia, a temperatura da amostra chegou a 35,5°C e logo aumentou chegando ao máximo de 43,4°C, quando voltou a resfriar durante a fase mesofílica. Observam-se altas concentrações de CH₄

nessa fase, contrastando as concentrações de CO_2 para o mesmo período, indicando a prevalência de processo anaeróbio.

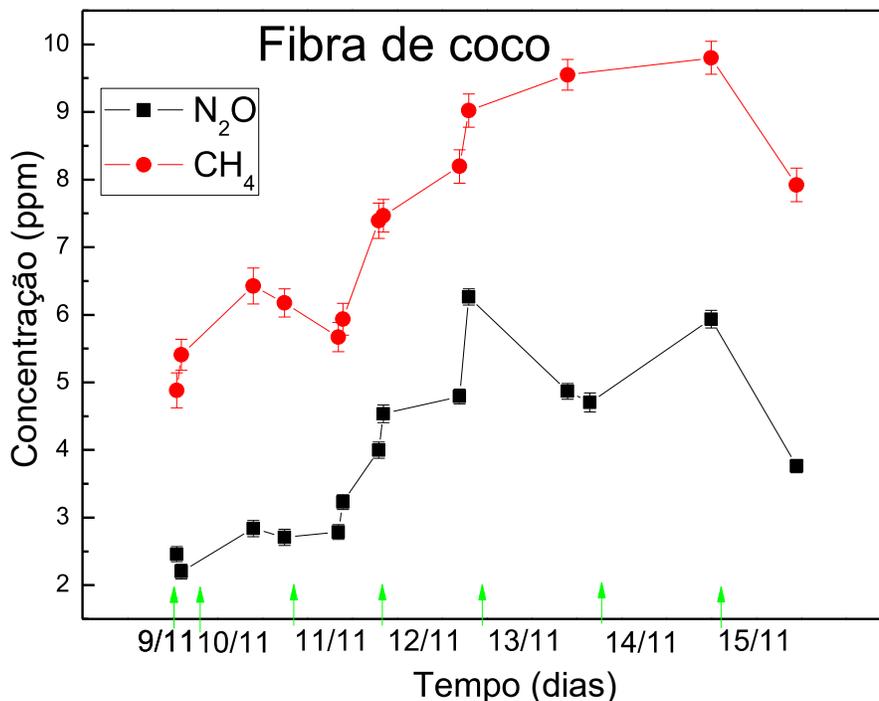


Figura 55: Produção de CH_4 e N_2O da amostra fibra de coco durante a compostagem

A figura 56 mostra alguns espectros fotoacústicos (N_2O e CH_4) obtidos por varredura na temperatura durante um ciclo de compostagem. Na parte direita do gráfico indicam os dias que foram obtidos os referidos espectros para a amostra Fibra de coco. Utilizando o gráfico 27b da seção 4.5.1 (pág. 61) notam-se picos de CH_4 durante o processo, tendo suas respectivas equivalências em comprimento de onda descritas nas temperaturas $6,8^\circ\text{C}$, $8,8^\circ\text{C}$, $31,4^\circ\text{C}$ e $33,5^\circ\text{C}$ relatados na figura 56. Observam-se picos menos abruptos em relação aos de N_2O devido à diferença no coeficiente de absorção entre esses gases nessa faixa do espectro. Observam-se também os picos de N_2O nas temperaturas $-4,7^\circ\text{C}$, $3,3^\circ\text{C}$, $11,5^\circ\text{C}$, $20,2^\circ\text{C}$ e $29,2^\circ\text{C}$.

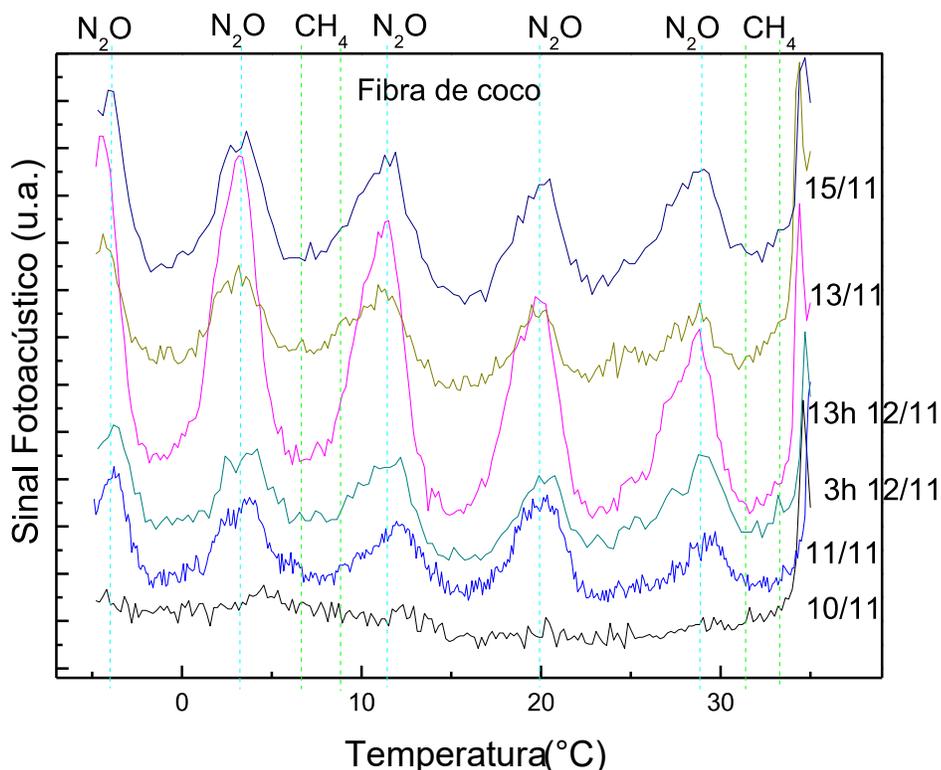


Figura 56: Espectros fotoacústicos da cama de fibra de coco em compostagem

Em todas as amostras, os resultados sugerem maiores emissões de N₂O em baixa disponibilidade de O₂, que segundo (BORTOLI et al., 2012) podem ter sido por nitrificação devido à alta concentração de nitrito (NO₂⁻). Dentre elas, a amostra Castelo II emitiu a maior concentração (8,51ppm). Nota-se também que a maior concentração de CH₄ ocorreu na amostra de Fibra de coco (9,80ppm). Enquanto que a amostra Maravalha se destacou por emitir menores concentrações (N₂O: 5,31ppm e CH₄: 7,13ppm).

A dimensão econômica da avicultura brasileira (milhões de dólares) leva a uma grande produção de resíduos em toda a sua cadeia produtiva, o que a torna uma atividade não sustentável ambientalmente. Além disso, as emissões de amônia em grandes volumes causam graves problemas na saúde das aves e dos trabalhadores durante o manejo dessa atividade, além de poluir diretamente o ambiente, sendo considerado um poluente precursor na geração de materiais particulados, como sulfato de amônia e nitrato de amônia.

Uma proposta para utilizar os resíduos oriundos da avicultura é o uso na compostagem da cama de frango para produção de adubo. Entretanto no processo de compostagem são produzidos gases de efeito estufa (GEE) tais como: CH₄ e N₂O que são causadores do aquecimento global. O N₂O também é um destruidor da camada de ozônio.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

O estudo apresentado mostrou que as emissões de gases podem ser reduzidas com manejo adequado e de escolha de materiais específicos para cama de frango, reduzindo assim a produção desses gases. O desafio é enorme para transformar avicultura brasileira em uma atividade sustentável, entretanto é possível apontar os caminhos nessa direção, principalmente quando existem estudos científicos nesta temática. Infelizmente poucos estudos são relatados sobre as emissões de gases provenientes da avicultura brasileira.

Os resultados anteriores mostraram que na cama de fibra de coco ocorreu menor emissão de gás amônia, evidenciando que o material posteriormente poderá ser utilizado como alternativa à maravalha, assim como é utilizada a palha de café, desde que se tenha um manejo mais adequado no tratamento granulométrico.

Além disso, a técnica fotoacústica aplicada na avicultura se mostrou bastante eficiente, tanto na detecção de NH_3 utilizando sacolas *Tedlar* para coleta da amostra gasosa, quanto na detecção de gases estufa na compostagem da cama.

O processo de compostagem ocorreu satisfatoriamente, já que alcançaram fases termofílicas, permitindo a decomposição de matéria orgânica.

A técnica fotoacústica aplicada na avicultura se mostrou eficiente, sendo sensível e seletiva na detecção dos gases CH_4 e N_2O , sendo capaz de medir CH_4 e N_2O , embora o processo seja predominantemente aeróbio. Dentre as amostras de cama, a maravalha pura obteve melhor desempenho, visto que emitiu menores concentrações de CH_4 e N_2O comparado às amostras de fibra de coco pura e a mistura de pós de serragem, maravalha e palha de café. Esse resultado atribui-se ao fato de possuir menos minerais. Embora este resultado seja extremamente relevante, se faz necessário um estudo mais aprofundado, pois é fato que estes substratos alternativos são ricos em minerais NPK.

Apesar das emissões de gases estufa detectados desse tipo de amostra, é importante ressaltar que em relação a outros tratamentos de resíduos sólidos como aterro sanitário, a compostagem reduz exponencialmente as emissões de gases estufa, pela predominância do processo aeróbio, sendo um tratamento de baixo custo, que resulta em um fertilizante.

Esta pesquisa mostrou a importância da sustentabilidade na produção avícola ao se transformar resíduos agrícolas em subprodutos para substratos de cama e posteriormente ser comercializado como adubo.

Dessa forma, como perspectiva, sugerimos que para evitar entrelaçamento das fibras do resíduo de coco verde, seja estudado o uso de granulometria menor e utilizá-la misturada à

maravalha e/ou pó de serragem como ocorre nas granjas comerciais da região sul capixaba com a palha de café. Acredita-se que seja um material de alto potencial na área de avicultura, principalmente em regiões produtoras de coco, tanto para reduzir a emissão de amônia quanto para enriquecer o material para uso como adubo ao final da criação, como é feito em granjas comerciais com palha de café na região sul do Espírito Santo.

Adicionalmente, pretende-se repetir o experimento com bagaço de cana como cama de frango de corte, já que também é um resíduo importante na região norte fluminense.

Pretende-se também medir NH_3 com sensor fotoacústico em granjas comerciais em diferentes momentos do ciclo dos frangos, bem como nos diversos setores desta cadeia produtiva, a fim de testar seu limite de detecção e aprimorar o desenvolvimento do equipamento.

Finalmente, pretendemos tornar portátil o sensor fotoacústico para NH_3 para uso na avicultura, já que o laser de diodo utilizado na técnica possui como vantagem baixo custo e fácil alinhamento e assim colaborar com as Ciências Agrária e Ambiental.

7 PRODUÇÃO ACADÊMICA DURANTE O DOUTORADO

Artigos Publicados

M. A. Lima, F. G. Linhares, G. A. Mothé, M. P. P. Castro, M. S. Sthel. Study of Gaseous Emissions Derived from the Combustion of Diesel/Beef Tallow Biodiesel Blends. Sustainability in Environment, v. 2, n. 2, p. 210- 222, 2017.

F. G. Linhares, M. A. Lima, G. A. Mothé, M. P. P. de Castro, M. G. da Silva, M. S. Sthel. Analysis of N₂O emissions from combustion of the diesel/ beef tallow biodiesel/ sugar cane diesel and diesel/beef tallow biodiesel blends. Biomass Conversion and Biorefinery. Aceito em: 11 de Janeiro de 2019. Publicação on line. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00372-x>.

Artigo submetido:

Environmental Development - “Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: reaching the goals of the Paris agreement in Brazil”. Autores: L. F. R. Mendes, M. A. Lima, G. A. Mothé, F. G. Linhares, M. P. P de Castro, M. G. da Silva, M. S. Sthel. Em fase de correção final.

Artigo a ser submetido:

Poultry Science - "Study of ammonia emissions in coconut fiber and shavings chicken bed using Photoacoustic Spectroscopy”. F. G. Linhares, K. S. Nogueira, K. A. A. Torres-Cordido, M. B. Matos, G. P. C. Real, M. G. da Silva, M. S. Sthel.

Participação em Congressos:

XL Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada - Photoacoustic detection of ammonia in poultry farms. (27 a 31 de Agosto de 2017, Búzios, RJ).

VI Congresso Internacional de Agropecuária Sustentável - Quantificação de amônia volatilizada da cama de frango composta por fibra de coco utilizando um sensor fotoacústico. (20 e 21 de Setembro de 2018, Viçosa, MG).

IV Congresso Fluminense de Pós-Graduação - Detecção fotoacústica de gases estufa na compostagem de cama de frango de corte de granja comercial. (24 e 28 de Junho de 2019, Campos dos Goytacazes, RJ).

8 REFERÊNCIAS

- ABPA. Relatório Anual da ABPA 2019. p. 165, 2019.
- ABPA, A. B. DE P. A. **Relatório Anual 2016 ABPA**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <www.abpa-br.org>.
- AHN, J. H. et al. N₂O Emissions from Activated Sludge Processes , 2008 - 2009 : Results of a National Monitoring Survey in the United States. **Environmental Pollution**, v. 44, n. 12, p. 4505–4511, 2010.
- AMARAL, M. F. P. et al. Comparison between two systems for ammonia emission monitoring in broiler houses. **International Symposium on Air Quality and Manure Management for Agriculture**, p. 1–8, 2007.
- ANDERSON, D. P.; BEARD, C. W.; HANSON, R. P. The Adverse Effects of Ammonia on Chickens Including Resistance to Infection with Newcastle Disease Virus. **Avian Diseases**, v. 8, n. 3, p. 369–379, 1964.
- ANGELO, J. C. DE et al. **Material de cama: qualidade, quantidade e efeito sobre o desempenho de frangos de corte** *Revista Brasileira de Zootecnia*, 1997.
- ANISUZZAMAN, M.; CHOWDHURY, S. D. Use of four types of litter for rearing broilers. **British poultry science**, v. 37, n. 3, p. 541–545, 1996.
- ARAÚJO, J. DOS S.; OLIVEIRA, V. DE; BRAGA, G. C. Desempenho de frangos de corte criados em diferentes tipos de cama e taxa de lotação. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 1, p. 59–64, 2007.
- ARSLANOV, D. D. et al. Optical parametric oscillator-based photoacoustic detection of hydrogen cyanide for biomedical applications. **Journal of biomedical optics**, v. 18, n. 10, p. 107002, out. 2013.
- ASSADOURIAN, E. **Vital Signs 2007–2008: The Trends That Are Shaping Our Future**. New York: W.W. Norton & Company, 2008.
- ATSDR, A. FOR T. S. AND D. R. **Toxic substances Portal: Ammonia**. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=2>>. Acesso em: 1 jan. 2017.
- AVILA, V. S. DE et al. **Valor agrônômico da cama de frangos após reutilização por vários lotes consecutivos**: Comunicado Técnico 466 Embrapa. Concórdia, SC: [s.n.].
- AVILA, V. S. DE et al. **Materiais alternativos, em substituição à maravalha como cama de frangos** *Comunicado Técnico 465 EMBRAPA*. Concórdia, SC: [s.n.].
- AVILA, V. S. DE; MAZZUCO, H.; FIGUEIREDO, E. A. P. DE. **Cama de aviário: Materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante**: Circular Técnica. Concórdia, SC: [s.n.].
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. [s.l.] Bookman, 2011.
- BAKKER, E.; QIN, Y. Electrochemical sensors. **Analytical chemistry**, v. 78, n. 12, p. 3965–84, 15 jun. 2006.
- BALIEIRO, F. C.; INÁCIO, C. T.; MAGALHÃES, A. M. T; MANZATTO, C. V. **Centro tecnológico de apoio ao desenvolvimento e difusão da compostagem e produção de adubos orgânicos para suporte ao empreendedorismo social** *FAPERJ* Rio de Janeiro, 2010.
- BARD, A. J.; FAULKNER, L. R. **Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications**. 2^a edição ed. New York, USA: [s.n.]. v. 8
- BARKER, J.; CAROLINA, N.; HUMENIK, F. Safety in Swine Production Systems. p. 1–4, 1986.
- BELUSSO, D.; HESPANHOL, A. N. A evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais. **Revista Percorso**, v. 2, n. 1, p. 25–51, 2010.
- BORTOLI, M. et al. Emissão de óxido nitroso nos processos de remoção biológica de nitrogênio de efluentes. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 01–06, 2012.
- Brasil Food Trends 2020**. São Paulo: [s.n.].
- BRASIL, M. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**. Brasília: [s.n.].

- CARLILE, F. S. Ammonia in Poultry Houses - A Literature-Review. **Worlds Poultry Science Journal**, v. 40, n. 2, p. 99–113, 1984.
- CASTELLANELLI, M. et al. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinâmométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 145–153, 2008.
- CHARLES, D. R.; PAYNE, C. G. The Influence of Graded Levels of Atmospheric Ammonia on Chickens: I Effects on respiration and on the performance of broilers and replacement growing stock. **British Poultry Science**, v. 7, n. 3, p. 177–187, 1966.
- COBB. **Manual de Manejo de Frangos de Corte**. Guapiaçu, SP: [s.n.].
- COBB. **COBB Broiler Management Guide**. [s.l: s.n.].
- CONCEIÇÃO, M. A.; JOHNSON, H. E.; WATHES, C. M. Air hygiene in a pullet house: spatial homogeneity of aerial pollutants. **British poultry science**, v. 30, n. 4, p. 765–776, 1989.
- CORREA, S. F. et al. Effects of ozone exposure on ‘Golden’ papaya fruit by photoacoustic phase-resolved method: Physiological changes associated with carbon dioxide and ethylene emission rates during ripening. **Journal of Applied Physics**, v. 109, n. 11, p. 114701, 2011.
- CRETON, J. C.; SHEL, M. S. **A Ciência do Aquecimento Global**. Rio de Janeiro: FAPERJ: Quartet, 2011.
- CURL, R. F. et al. Quantum cascade lasers in chemical physics. **Chemical Physics Letters**, v. 487, n. 1–3, p. 1–18, fev. 2010.
- DA SILVA, M. G. et al. Effect of heat treatment on ethylene and CO₂ emissions rates during papaya (*Carica papaya* L.) fruit ripening. **Review of Scientific Instruments**, v. 74, n. 1, p. 703, 2003.
- DA SILVA, M. G. et al. Photoacoustic detection of ozone using a quantum cascade laser. **Applied Physics B: Lasers and Optics**, v. 78, n. 6, p. 677–680, abr. 2004.
- DENGFELI, J.; JINMING, P.; YIBIN, Y. Advances in methods and instruments for determining concentration of gaseous air pollutants in large-scaled livestock farms. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 31, n. 1, p. 236–246, 2015.
- DEPARTMENT OF HEALTH NEW YORK STATE. **The Facts About Ammonia**. New York, USA: [s.n.]. Disponível em: <https://www.health.ny.gov/environmental/emergency/chemical_terrorism/docs/ammonia_tech.pdf>.
- DONHAM, K. J. . Exposure Limits Related to Air Quality and Risk Assessment. **Iowa Concentrated Animal Feeding Operations Air Quality Study**, p. 164, 2002.
- EPA. **Methane and Nitrous Oxide Emissions from Natural Sources, a review**. Washington: [s.n.].
- EUROPEIA, U. Proposta Decisão do conselho: relativa à aceitação da alteração do Protocolo de 1999 à Convenção de 1979 sobre a poluição atmosférica transfronteiras a longa distância, relativo à redução da acidificação, da eutrofização e do ozono troposférico. . 2013.
- FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. DA. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Londrina PR: [s.n.].
- FERREIRA, J. C. **Remoção de amônia gerada em granjas avícolas e sua utilização em células à combustível e uso como fertilizante**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2010.
- FILHO, M. B. et al. Ammonia detection by using quantum-cascade laser photoacoustic spectroscopy. **Applied optics**, v. 45, n. 20, p. 4966–71, 10 jul. 2006.
- GARCIA, L. W. DE F. R. G. et al. Volatilização de amônia em diferentes tipos de cama para frangos de corte. **bio Eng**, v. 5, n. 3, p. 142–151, 2011.
- H. XIN et al. Ammonia Emissions From U.S. Poultry Houses: Part I - Measurement System and Techniques. **Air Pollution from Agricultural Operations - III**, 2003.
- HARREN, F. J. M. et al. Photoacoustic Spectroscopy in Trace Gas Monitoring. p. 2203–2226, 2000.
- HASSOUNA, M. et al. Infrared photoacoustic spectroscopy in animal houses: Effect of non-compensated interferences on ammonia, nitrous oxide and methane air concentrations. **Biosystems Engineering**, v.

114, n. 3, p. 318–326, 2013.

HILLIG, É. et al. Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. **XXVI Enegep**, p. 1–7, 2006.

HINDERLING, J.; SIGRIST, M. W.; KNEUBÜHL, F. K. **Laser-photoacoustic spectroscopy of water-vapor continuum and line absorption in the 8 to 14 μm atmospheric window** *Infrared Physics*, 1987.

HONG, H.; DINH, T. Analysis of Ammonia and Volatile Organic Amine Emissions in a Confined Poultry Facility. **USU Dissertation**, 2010.

HORWITZ, W. **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 17th editi ed. Gaithersburg, Md: [s.n.].

INÁCIO, C. DE T. **Dinâmica de gases e emissões de metano em leiras de compostagem**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

IPCC. **Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: The Working Group I contribution to the IPCC Fourth Assessment Report** Intergovernmental Panel on Climate Change. [s.l: s.n.].

IPCC. IPCC Fifth Assessment Report (AR5) - The physical science basis. **IPCC**, 2013.

JAENISCH, F. R. F. et al. **Síndrome da Hipertensão Pulmonar: a Ascite em Frangos de Corte**. Concórdia, SC: [s.n.].

JAMES H. BUTLER; STEPHEN A. MONTZKA. THE NOAA ANNUAL GREENHOUSE GAS INDEX (AGGI). **Earth System Research Laboratory: Global Monitoring Division**, 2018.

JANSSEN, S. et al. Ethylene detection in fruit supply chains. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, v. 372, p. 20130311, 2014.

KEENER, H. M.; ZHAO, L. A modified mass balance method for predicting NH₃ emissions from manure N for livestock and storage facilities. v. 99, p. 81–87, 2008.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem - Maturação e Qualidade do composto**. Editado pe ed. Piracicaba, SP: [s.n.].

KREUZER, L. B. Ultralow gas concentration infrared absorption spectroscopy. **Journal of Applied Physics**, v. 42, n. 7, p. 2934–2943, 1971.

LI, H.; ZHANG, C.; XIN, H. Performance of an infrared photoacoustic single gas analyzer in measuring ammonia from poultry houses. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 31, n. 3, p. 471–477, 2015.

LIMA, G. R. **MONTAGEM DE UM OSCILADOR PARAMÉTRICO ÓPTICO E DETECÇÃO DE AMÔNIA UTILIZANDO UM SENSOR**. [s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO - UENF Campos dos Goytacazes, RJ, 2014.

LIMA, G. R. et al. Sensitive harmonic detection of ammonia trace using a compact photoacoustic resonator at double-pass configuration and a wavelength-modulated distributed feedback diode laser. **Applied Physics B**, v. 117, n. 1, p. 333–341, maio 2014.

LIMA, J. P. et al. Photoacoustic detection of NO₂ and N₂O using quantum cascade lasers. **Applied Physics B**, v. 85, n. 2–3, p. 279–284, jul. 2006.

LINHARES, F. G. **Estudo da Emissão de Gases Provenientes da Combustão de Blendas de Diesel de Cana, Biodiesel e Diesel de Petróleo**. [s.l.] UENF, 2015.

LISBOA, H. DE M.; KAWANO, M. Capítulo IV - Monitoramento de Poluentes Atmosféricos. In: **Controle da Poluição Atmosférica**. Montreal: [s.n.]. p. 1–73.

MACÊDO, J. A. B. DE. **Introdução à Química Ambiental: Química & Meio Ambiente & Sociedade**. 1ª edição ed. Juiz de Fora MG: [s.n.].

MAGALHAES, A. M. T. et al. Practical Simulation Of Composting In The Laboratory. **Waste Management & Research**, v. 11, n. 2, p. 143–154, 1993.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Metodologia para análise de elementos em material vegetal. In: **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas(princípios e aplicações)**. 2. ed. Piracicaba, SP: Potafso, 1997. p. 231–305.

- MANDON, J. et al. Exhaled nitric oxide monitoring by quantum cascade laser: comparison with chemiluminescent and electrochemical sensors. **Journal of Biomedical Optics**, v. 17, n. 1, p. 017003, 2012.
- MANNING, M. R. Seasonal cycles in atmospheric CO₂ concentrations. **NATO ASI Series: The Global Carbon Cycle**, v. I, n. 15, p. 65–94, 1993.
- MARÍN, E. Escuchando la luz : breve historia y aplicaciones del efecto fotoacústico. **Lat. Am. J. Phys. Educ.**, v. 2, n. 2, 2008.
- MASON, I. G.; MILKE, M. W. Physical modelling of the composting environment: A review. Part 1: Reactor systems. **Waste Management**, v. 25, n. 5, p. 481–500, 2005.
- MEIRA, A. M.; CAZZONATO, A. C.; SOARES, C. A. **Manual Básico de Compostagem - série: conhecendo os resíduos**. Piracicaba, SP: [s.n.].
- MENDES, L. B. et al. O ciclo do nitrogênio na criação de frangos de corte e suas perdas na forma de amônia volátil: uma revisão. **PUBVET**, v. 6, n. 20, 2012.
- MININI, K. M. S. **Monitoramento de Gases Estufa da Compostagem e Fumigação**. [s.l.] Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2016.
- MIZUBUTI, I. Y.; FONSECA, N. A. N.; PINHEIRO, J. W. Desempenho de duas linhagens de frangos de corte criadas sob diferentes densidades populacionais e diferentes tipos de cama. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 23, n. 3, p. 477–484, 1994.
- MMA, B. **Acordo de Paris**.
- MOODY, L. B. et al. A quality assurance project plan for monitoring gaseous and particulate matter emissions from broiler housing (Sections 1-6). **The American Society of Agricultural and Biological Engineers**, n. 1, p. 1–27, 2008a.
- MOODY, L. B. et al. A quality assurance project plan for monitoring gaseous and particulate matter emissions from broiler housing (Sections 12-17). **The American Society of Agricultural and Biological Engineers**, n. 1–6, p. 1–27, 2008b.
- MOTHÉ, G. et al. Detection of greenhouse gas precursors from diesel engines using electrochemical and photoacoustic sensors. **Sensors**, v. 10, n. 11, p. 9726–9741, 2010.
- MOZETO, A. A. Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças. **Cadernos temático de Química Nova na Escola: Química atmosférica**, v. maio, p. 41–49, 2001.
- NGWABIE, N. M. et al. Effects of animal activity and air temperature on methane and ammonia emissions from a naturally ventilated building for dairy cows. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 37, p. 6760–6768, 2011.
- NI, J. Q.; HEBER, A. J. Sampling and measurement of ammonia concentration at animal facilities—A review. **ASAE Annual International Meeting**, v. 0300, n. xx, p. 1–43, 2001.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- OLIVEIRA, E. C. A. DE; SATORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba, SP: [s.n.].
- OLIVEIRA, M. C.; FERREIRA, H. A.; CANCHERINI, L. C. Efeito de condicionadores químicos sobre a qualidade da cama de frango. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**, v. 56, n. 4, p. 536–541, 2004.
- OLIVEIRA, P. P. A. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 623–634, 2015.
- OSADA, T.; KURODA, K.; YONAGA, M. Determination of nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from a swine waste composting process. **Journal of material cycles and waste management**, p. 51–56, 2000.
- PEREIRA, T. et al. Gas diffusion in ‘Golden’ papaya fruit at different maturity stages. **Postharvest Biology and Technology**, v. 54, n. 3, p. 123–130, dez. 2009.
- PONZONI, A. L. DE L. Desenvolvimento de um Sistema para Caracterização de Sensores de Gases.

2007.

POPA, C. et al. Testing fruit quality by photoacoustic spectroscopy assay. **Laser Physics**, v. 24, n. 10, p. 105702, 2014.

RAPSON, T. D.; DACRES, H. Analytical techniques for measuring nitrous oxide. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, v. 54, p. 65–74, 2014.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada. . 2015.

ROCHA, A. et al. Detection of Ethylene Emitted by Diesel-biodiesel Engine Using CO₂ Laser Photoacoustic Sensors. **Applied Physics Research**, v. 4, n. 3, p. 16–21, 2012.

ROCHA, A. M. et al. Evaluation of Nitrous Oxide Emitted from Diesel/Biodiesel Blends during Combustion in a Diesel Engine at Laboratory Scale by a Photoacoustic Spectroscopy Technique. 2014.

ROCHA, M. V. et al. Quantum-cascade laser photoacoustic detection of methane emitted from natural gas powered engines. **Applied Physics B**, v. 106, n. 3, p. 701–706, nov. 2011.

ROSENCWAIG, A. Theoretical aspects of photoacoustic spectroscopy. **Journal of Applied Physics**, v. 49, n. 5, p. 2905–2910, 1978.

ROSS, S. **The 4 Countries That Produce the Most Food**. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/articles/investing/100615/4-countries-produce-most-food.asp>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

SALMAN, A. K. D. et al. **Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos**. 1. ed. Porto Velho, RO: [s.n.].

SAMBUICHI, R. H. R. et al. **A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios**. Rio de Janeiro: [s.n.]. v. 1782

SAMPAIO, M. A. P. M. et al. Estudo da população microbiana e da liberação de amônia da cama de frangos tratada com gesso agrícola. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 51, n. 6, p. 559–564, 1999.

SANTOS, C. R. DOS. **Cama de casca de café tratada com condicionadores químicos e sua influência na qualidade do coxim plantar de frangos de corte**. [s.l.] UFV, 2009.

SANTOS, É. C. DOS et al. Avaliação de alguns materiais usados como cama sobre o desempenho de frangos de corte. **Ciência Agrotécnico Lavras**, v. 14, n. 4, p. 1024–1030, 2000.

SIGRIST, M. W. New developments in CO₂-laser photoacoustic monitoring of trace gases. **Infrared Physics & Technology**, v. 36, n. 2, p. 585–615, 1995.

SILVEIRA, R. M. **Cena-USP avalia concentração de gases do efeito estufa no sudoeste da Amazônia**.

TANS, P.; DLUGOKENCKY, E. **Earth System Research Laboratory: Global Monitoring Division**.

TAVARES, J. R. et al. Evaluation of pollutant gases emitted by ethanol and gasoline powered vehicles. **Procedia Environmental Sciences**, v. 4, p. 51–60, 2011.

TEODORO, C. G. et al. CO₂ laser photoacoustic detection of ethylene emitted by diesel engines used in urban public transports. **Infrared Physics and Technology**, v. 53, n. 2, p. 151–155, 2010.

UEP, U. E. P. **Animal Husbandry Guidelines for U.S. Egg Laying Flocks 2016 Edition**, 2016.

UNECEC. Decision 2012 / 2 Amendment of the text of and annexes II to IX to the 1999 Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone and the addition of new annexes X and XI Article 2 Relationship to the Gothenburg Protocol Article 3 Entry. 2012.

USP - LaQA Laboratório de Química ambiental.

VIANA, D. A. **Utilização da Espectroscopia Fotoacústica no monitoramento das taxas de emissão de amônia a partir de ureia encapsulada com alginato**. [s.l.] Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2018.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **METEOROLOGIA BASICA E APLICAÇÕES**. Viçosa, MG:

[s.n.].

VILHENA, A. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 4^a ed. ed. São Paulo: CEMPRE, 2018.

WATHES, C. M. et al. Emissions of Aerial Pollutants in Livestock Buildings in Northern Europe: Overview of a Multinational Project. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, n. 1, p. 3–9, 1998.

WEBBER, M. E. et al. Agricultural ammonia sensor using diode lasers and photoacoustic spectroscopy. **Measurement Science and Technology**, v. 16, n. 8, p. 1547–1553, 2005.

WHEELER, E. F. et al. Ammonia Emissions From Twelve U.S. Broiler Chicken Houses E. **Transactions of the ASABE**, v. 49, n. 5, p. 1495–1512, 2012.

WIEGAND, A. N. et al. Modelling the aeolian transport of ammonia emitted from poultry farms and its deposition to a coastal waterbody. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 32, p. 5732–5741, 2011.

WILLIAMS, R. Causa do aquecimento global : antropogênica versus natural *. **Change**, v. 5, n. 1, p. 42–49, 2009.

WINDMILLER, J. R.; WANG, J. Wearable Electrochemical Sensors and Biosensors: A Review. **Electroanalysis**, v. 25, n. 1, p. 29–46, jan. 2013.

XIN, H. et al. A portable system for continuous ammonia measurement in the field. **ASAE Annual International Meeting**, v. 2002 ASAE, p. 1–16, 2002.

YANG, P.; LORIMOR, J. C.; XIN, H. Nitrogen Losses from Laying Hen Manure in Commercial High-rise Layer Facilities. **Agricultural and Biosystems Engineering**, v. 43, n. 6, p. 1771–1780, 2000.