



Determinação dos Fatores de Emissão de Amoníaco e Gases de Efeito de Estufa em Salas de Gestação Suína

Estudo de Caso para uma Unidade de Produ o de Desmamados na
Região de Concórdia, Santa Catarina, Brasil

Maria Ana Benoliel Nunes Bonito

Disserta o para a obten o de grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Orientador: Prof. Tiago Domingos

Coorientador: Prof. Paulo Belli Filho, Eng. Paulo Armando Vitória de Oliveira

Júri

Presidente: Prof. Ramiro Neves

Orientador: Prof. Tiago Domingos

Vogais: Prof. David Fangueiro, Prof. Gabriel Pita

Novembro 2015

Para as pessoas mais especiais da minha vida.

Agradecimentos

A todos os patrocinadores, em especial à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Suínos e Aves (EMBRAPA, Suínos e Aves) de Concórdia, pela oportunidade que me foi concedida.

Aos produtores, pela sua colaboração.

Aos meus orientadores, Professor Tiago Domingos (Instituto Superior Técnico) e Professor Paulo Belli Filho (Universidade Federal de Santa Catarina), por aceitarem a minha proposta e me depositarem a sua confiança.

Ao meu orientador na EMBRAPA, Engenheiro Paulo Armando de Oliveira, por me conceder o privilégio de trabalhar na sua equipa e por me apoiar profissionalmente ao longo de todo o projeto.

A toda a Equipa da EMBRAPA, em especial Livia, Graci, Mário, Dirceu, Édio e Arlei, que se responsabilizaram pela minha formação e colaboraram nos trabalhos de campo.

Ao doutorando Jorge Tavares, que me facultou a entrada neste projeto e cujo apoio, disponibilidade e diligência foram fundamentais para a concretização desta tese.

E à minha família, por me ensinar o espírito crítico, a perseverança, a excelência e o carácter. Em especial, quero agradecer à minha Mãe, ao meu irmão, à minha tia Luna e à minha prima muito amiga Sandra, pelo seu carinho e apoio incondicionais.

“A pessoa justa atenta à vida do seu animal”

Provérbios 12:10

“Vive como se fosses morrer amanhã e aprende como se fosses viver para sempre”

Mahatma Gandhi

Resumo Analítico

O crescimento populacional aliado à melhoria de rendimentos nos países emergentes aceleraram o desenvolvimento da suinicultura, conduzindo à intensificação das emissões atmosféricas de amoníaco e Gases de Efeito de Estufa - dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. O Brasil, quarto maior produtor mundial de suínos, concentra a maioria da produção no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. O presente estudo tem o objetivo de alargar e aprofundar o conhecimento no domínio da sustentabilidade ambiental em pecuária e produzir informação científica sobre qualidade do ar em unidades de produção suína. Especificamente, pretende determinar as concentrações e os fatores de emissão de Gases de Efeito de Estufa e amoníaco em salas de gestação de unidades de produção no Oeste de Santa Catarina (Microrregião de Concórdia), considerando dois períodos do ano (Inverno - A e Verão - B), dois horários de amostragem (matutino e vespertino), dois regimes de alojamento (em box individual – G1 e em baia coletiva – G2) e situação de ventilação natural. Em cada período, de cinco semanas, analisaram-se duas unidades de produção - unidade modelo e unidade controlo - aplicando a Metodologia Simplificada proposta por ROBIN et al. (2006) e ROBIN et al. (2010). Efetuou-se recolha semanal, no interior e exterior das unidades, de amostras de gás, chorume e ração e dados de higrometria, temperatura e velocidade do ar. Foram, ainda, efetuadas medições das aberturas de cortina. A leitura das amostras de gás realizou-se por medição fotoacústica pelo INNOVA 1412, os dados de ambiente foram processados em Microsoft Excel® e as amostras de chorume e ração analisadas pelos *Standard Methods*. Paralelamente, efetuou-se monitorização diária da higrometria e temperatura do ar interior e exterior. Os fatores de emissão foram avaliados apenas para a unidade modelo do período A (UPMA). Concluiu-se que: o chorume de G1 e G2 tem características diferentes; o sistema de alimentação em G1 conduz a desperdício de água; as concentrações não ultrapassam os limites legais de exposição e diferem segundo o horário de recolha; as condições de conforto nas salas são boas/muito boas; o regime de alojamento pode influenciar as concentrações e fatores de emissão dos gases medidos; na UPMA, as condições de conforto são razoáveis a boas e as condições de alojamento propiciam a volatilização rápida de amoníaco no chorume; a metodologia aplicada é fiável para modelação.

Palavras-chave: amoníaco, emissão, gestação, gases de efeito estufa, suinicultura, ventilação natural

ABSTRACT

Population growth, along with rising incomes in developing countries, led to the growth of swine production, increasing atmospheric emissions of ammonia and greenhouse gases - carbon dioxide, methane and nitrous oxide. Brazil, the fourth biggest swine producer in the world, holds the majority of its production in Rio Grande do Sul, Santa Catarina and Paraná. The following study aims to expand and enhance the knowledge in the field of sustainability in livestock production, and to produce scientific information on air quality in swine production units. Specifically, it aims to determine greenhouse gases and ammonia concentrations and emissions factors in gestation rooms of commercial swine houses located on the West side of Santa Catarina (micro-region of Concordia), considering two different periods of the year (winter period - A and summer period - B), two different collection times (morning and afternoon), two different lodging systems (individual boxes – G1 and collective stalls – G2) and natural ventilation. For each five-week term, two production units were analyzed – model unit and control unit – following the Simplified Methodology suggested by ROBIN et al. (2006) and ROBIN et al (2010). Weekly samples of gas, manure and feed, as well as data for relative humidity, air velocity and temperature were collected inside and outside the units. Measurements were also conducted to determine how widely the blinds were open. The gas samples were read by photo-acoustic measuring with INNOVA 1412, ambient data was processed in Microsoft Excel© and samples of manure and feed were analyzed according to *Standard Methods*. Simultaneously, daily indoor and outdoor monitoring of relative humidity and air temperature was carried out. Emission factors were only measured for the model unit of term A (UPMA). The study concludes that: manure in G1 and G2 has different characteristics; the feeding system in G1 leads to water spillage; concentrations did not go above the legal exposure thresholds and differ according to collection time; comfort conditions inside the rooms are good/very good; lodging systems may affect gaseous concentrations and emission factors; in UPMA, comfort conditions and lodging conditions favour the rapid volatilization of ammonia from manure; the applied methodology is appropriate.

Keywords: ammonia, emission, gestation, greenhouse gases, natural ventilation, swine production

INDICE

1. Introdução	19
1.1. Enquadramento da Pesquisa	19
1.2. Objetivo e Hipóteses	20
1.3. Fundamentação	20
1.4. Suinicultura no Mundo	22
1.5. Suinicultura no Brasil	23
1.5.1 Santa Catarina.....	25
2 Problemática Ambiental	26
2.1 Chorume de Suíno	26
2.2 Emissões Gasosas	27
2.2.1 Efeito de Estufa	27
2.2.2 Dióxido de Carbono (CO ₂).....	28
2.2.3 Metano (CH ₄)	29
2.2.4 Óxido Nitroso (N ₂ O).....	29
2.2.5 Amoníaco (NH ₃).....	30
2.3 Emissão e Parâmetros de Emissão de gases	32
2.3.1 Ventilação	32
2.3.2 Nutrição	33
2.3.3 Fase fisiológica	33
2.4 Limites de Exposição Animal e Humana	34
3 Gestação Suína	36
3.1 Caracterização da Fase Fisiológica	36
3.2 Caracterização do alojamento e regime alimentar	36
3.3 Conforto de Matrizes Gestantes	37
4 Material e Métodos	38
4.1 Enquadramento	38
4.1.1 Localização.....	39
4.2 Caracterização das Unidades de Produção	39
4.2.1 Ventilação	40
4.2.2 Alojamento	40
4.2.3 Sistema de alimentação	41
4.3 Metodologia Simplificada	41
4.3.1 Descrição da Metodologia	41
4.3.2 Descrição do Cálculo e Equação do Fluxo	42
4.3.3 Determinação da Razão de mistura do Ar, Entalpia e Massa volúmica do Ar	42
4.3.4 Produção de Calor.....	44
4.3.5 Perdas de calor por condução.....	45

4.3.6	Aporte de calor por aquecimento	45
4.3.7	Produção de CO ₂ por respiração	46
4.3.8	Produção de água metabólica	46
4.3.9	Caudal de ar	46
4.3.10	Concentrações mássicas de gás.....	47
4.3.11	Emissão de Gás	47
4.4	Validação da Metodologia	48
4.4.1	Balanços de Massa	48
4.4.2	Balanco Teórico de Perdas	48
4.4.3	Balanco de Perdas	49
4.5	Descrição das Atividades de Campo	50
4.5.1	Análise de Chorume	51
4.5.2	Ração	52
4.5.3	Consumo de Água.....	53
4.5.4	Recolha de dados de Temperatura, Humidade Relativa do Ar e Velocidade do Ar	54
4.5.5	Medição do comprimento de abertura das cortinas	56
4.5.6	Amostragem de Ar.....	57
4.5.7	Processamento das amostras de ar.....	57
4.6	Análise Estatística, Balanços e Cálculo de Fluxos.....	59
5	Resultados	59
5.1	Caracterização Físico-Química do Chorume.....	59
5.1.1	pH	59
5.1.2	Azoto Amoniacal.....	59
5.1.3	Matéria Seca.....	59
5.3	Ambiente Térmico das Instalações	61
5.3.1	Período A.....	61
5.3.2	Período B.....	65
5.3.3	Avaliação do Conforto das Matrizes Alojadas	68
5.4	Produção de Gases	68
5.4.1	Dióxido de Carbono (CO ₂).....	69
5.4.2	Amoníaco (NH ₃).....	70
5.4.3	Óxido Nitroso (N ₂ O).....	72
5.4.4	Metano (CH ₄)	73
5.4.5	Limites de Exposição Animal e Humana	74
5.5	Caso de Estudo na Unidade Modelo do Período A.....	75
5.5.1	Avaliação Preliminar do Ambiente.....	75
5.5.2	Caracterização da Unidade Analisada	76
5.5.3	Balanco de Calor	76

5.5.4	Concentração Ambiental de Gases.....	77
5.5.5	Fatores de Emissão de Gases	78
5.5.6	Validação da Metodologia	79
5.5.7	Comparação com os valores de caudal estimados através das aberturas de cortina..	82
5.5.8	Comparação com os valores da literatura.....	83
6	Conclusões e Considerações para o futuro	83
6.1	Conclusões Gerais	83
6.2	Considerações para o futuro.....	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Impactos Ambientais na Suinicultura (adaptado de AMORIM, 2011)	21
Figura 2 - Quantidade de Carne (mmc - milhões de metros cúbicos) e percentagem consumida no mundo (MCGLONE, 2013)	22
Figura 3 - Produção Mundial de Carne Suína em 2014	22
Figura 4 - Produção relativa de carne suína em 2014 (SEAB-DERAL, 2015)	22
Figura 5 - Rebanho Mundial de Suínos, por ano (SEAB-DERAL, 2015)	23
Figura 6 - Destino da produção suína no Brasil (ABPA, 2015)	24
Figura 7 - Consumo <i>per capita</i> de carne suína no Brasil (kg), 2008 a 2013 (SEAB-DERAL, 2015)	24
Figura 8 - Contribuições relativas dos Estados Brasileiros para o mercado de exportação (ABPA, 2015)	25
Figura 9 - Sistemas de fossas internas, abaixo do piso do animal	27
Figura 10 - Processos de formação do Oxido Nitroso (adaptado de PHILIPPE AND NICKS, 2014)	30
Figura 11 - Transformações de N e emissões para a atmosfera pelo chorume pecuário: NH ₃ - amoníaco; NH ₄ ⁺ - ião amoníaco; N ₂ - diázo; N ₂ O - óxido nitroso; NO ₃ ⁻ - nitrato (adaptado de PHILIPPE, CABARAUX, NICKS, 2011)	31
Figura 12 - Contribuição relativa das fontes de emissão global de NH ₃	32
Figura 13 - Alojamento em box individual	36
Figura 14 - Alojamento em baia colectiva	37
Figura 15 - Sistemas de alojamento	40
Figura 16 - Sistema de vasos comunicantes para fornecimento de água e alimento em G1	41
Figura 17 - Localização dos aparelhos de higrometria (TESTO 174H) no interior da exploração agropecuária (exemplo - G1 da UPMB)	54
Figura 18 - Medição de V e HR exterior ao edifício	55
Figura 19 - Sondagem do ar externo do edifício (com pormenor da sonda)	56
Figura 20 - Medição da abertura de cortinas em G1 (com pormenor) - O círculo a preto indica o posicionamento do zero da escala; o traço a amarelo indica o limite superior e o azul o limite inferior da superfície a analisar; a seta o sentido da medição	56
Figura 21- Equipamento de medição de gases: INNOVA 1412 e Computador - O processamento consiste na deteção fotoacústica infravermelha dos gases a quantificar, com recurso a filtros óticos, que procedem ainda à compensação das interferências provocadas pelo vapor de água e outros gases de interesse desprezável (AMORIM, 2012)	58
Figura 22 - Conexão da válvula de entrada do saco ao tubo de sucção do aparelho INNOVA 1412	58
Figura 23 - Evolução Temporal de Tm diária (°C) no período A (G1)	62
Figura 24 - Evolução Temporal de Tm diária (° C) no período A (G2)	63
Figura 25 – Evolução da HR do Ar (%) no período A (G1)	64
Figura 26 - Evolução da HR do Ar (%) no período A (G2)	64

Figura 27 - Evolução Temporal da Tm (°C) no período B (G1)	65
Figura 28 - Evolução Temporal da Tm (° C) no período B (G2)	66
Figura 29 - Evolução da HR do Ar (%) para o período B (G1).....	67
Figura 30 - Evolução da HR do Ar (%) para o período B (G2).....	68

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Concentrações limite de referência (ppm) para GEE e NH ₃	35
Tabela 2 - Limites de Exposição (LE) de NH ₃ (ppm) segundo dados da literatura.....	35
Tabela 3 - Valores obtidos para fatores de emissão de NH ₃ (gNH ₃ /animal.dia) em unidades de produção com alojamento em piso ripado (PHILIPPE, CABARAUX, NICKS, 2011).....	35
Tabela 4 - Valores obtidos para as emissões de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O (g/animal.dia) em unidades de produção com alojamento em piso ripado (PHILIPPE AND NICKS, 2014).....	36
Tabela 5 - Classificação do estado de conforto térmico como função da Temperatura (°C) e Humidade Relativa (%) estabelecida por PANDORFI (2005).....	38
Tabela 6 - Classificação do estado de conforto térmico como função da Temperatura (°C) e concentração de NH ₃ (ppm) estabelecida por PANDORFI (2005).....	38
Tabela 7 - Localização das UP selecionadas.....	39
Tabela 8 - Caracterização das UP - sistemas de armazenamento e tratamento de Chorume.....	40
Tabela 9 - Variáveis físico-químicas analisadas e método analítico utilizado na caracterização do chorume e da ração.....	53
Tabela 10 - Número X de Pontos de divisão das salas de Gestaçã de cada UPD.....	55
Tabela 11 - Caracterização Físico-Química do chorume em G1.....	60
Tabela 12 - Caracterização Físico-Química do chorume em G2.....	60
Tabela 13 - Caracterização Físico-Química da ração fornecida aos animais em Gestaçã.....	61
Tabela 14 - Dados de T (°C) registados no interior e exterior das instalações (período A).....	61
Tabela 15 - Dados de HR (%) nas instalações (interior e exterior) no período A.....	63
Tabela 16 - Dados de T (°C) registadas no interior e exterior das instalações (período B).....	65
Tabela 17 - HR (%) para o interior e exterior das Instalações no período B.....	66
Tabela 18 - HR (%) para o interior e exterior das Instalações no período B (UPCB).....	66
Tabela 19 - Valores Médios de T (°C) e HR Interna (%) por período.....	68
Tabela 20 - Médias de Concentraçã de CO ₂ por horário de amostragem (ppm - v).....	69
Tabela 21 - Concentrações médias diárias de CO ₂ observadas (ppm-v).....	70
Tabela 22 - Concentrações médias de CO ₂ observadas no interior da unidade (ppm-v).....	70
Tabela 23 - Médias de concentraçã de NH ₃ por horário de amostragem (ppm-v).....	70
Tabela 24 - Concentrações médias diárias de NH ₃ observadas (ppm-v).....	71
Tabela 25 - Concentrações médias diárias de NH ₃ observadas no interior da unidade (ppm-v).....	71
Tabela 26 - Médias de concentraçã de N ₂ O por horário de amostragem (ppm-v).....	72
Tabela 27 - Concentrações médias diárias de N ₂ O observadas (ppm-v).....	72
Tabela 28 - Concentrações médias diárias de N ₂ O observadas no interior da unidade (ppm-v).....	73
Tabela 29 - Médias de concentraçã de CH ₄ por horário de amostragem (ppm-v).....	73
Tabela 30 - Concentrações médias diárias de CH ₄ observadas (ppm-v).....	74
Tabela 31 - Concentrações médias diárias de CH ₄ observadas no interior da unidade (ppm-v).....	74
Tabela 32 - Valores Médios de T (°C), V (m/s) e HR (%) do ar obtidos por mediçã pontual na UPMA.....	75
Tabela 33 - Caracterizaçã dos alojamentos de Gestaçã da UPMA (animal/dia).....	76

Tabela 34 - Ganho de Peso Diário (Y₂), Taxa de Carne Magra (TCM) e Peso Vivo (PV) das matrizes alojadas	76
Tabela 35 - Calores Estimados, Produção de Água Metabólica e Produção de CO₂ por alojamento	77
Tabela 36 - Concentrações (ppm-v) dos gases medidos (com exceção do CH₄)	77
Tabela 37 – Concentração Ambiental de cada um dos gases medidos (ppm-v)	78
Tabela 38 - Fluxos de compostos de C obtidos através do calor total, por alojamento (g/animal.dia)	78
Tabela 39 - Fluxos de compostos de N obtidos através do calor total, por alojamento (g/animal.dia)	78
Tabela 40 - Fração de N emitido sob a forma de NH₃ em relação ao conteúdo em N excretado, ao conteúdo total de N perdido e ao Fluxo de N estimado (%)	79
Tabela 41 - Caracterização Físico-Química da ração na UPMA, para os elementos C, N, P (g/kg)	80
Tabela 42 - Caracterização Físico-Química do chorume na UPMA para os Elementos de C, N, P (g/L)	80
Tabela 43 - Balanço de P (kg/animal.dia)	80
Tabela 44 - Balanço de N (kg/animal.dia)	80
Tabela 45 - Balanço de C (g/animal.dia)	81
Tabela 46 - Balanço de Perdas (g/animal.dia)	81
Tabela 47 - Comparação das Perdas por Balanço de Massa (BM) e Fluxo de Emissão (FE) por alojamento (g/animal.dia)	81
Tabela 48 - Comparação das Perdas Estimadas e Fluxo de Emissão (FE), por alojamento (g/animal.dia)	81
Tabela 49 - Comparação dos valores de fluxo de NH₃ medidos pelo Calor Total e pela Equação de Caudal (g/animal.dia)	82
Tabela 50 - Comparação dos valores de fluxo de N₂O obtidos pelo Calor Total e pela Equação de Caudal (g/animal.dia)	82
Tabela 51 - Comparação dos valores de fluxo de CO₂ medidos	82
Tabela 52 - Comparação dos valores de fluxo de CH₄ medidos	82

LISTA DE ABREVIATURAS

ACCS – Associação Catarinense de Criadores de Suínos
ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal
AINCADESC – Associação das Indústrias de Carnes e Derivados do Estado de Santa Catarina
APHA – American Public Health Association
AWWA – American Water Works Association
BRF – Brasil Foods
BM – Balanço de Massa
CA – Concentração Ambiental
CIGR – Commission Internationale Genie Rural
CORPEN – Comité d'ORientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'ENvironment
DERAL – Departamento de Economia Rural
DEPA – Danish Environmental Protection Agency
DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENS – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
EPA – (United States) Environmental Protection Agency
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EU – 27 – União Europeia (27 países)
EXT – Externo
FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations
FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação no Estado de Santa Catarina
FE – Fluxo de Emissão
FPPQ – Federation des producteurs de porc du Quebec
FUNDESA – Fundo de Desenvolvimento e Defesa Sanitária Animal
GEE – Gases do Efeito de Estufa
HR – Humidade Relativa
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INRA – Institut National de la Recherche Agronomique
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
INT – Interno
LE – Limites de Exposição
LABEFLU – Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos da Universidade Federal de Santa Catarina
MO – Matéria Orgânica
MS – Matéria Seca
NR – Norma Regulamentadora
PPM – partes por milhão
PV – Peso Vivo
SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento

SPAC – Sistema de Produção de Animais Confinados

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

SS – Sólidos Suspensos

TCM – Taxa de Carne Magra

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UP – Unidade de Produção

UPC – Unidade de Produção Controlado

UPCA – **Unidade** Controlado do Período A

UPCB – Unidade Controlado do Período B

UPD – Unidade Produtora de Desmamados

UPM – Unidade de Produção Modelo

UPMA – Unidade Modelo do Período A

UPMB – Unidade Modelo do Período B

WPCF – Water Pollution Control Federation

LISTA DE SIMBOLOS

A – Área de fluxo (m^2)

B_o – Potencial em Metano (m^3CH_4/kg)

$C_{N-NH_3}^m$ – concentração mássica de azoto amoniacal no ar (mg de N amoniacal/kg de ar seco)

$C_{N-NH_3}^v$ – concentração volúmica de azoto amoniacal no ar (ppm)

C_e^m – concentrações mássicas de gás fora do edifício (mg/kg ar seco)

C_i^m – concentrações mássicas de gás dentro do edifício (mg/kg ar seco)

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

C_{total} – carbono total presente na ração

C_z – conteúdo em Cinzas (%)

F – fluxo de calor através das paredes (W/animal)

G1 – Sistema de alojamento de gestação em box individual

G2 – Sistema de alojamento de gestação em baia colectiva

G_p – Coeficiente de isolamento térmico (W/K)

Grad C – Diferença de concentrações de C (ppm)

GradC – CH₄ – Diferença de concentração de CH₄ interno e externo (ppm)

GradC – CO₂ – Diferença de concentração de CO₂ interno e externo (ppm)

GradN – NH₃ – Diferença de concentração de NH₃ interno e externo (ppm)

GradN – N₂O – Diferença de concentração de N₂O interno e externo (ppm)

E – Entalpia (J/kg ar seco)

EC – CO₂ – Emissão de Carbono sob a forma de CO₂ (g/animal.dia)

EC – CH₄ – Emissão de Carbono sob a forma de CH₄ (g/animal.dia)

ECH₄ – Emissão de Metano (g/animal.dia)

Emiss_X – Emissão de determinado elemento (g/animal.dia)

EN – NH₃ – Emissão de Azoto sob a forma de NH₃ (g/animal.dia)

EN – N₂O – Emissão de Azoto sob a forma de N₂O (g/animal.dia)

EXC – Termo correspondente à quantidade de SV ou MO excretados o chorume (kg)

H_2O_{met} – Produção de água metabólica pelo suíno (kg/animal)

HR – humidade Relativa do ar (%)

lat – calor latente da água (J/kg água)

m – massa corporal da porca (kg)

MCF – fator de conversão (%)

m_{N-NH_3} – massa molar do azoto (14g/mol)

M_s – teor em matéria seca da ração (%)

N_b – número de animais alojados

N_{ing} – quantidade de azoto ingerida pelo suíno (kg)

N_{ex} – quantidade de azoto excretada pelo suíno (kg)

Outros_X – Perdas de elementos não contabilizados no balanço (ppm)

p – número de dias de gravidez (d)

P_{atm} – pressão atmosférica (Pa)
 $P_d = P_{atm} - P_{vap}$ (Pa)
 Perdas C – Fluxo total de Carbono (g/animal.dia)
 P_{ex} – quantidade de fósforo excretada pelo suíno (kg)
 Perdas_X – perda de determinado elemento (ppm)
 P_i – peso do suíno no início do ciclo (kg)
 P_{ing} – quantidade de fósforo ingerida pelo suíno (kg)
 $ProdCO_2$ – Produção de CO₂ pela respiração do suíno (Lh⁻¹)
 P_{sat} – pressão de vapor de saturação (Pa)
 PV – Peso vivo do animal (kg)
 P_{vap} – pressão parcial de vapor de água (Pa)
 Q – caudal (m³/s)
 Q_{ar} – Caudal de ar que sai do edifício (m³/h)
 $Q_{ar, lat}$ – caudal de ar estimado segundo o calor latente (m³/h.animal)
 $Q_{ar, sens}$ – caudal de ar segundo o calor sensível (m³/h.animal)
 $Q_{ar, tot}$ – caudal de ar segundo o calor total (m³/h.animal)
 Q_{gas} – taxa de emissão de gás (mg/h.animal)
 Ração Ingerida – quantidade de ração ingerida pelo animal (kg/d)
 R – constante universal dos gases perfeitos (0,0821 l.atm/K.mol)
 R_d – constante dos gases perfeitos para o vapor de água (J.kg⁻¹ K⁻¹)
 R_v – constante dos gases perfeitos para o ar seco (J.kg⁻¹ K⁻¹)
 ST – Sólidos Totais
 SV – Sólidos Voláteis
 SF – Sólidos Fixos
 T – temperatura do ar interior ou exterior (°C)
 TAN – N amoniacal total
 T_m – Temperatura Média do ar interior ou exterior (°C)
 TCM – Taxa de carne magra (kg)
 T_{ref} – Temperatura de referência em K (273K)
 V – velocidade do ar (m/s)
 Volume chorume – chorume produzido em cada sala (L)
 w – razão de mistura do ar (kg água/kg ar seco)
 $X_{chorume}$ – concentração do elemento no chorume (mg/L)
 X_{ing} – quantidade do elemento que é ingerida pelo animal (kg)
 $X_{ração}$ – concentração do elemento presente na ração (mg/kg)
 Y_2 – Ganho de peso diário (kg/dia)
 α – erro-padrão
 σ – desvio-padrão
 ρ – densidade de ar ou volume mássico de ar que sai do edifício (kg ar seco/m³)

\emptyset – produção de calor total (W/animal)
 \emptyset_s – calor sensível (W/animal)
 \emptyset_l – calor latente (W/animal)
X – número de divisões para leitura das variáveis.

LISTA DE TERMINOLOGIA QUÍMICA

C – carbono
CH₄ – metano
CO₂ – dióxido de carbono
CO (NH₂)₂ – Ureia
C/N – quociente Carbono/Azoto
H₂O – Água
HCO₃ – Bicarbonato
NH₃ – amoníaco
NH₄⁺ – ião amoníaco
N-NH₄ – fração de azoto amoniacal
N₂ – diazoto
N₂O – óxido nitroso
N – azoto
P – fósforo
Cu – cobre
Zn – zinco

1. Introdução

1.1. Enquadramento da Pesquisa

O crescimento populacional, aliado à melhoria de rendimentos nos países emergentes, conduziu ao aumento da procura agregada de bens agrícolas. A resposta às exigências atuais implica que, até 2050, haja um incremento na produção de bens alimentares de cerca de 60%, tendo por base os valores registados em 2005/7 (ALEXANDRATOS AND BRUINSMA, 2012; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS (FAO), 2014).

O incremento da produção implica a intensificação da atividade agropecuária, com conseqüente agravamento da pressão ambiental sobre os recursos hídricos, solo e biodiversidade (FAO, 2014) e aumento das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) e amoníaco (NH₃) para a atmosfera (FAO, 2002; FAO, 2009).

No Brasil, o aumento da procura de produtos de origem animal conduz ao crescimento da produção pecuária. No caso particular da suinicultura, a produção torna-se industrial, com redução da área agrícola por animal alojado e conseqüente aumento da concentração de chorumes produzidos, provocando poluição da água, do ar e do solo (MIRANDA, 2005).

Neste sentido, é importante o desenvolvimento de estratégias definidas que atuem na mitigação do impacto ambiental e promoção da sustentabilidade agropecuária, através do controlo e monitorização das atividades potencialmente poluidoras.

O Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU), integrante do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (ENS/UFSC), em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Suínos e Aves, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e a Petrobras Ambiental, desenvolve, desde do ano de 1994, pesquisas viradas para o desenvolvimento da atividade suinícola no Estado de Santa Catarina, no Sul do Brasil, abordando, entre outros temas, o planeamento, gestão, tratamento, distribuição e reutilização de chorumes.

Foram iniciadas também pesquisas relativas à sustentabilidade na suinicultura, envolvendo água, chorume e gases, onde se enquadra a temática de análise desenvolvida na presente dissertação (TAVARES; 2012).

O estudo realizado na presente dissertação integra-se no Projeto EMBRAPA/ FAPESC 2013TR3968 «Determinação do consumo de água, da geração de chorumes e da emissão dos gases de efeito estufa, em unidades produtoras de leitões», desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Suínos e Aves, (EMBRAPA, Suínos e Aves) de Concórdia, com o apoio da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação no Estado de Santa Catarina (FAPESC), da Brasil Foods (BRF) e da Associação das Indústrias de Carnes e Derivados de Santa Catarina (AINCADESC), no período de Novembro de 2013 a Dezembro de 2015.

1.2. Objetivo e Hipóteses

O objetivo geral do presente trabalho foi alargar e aprofundar o conhecimento no domínio da sustentabilidade ambiental em agropecuária e produzir informação científica sobre qualidade do ar em unidades de produção suína, para a fase fisiológica de gestação. São objetivos específicos:

- Determinar a concentração dos gases em estudo (CO_2 , NH_3 , CH_4 , N_2O), sob regime de ventilação natural, avaliando a influência do horário de amostragem;
- Determinar os fatores de emissão dos gases em estudo para uma unidade modelo, no Período de Inverno, avaliando a influência do sistema de alojamento no resultado final.

Como hipóteses de pesquisa admite-se que:

- Existe diferença na concentração de gases em salas de gestação de suínos, em regime de ventilação natural, em função do horário de amostragem (matutino ou vespertino);
- Existe diferença nas concentrações e fatores de emissão de gases em função das diferenças no alojamento (box individual ou baia coletiva).

1.3. Fundamentação

O desenvolvimento acelerado da suinicultura brasileira, provocado pelas exigências do mercado externo e interno que acompanharam a “Revolução Pecuária”, promoveram a adoção maioritária de sistemas intensivos de produção, nomeadamente pela implementação de Sistemas de Produção de Animais Confinados - SPAC (MIRANDA, 2005; HIGARASHI et al., 2010; TAVARES, 2012).

Este tipo de sistema (SPAC), em geral vantajoso do ponto de vista do controlo da produtividade, é gerador de desequilíbrios ecológico nas regiões de maior pressão produtiva, gerando impactos ao nível da biodiversidade, da exploração dos recursos naturais (utilizados como insumos na suinicultura – solo e água) e do aumento da poluição dos recursos hídricos e da atmosfera (Figura 1). Mais concretamente, a produção em regime confinado provoca um aumento do volume de chorume produzido diariamente e intensifica a emissão de gases e poeiras para o meio ambiente (MIRANDA, 2005; PETERSEN AND MILLER, 2006; ROBIN et al., 2010; AMORIM, 2011; TAVARES, 2012).

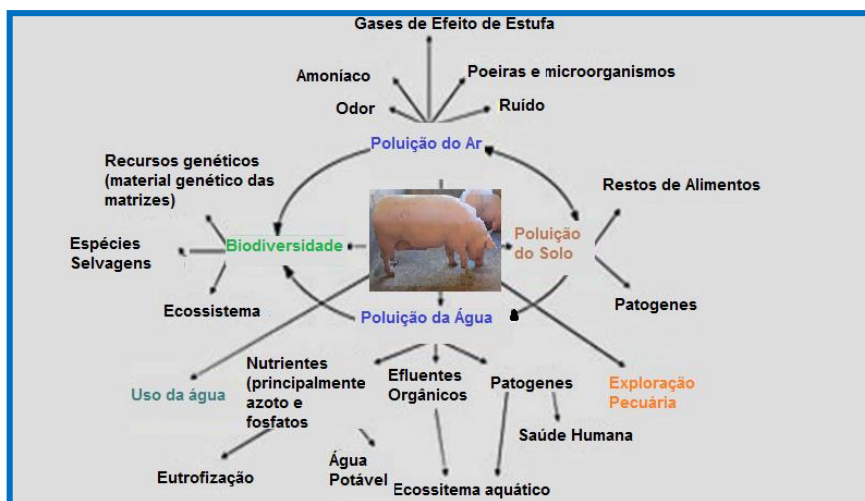


Figura 1 - Impactos Ambientais na Suinicultura (adaptado de AMORIM, 2011)

É importante, por isso, criar sistemas de produção sustentáveis, que permitam o suprimento das necessidades humanas de proteína animal, sem comprometer o desenvolvimento populacional em redor dos centros produtivos (TAVARES, 2012). A existência de legislação adequada, metodologias de fácil execução e tecnologias acessíveis, constituem instrumentos fundamentais na adequação das ações às normas, permitindo viabilizar o desenvolvimento sustentável e contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das populações rurais (MIRANDA, 2005).

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a monitorização e recolha de dados de libertação e concentração e o cálculo dos fatores de emissão para os GEE e NH₃ em explorações de produção suína localizadas na Meso região Oeste de Santa Catarina, acompanhando porcas em fase fisiológica de gestação.

De acordo com AMORIM (2012) os estudos relativos à emissão de GEE e NH₃ em explorações pecuárias, no Brasil, são ainda pouco desenvolvidos. De facto, segundo a mesma fonte, a maioria dos dados de emissão utilizados têm por base referências internacionais, sendo as estimativas de emissão de GEE e NH₃ baseadas, maioritariamente, em metodologias descritas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), podendo não se enquadrar com os sistemas e condições ambientais de produção no Brasil. Desta forma, torna-se importante a medição dos GEE e NH₃ em tempo real e em unidades que estejam operando em regime normal.

A gestação, pela complexidade fisiológica que apresenta, é uma fase do ciclo de produção suína ainda pouco estudada na área da sustentabilidade, no Brasil. A escassez de estudos relativos à produção e emissão de gases e a complexidade da fase fisiológica analisada, bem como a particularidade das condições de alojamento analisadas (dois alojamentos separados consoante o avanço na prenhez, ambos em regime de ventilação exclusivamente natural) motivou a escolha da fase fisiológica para objeto de análise e a emissão de gases para objeto de estudo.

1.4. Suinicultura no Mundo

A carne suína é a principal fonte de proteína animal do mundo, representando cerca de 37% do total de carne consumida no planeta, como mostra a Figura 2 (MCGLONE, 2013).

O maior consumo *per capita* é o da União Europeia, seguida da Europa Continental e América do Norte (SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO – DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL (SEAB-DERL), 2015).

Tipo de Carne	Carne consumida, 2012 (mmc)	% de Carne
Suína	110.8	37.4%
Avícola	104.5	35.3%
Bovina	66.8	22.6%
Caprina	13.9	4.7%
Total	296.0	100.0%

Figura 2 - Quantidade de Carne (mmc - milhões de metros cúbicos) e percentagem consumida no mundo (MCGLONE, 2013)

A produção mundial de carne suína para o ano de 2014, foi estimada em 110,606 milhões de toneladas, concentrando-se maioritariamente na China, União Europeia (EU-27), Estados Unidos e Brasil. A China continua a liderar o mercado, detendo mais de 50% do total de produção, sendo a EU-27 o segundo maior produtor. O Brasil está inserido nos 19% que representam a contribuição dos países de fora da União Europeia, Estados Unidos e China (Figura 3 e Figura 4).



Figura 3 - Produção Mundial de Carne Suína em 2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA), 2015)

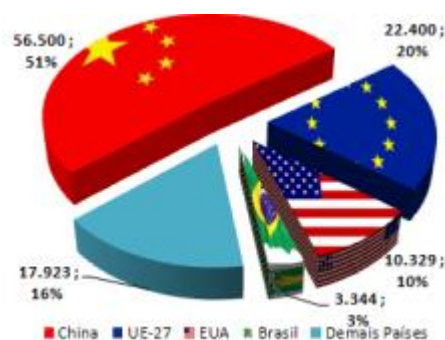


Figura 4 - Produção relativa de carne suína em 2014 (SEAB-DERL, 2015)

O rebanho mundial de suínos foi estimado em 798,5 milhões de cabeças em 2014, sofrendo um abatimento de 0,46% em relação a 2013 (SEAB-DERL, 2015). Não obstante, a UE-27 continua a ser detentora do segundo maior rebanho do mundo e o Brasil do quarto (Figura 5).

País / Bloco	2012	2013	2014
China	468.627	475.922	474.113
UE-27	149.809	146.982	146.129
EUA	66.259	66.224	64.775
Brasil	38.336	38.577	38.844
Demais Países	70.712	74.495	74.648
Total	793.743	802.200	798.509

Figura 5 - Rebanho Mundial de Suínos, por ano (SEAB-DERAL, 2015)

No mercado de exportações, que totalizaram 6,857 milhões de toneladas em 2015, a EU-27 ocupa o segundo lugar (2150 milhões de toneladas) e o Brasil o quarto lugar (505 milhões de toneladas) (ABPA, 2015).

1.5. Suinicultura no Brasil

No Brasil, a suinicultura é realizada de forma intensiva e maioritariamente integrada na indústria, com o objetivo de evitar as oscilações pontuais que afetam a produção e a rentabilidade dos produtores. Atualmente, apenas 25% da produção é realizada de forma independente (SEAB-DERAL, 2013; SEAB-DERAL, 2015).

A integração na indústria é feita através de contratos de produção (ou parceria), sendo as diversas etapas de produção cobertas por contratos de parceria distintos. No caso particular da suinicultura, é frequente a definição de contratos de parceria específicos para cada fase fisiológica (VUKINA, 2003).

Os contratos de produção (ou contratos de parceria), baseiam-se no estabelecimento de parâmetros mínimos de qualidade do produto final (MIELE e WAQUI, 2007), restringindo o produtor a práticas de produção específicas. Neste tipo de contrato, a indústria integradora decide o volume de produção das unidades, a frequência de rotação de lotes¹ e a densidade de animais alojados (VUKINA, 2003).

As responsabilidades são partilhadas, sendo a indústria integradora responsável pelo fornecimento de ração, leitões, serviços de veterinária, comercialização, genética e assistência de gestão (cobrindo cerca de 80% dos custos de produção) e os produtores responsáveis por garantir a mão-de-obra, instalações, água, equipamentos e por cumprir as leis federais ou estatais de gestão de chorumes e carcaças de animais (MIELE E WAQUI, 2007; VUKINA, 2003).

Em 2014, a produção suinícola brasileira sofreu um aumento significativo, atingindo os 3,2 milhões de toneladas de carne (SEAB-DERAL, 2015). Do total produzido, 85% destinou-se a abastecer o mercado interno e 14,4% ao mercado externo (Figura 6).

¹ Lote – número de animais criados num ciclo de produção.

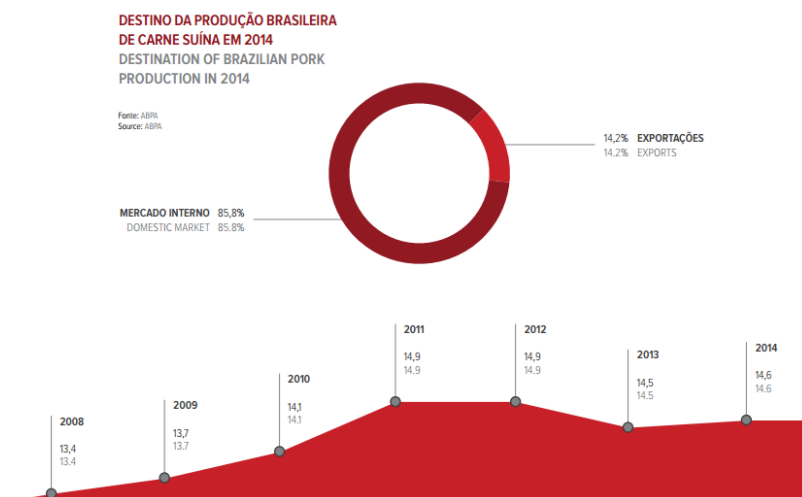


Figura 6 - Destino da produção suína no Brasil (ABPA, 2015)

O consumo *per capita* de carne suína, ilustrado pelo gráfico de barras da Figura 7, apresenta uma tendência de estabilização, verificando-se diferenças pouco significativas nos valores totais ao longo do tempo.

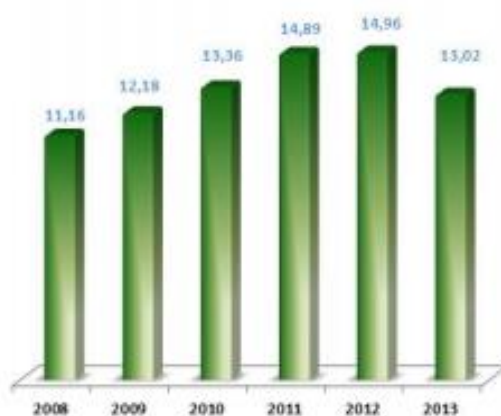


Figura 7 - Consumo *per capita* de carne suína no Brasil (kg), 2008 a 2013 (SEAB-DERAL, 2015)

O rebanho nacional registou, em 2014, um efetivo de 37,93 milhões de cabeças. A Região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), é detentora de cerca de metade dos efetivos totais, seguida das regiões Sudeste (18,5%), Nordeste (14,9%) e Centro-Oeste (13,8%). O efetivo de matrizes², correspondendo a 12,5% do total de cabeças, concentra-se majoritariamente no Estado de Santa Catarina (14,4%), seguido do Paraná (13,7%) e Rio Grande do Sul (12%) (SEAB-DERAL, 2015; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2014).

Em Concórdia, no Oeste do Estado de Santa Catarina, o efetivo de suínos totalizou as 338,112 milhões de cabeças em 2014 (com um efetivo de matrizes 29,066 milhões de cabeças).

Verificou-se, ainda, um acréscimo do abate suíno em relação ao abate bovino, em função do aumento dos custos de produção e comercialização do gado de corte, cuja oferta decaiu substancialmente como consequência da crise hídrica. O efetivo total de abate suíno totalizou

² Matrizes de suínos: Total de fêmeas de suínos da espécie *Sus scrofa* destinadas à reprodução, ainda que não tenham reproduzido (IBGE, 2014).

36,28 milhões de cabeças, com uma taxa de aproveitamento total do rebanho estimada em 99%. A região Sul contribui com 65% do total de cabeças (IBGE, 2014; SEAB-DERAL, 2015).

1.5.1 Santa Catarina

A suinicultura é uma atividade de alto valor económico em Santa Catarina, sobretudo na região Oeste, onde atua como geradora de empregos e envolve um elevado contingente de produtores (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DOS CRIADORES DE SUÍNOS (ACCS), 2013).

O Estado de Santa Catarina detém cerca de 17% do total de efetivos suínos do Brasil e contribui com 37% do total de exportações a nível nacional (Figura 8), destacando-se como o segundo maior produtor e o principal exportador de carne suína do país (ACCS, 2013; IBGE, 2013; ABPA, 2015).

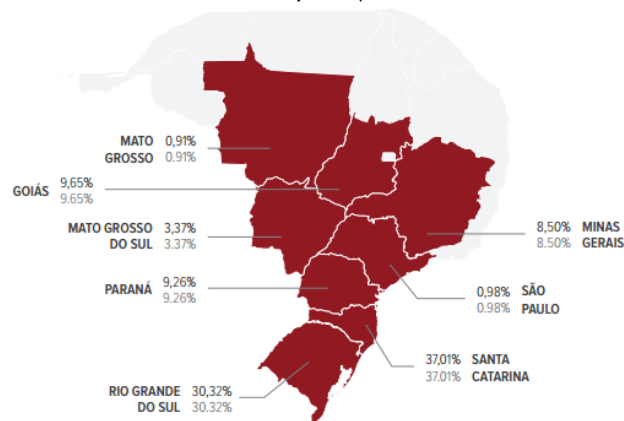


Figura 8 - Contribuições relativas dos Estados Brasileiros para o mercado de exportação (ABPA, 2015)

De forma semelhante ao verificado no resto do país, a produção é essencialmente intensiva, desenvolvendo-se segundo objetivos de maximização do peso corporal em condições mínimas de espaço e tempo: os animais são alojados em edifícios de pequena dimensão e alimentados de forma específica em cada fase. Os efetivos são, por vezes, sujeitos a melhoramentos genéticos com vista a otimizar a produção. Existe planeamento prévio de todas as ações e atividades, que são levadas a cabo por mão-de-obra e assistência especializadas, dando importância particular a aspetos de ordem técnica. Este tipo de sistema constitui uma fonte potencial de poluição, induzindo a má gestão de chorume na forma líquida e favorecendo o lançamento de efluentes sem tratamento prévio para o meio ambiente (CURSO SOBRE PRODUÇÃO AGROECOLOGICA DE SUINOS, 2000).

2 Problemática Ambiental

2.1 Chorume de Suíno

O chorume suíno originado nos SPAC é um efluente composto por fezes, urina, resíduos de ração, excessos de água provenientes dos bebedouros e excessos de água decorrentes da higienização das instalações e dos animais.

A quantidade total de chorume produzida por um suíno depende essencialmente da alimentação a que está sujeito, do desperdício associado aos bebedouros instalados e do volume de água utilizado para higienização (KONZEN, 1997). Em Santa Catarina, as Unidades Produtoras de Desmamados (UPD), onde decorrem as fases fisiológicas de Gestação e Maternidade, produzem um volume diário de chorume estimado em 22,8 l/animal/dia (FUNDESA, 2014).

Quando degradado, o chorume produzido é responsável por um aumento das emissões de gases e poeiras para a atmosfera, produzindo cerca de 40 compostos gasosos já identificados e gerando impactos negativos para a saúde animal e humana (PERDOMO, LIMA, NONES, 2001).

Por outro lado, as construções de confinamento em que se realiza a produção animal propiciam a concentração acentuada de gases no seu interior, conduzindo também a situações de insalubridade para o trabalhador e para o suíno, sobretudo em países onde a temperatura é mais elevada (SILVA et al., [S.D]; BARRASA et al, 2012). De facto, cerca de 50% dos suínos criados em sistema confinado apresentam problemas de saúde, e uma grande parte dos produtores apresenta danos no sistema respiratório, possivelmente derivados da exposição permanente a ambientes concentrados em poeira e gases (PERDOMO, LIMA, NONES, 2001).

A minimização dos impactos ambientais decorrentes dos elevados volumes de chorume produzido tem por base uma gestão adequada, com recolha, armazenamento, tratamento e distribuição dos chorumes produzidos, com vista à sua valorização agronómica e redução do poder poluidor (FUNDESA, 2014).

A recolha e armazenamento são efetuados em canaletas externas ao edifício, ou fossas internas localizadas no interior das salas, abaixo do nível de alojamento dos suínos (Figura 9). Do local de armazenamento, o chorume é enviado por gravidade para sistemas de esterqueiras ou biodigestores, onde é realizado o tratamento (AMARAL et al., 2006; PETERSEN AND MILLER, 2006; OLIVEIRA E HIGARASHI, 2006; ROBIN et al., 2010; FUNDESA, 2014).



Figura 9 - Sistemas de fossas internas, abaixo do piso do animal

Adicionalmente, Santa Catarina possui ainda instruções normativas específicas que servem de apoio aos processos de licenciamento ambiental, visando a melhoria da qualidade do ambiente nas regiões de produção mais intensa (nomeadamente, a região Oeste do Estado).

No entanto, o deficiente dimensionamento dos sistemas de armazenamento e tratamento, aliado ao volume de chorume produzido e à falta de critério da agroindústria para responder às exigências do órgão legislador, tornam difícil para alguns produtores o cumprimento de tais normas, resultando na aplicação incorreta e no desrespeito do período de armazenamento legal, volumes legislados e recomendações de adubação (TAVARES, 2012).

Consequentemente, os efluentes tendem a ser libertados para o meio ambiente sem controlo ou tratamento adequado, constituindo a principal causa de problemas ambientais associados ao desenvolvimento da atividade suinícola (PERDOMO, LIMA, NONES, 2001; MOHEDANO et al., 2013; TAVARES, 2012).

2.2 Emissões Gasosas

2.2.1 Efeito de Estufa

O Efeito de Estufa é um fenómeno natural de controlo da temperatura do globo terrestre, contribuindo de forma essencial para a manutenção da integridade da biosfera: os gases existentes nas camadas inferiores da atmosfera (os GEE) intercetam e absorvem a energia infravermelha emitida pela Terra e irradiam uma parte dessa energia de volta para a superfície. Como resultado, assiste-se a um aquecimento da superfície terrestre, que permite a manutenção dos níveis térmicos do globo em valores sensivelmente constantes (FEDERATION DES PRODUCTERS DE PORCS DU QUEBEC (FPPQ), 2009; SILVA E PAULA, 2009).

No entanto, a concentração elevada de GEE na atmosfera poderá conduzir a um aumento gradual da temperatura da Terra, perturbando os fluxos energéticos entre o solo e a água e causando mudanças climáticas e transformações aos ecossistemas terrestres – o Aquecimento Global (FPPQ, 2009; GERBER, 2013).

O Aquecimento Global poderá ser causado por fatores internos, associados a sistemas climáticos inconstantes (atividade solar, composição atmosférica, atividade vulcânica e tectónica de placas) e externos, associados a atividades antropogénicas nos sectores industrial, energético e agropecuário

(SILVA E PAULA, 2009; UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2015). A pecuária contribui com 14,5% das emissões globais de GEE (em quantidade de carbono equivalente), sendo 9% dessas emissões devidas à atividade suinícola (GERBER et al., 2013).

Os principais GEE emitidos em agropecuária são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). O amoníaco (NH₃) embora não seja considerado um GEE, tem uma influência indireta no aumento do Efeito de Estufa e é indicado como um precursor das emissões de GEE para a atmosfera, dada a influência exercida no balanço de massa de azoto – balanço de massa de N (IPCC, 2006; EPA, 2015; FPPQ, 2009).

2.2.2 Dióxido de Carbono (CO₂)

Em explorações de produção suína, a presença de CO₂ é fundamentalmente devida às quantidades libertadas no chorume e à atividade respiratória dos animais alojados (NI et al., 1999; NICKS et al., 2003; PEDERSEN et al., 2008).

O CO₂ libertado durante a respiração dos animais está relacionado com o quociente respiratório, definido como o quociente entre o volume de CO₂ produzido e o volume de O₂ consumido durante o processo (PEDERSEN et al., 2008; PHILIPPE et al., 2014). Este quociente é variável, sendo maior para maiores quantidades de ração fornecida, variando de 0,8 a 1,2. Para matrizes reprodutoras, tal quociente é estimado em 0,90 (VAN OUWERKERK AND PEDERSEN, 1994; PEDERSEN et al., 2008).

A exalação de CO₂ pode ainda ser determinada por via indireta, através dos modelos de produção de calor durante o crescimento, manutenção, termorregulação e, no caso de matrizes gestantes, produção de leite (NOBLET et al., 1989 citado em PHILIPPE AND NICKS., 2014). A estimativa do calor produzido deve ter em conta o peso corporal e nível de produção dos animais, por exemplo, a quantidade de alimento consumido (CIGR, 2002).

O CO₂ produzido a partir do chorume é originado por três vias distintas: catalisado pela enzima urease no processo de hidrólise da ureia a NH₃, fermentação anaeróbia da matéria orgânica e degradação aeróbia da matéria orgânica (PHILIPPE AND NICKS, 2014).

No chorume líquido, os dois últimos processos (fermentação anaeróbia da matéria orgânica e degradação aeróbia da matéria orgânica) tomam igual relevância para temperaturas de 20°C, prevalecendo as reações aeróbias para temperaturas inferiores (MOLLER, HANSEN, SOMMER, 2003).

O CO₂ é originado na fração sólida do chorume essencialmente por processos aeróbios de degradação da matéria orgânica (compostagem), em condições termofílicas (HELLMAN et al., 1997; OLIVEIRA et al, 2008). Este tipo de processos é largamente influenciado pelas características físico-químicas do composto, tais como temperatura, pH, conteúdo em humidade, quociente carbono/azoto (C/N), estrutura física e degradabilidade dos compostos orgânicos (BIDONE, 2001).

2.2.3 Metano (CH₄)

No contexto da produção agropecuária, o CH₄ é formado essencialmente por processos que envolvem a degradação da matéria orgânica por bactérias anaeróbias, no trato digestivo dos suínos e no próprio chorume (PHILLIPE et al., 2014).

Assim, este poderá originar-se na fermentação entérica ou ser libertado na sequência de processos microbianos ocorrendo no chorume (FPPQ, 2009; GERBER et al., 2007; STEINFELD, 2006).

A formação de CH₄ por fermentação entérica é influenciada pelo conteúdo alimentar da ração e pela capacidade fermentativa do estômago dos animais. Deste modo, a quantidade de CH₄ produzida varia de forma proporcional ao conteúdo em fibra presente na ração, isto é, a dietas com maiores conteúdos em fibra está associada maior produção de CH₄ (LE GOFF et al., 2002a; GERBER, 2013). De acordo com LE GOFF et al (2002a) a capacidade fermentativa dos suínos depende da fase fisiológica em que se encontram, sendo mais elevada em porcas adultas, como resultado do aumento da capacidade de ingestão de alimento e digestão de fibra.

Os locais de armazenamento do chorume constituem ambientes anaeróbios, favoráveis à conversão de compostos carbonados a CH₄ (FPPQ, 2009). Deste modo, o CH₄ originado no chorume suíno é produto de reações microbianas sucessivas, iniciando-se com a degradação de substratos biodegradáveis a ácidos gordos voláteis, CO₂ e hidrogénio, posteriormente convertidos a CH₄ por bactérias metanogénicas (HELLMANN, 1997; GERBER, 2013).

Segundo o IPCC (2006), a produção de CH₄ no chorume poderá ser dimensionada recorrendo as quantidades de sólidos voláteis (SV) ou matéria orgânica (MO) excretada no chorume, o potencial em CH₄ de cada componente, e o fator de conversão em CH₄, segundo a equação (1)

$$ECH_4 = EXC \times B_o \times MCF \quad (1)$$

onde

ECH₄ – Emissão de CH₄ (m³)

EXC – Termo correspondente à quantidade de SV ou MO excretados no chorume (kg)

B_o – Potencial em CH₄ (m³CH₄/kg)

MCF – Fator de Conversão (%)

IPCC (2006) recomenda a adoção de diferentes quantificações para os parâmetros apresentados (SV e MO), devido à sua natureza variável com o tipo de clima, região, tipo de chorume e categoria de gado.

2.2.4 Óxido Nitroso (N₂O)

Ao nível da produção agropecuária, especificamente da suinicultura, o N₂O é formado através dos processos de nitrificação e desnitrificação das bactérias presentes no chorume (Figura 10). A contribuição de cada um desses processos está ainda por determinar; no entanto, sabe-se que a

formação de N_2O requer condições maioritariamente mesofílicas, combinando zonas de aerobiose e anaerobiose (HELLMAN, 1997; PHILIPPE AND NICKS, 2014).

A nitrificação é um processo de conversão de NH_3 a nitrato por bactérias autotróficas, sob condições aeróbias e de pH superior a 5 (KEBREAB et al., 2006). O N_2O é um subproduto da conversão, cuja origem é promovida por condições de anaerobiose (PHILIPPE AND NICKS, 2014).

A desnitrificação é um processo de redução do nitrato a diazoto (N_2), por bactérias heterotróficas facultativas, sob condições de anaerobiose. Neste caso, os produtos azotados são utilizados como aceitadores finais de eletrões, sendo o N_2O formado quando a reação é incompleta (PETERSEN AND MILLER, 2006; KEBREAB et al., 2006).

A acumulação de nitrato promove a oxidação da matéria orgânica a NH_3 , por um processo aeróbio de desnitrificação nitrificadora. Em ambientes naturais, o N_2O poderá também originar-se por reação annamox, ou seja, da oxidação de matéria orgânica a NH_3 por via anaeróbia (PETERSEN AND MILLER, 2006).

A emissão de N_2O é mais elevada no chorume sólido que no chorume líquido. IPCC (2006) indica que as emissões de N_2O devem ser estimadas multiplicando as quantidades de N excretadas por um fator de conversão específico, previamente estipulado, consoante o sistema de gestão aplicado a cada chorume.

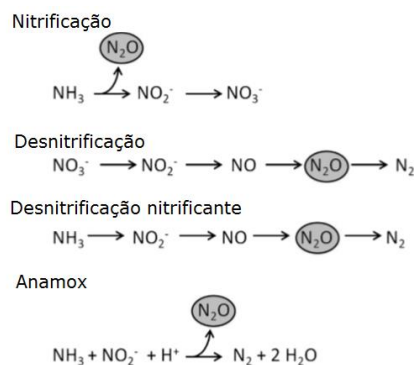


Figura 10 - Processos de formação do Óxido Nitroso (adaptado de PHILIPPE AND NICKS, 2014)

2.2.5 Amoníaco (NH_3)

O NH_3 é o composto alcalino mais abundante na atmosfera, exercendo particular influência sobre o ciclo biogeoquímico do azoto (N), a formação de material particulado na atmosfera e a formação de GEE (HARPER, SHARP, PARKIN, 2000; BEHERA et al., 2013). De acordo com FAO (2014), o NH_3 é uma das principais fontes de poluição da água e atmosfera, cujos efeitos poluentes não são localizados, podendo estender-se a uma área de influência alargada em relação à vizinhança do local de emissão.

No contexto da exploração pecuária, é importante referir que o NH_3 é um gás asfíxiante simples e irritante das vias respiratórias, que em concentrações superiores a 50 ppm (ou a 20 ppm, de acordo com os limites estipulados pelo Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), em

2002), poderá influenciar negativamente o desempenho zootécnico, a qualidade de vida e a produtividade dos animais alojados nas instalações de produção (PERDOMO, LIMA, NONES, 2001; AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2004).

Em suinicultura, o NH₃ é libertado do chorume animal pela ocorrência de três processos (Figura 11): mineralização do N orgânico; assimilação do N pela matéria orgânica; processos combinados de nitrificação e desnitrificação (DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (DEPA), 2014; PHILIPPE, CABARAUX, NICKS, 2011).

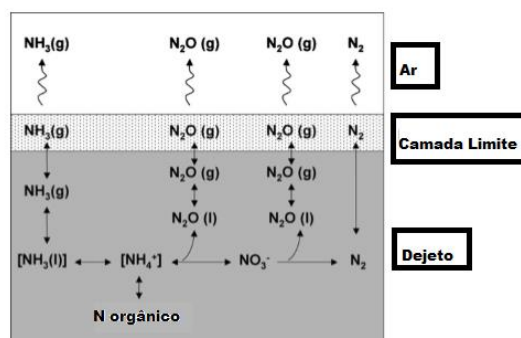


Figura 11 - Transformações de N e emissões para a atmosfera pelo chorume pecuário: NH₃ - amoníaco; NH₄⁺ - ião amoníaco; N₂ – diazoto; N₂O - óxido nítrico; NO₃⁻ - nitrato (adaptado de PHILIPPE, CABARAUX, NICKS, 2011)

A mineralização de N orgânico a NH₃ é resultado da atividade de bactérias heterotróficas, produzindo energia para o crescimento bacteriano (PHILIPPE, CABARAUX, NICKS, 2011).

No chorume, a principal fonte de NH₃ é a hidrólise da ureia pela enzima urease, segundo a reação (1), originando ião amoníaco em meio aquoso (PHILIPPE, CABARAUX, NICKS, 2011; BEHERA et al., 2013).



A atividade enzimática é influenciada essencialmente pela temperatura e pH, sendo a sua região ótima situada, respetivamente, entre os 5°C a 60°C e pH 6 a pH 9 (SOMMER et al., 2006). Uma vez que o chorume suíno possui, normalmente, pH na faixa dos 7 a 8,4 pode-se afirmar que existem condições para a hidrólise total da ureia, possibilitando a libertação de grandes quantidades de NH₃ para a atmosfera (PHILIPPE, CABARAUX, NICKS, 2011).

O processo de dissociação de N amoniacal total (TAN) a NH₃ é, também, determinado pelos valores de pH e temperatura, uma vez que estes irão influenciar o equilíbrio de ionização deste composto na fase líquida. Se a temperatura for elevada ou o valor de pH superior a 7, o N amoniacal aparecerá, maioritariamente, sobre a forma de NH₃; caso contrário, ele será ionizado a NH₄⁺ (PHILIPPE AND NICKS, 2014).

A volatilização do NH₃ é diretamente proporcional à fração de N amoniacal presente no chorume. O N em fase gasosa é volatilizado segundo a Lei de Henry. O equilíbrio líquido/gasoso é exclusivamente dependente da temperatura, de tal modo que a elevação da temperatura do meio conduzirá a uma libertação mais acentuada de NH₃ no estado gasoso (GROOT KOERKAMP et al., 1998).

A assimilação de N consiste na incorporação de N aos compostos orgânicos por ação de bactérias aeróbias ou anaeróbias, sendo dependente da razão C/N dos compostos. Razões C/N mais elevadas conduzem a maiores taxas de assimilação, incorporando praticamente todo o N na biomassa microbiana. Neste sentido, o armazenamento de chorume em ambientes aeróbios é favorável à redução das emissões de NH_3 para a atmosfera (PEREIRA et al, 2012; SOMMER et al, 2006)

De acordo com o esquema representado na Figura 11, os processos de nitrificação e desnitrificação desenvolvem-se através da oxidação (a dióxidos e trióxidos de N) e da redução (a N_2) de N amoniacal, respetivamente.

2.3 Emissão e Parâmetros de Emissão de gases

A produção suinícola é responsável por cerca de 9% das emissões totais de GEE atribuídas à pecuária, que totaliza 14,5% das emissões antrópicas para este tipo de gases (GERBER, 2013). De acordo com o enunciado por PHILIPPE, CABARAU, NICKS (2011), a emissão de NH_3 está estimada em 15% do total emitido pelo sector pecuário, que contribui com 39% das emissões totais de NH_3 para a atmosfera (Figura 12)

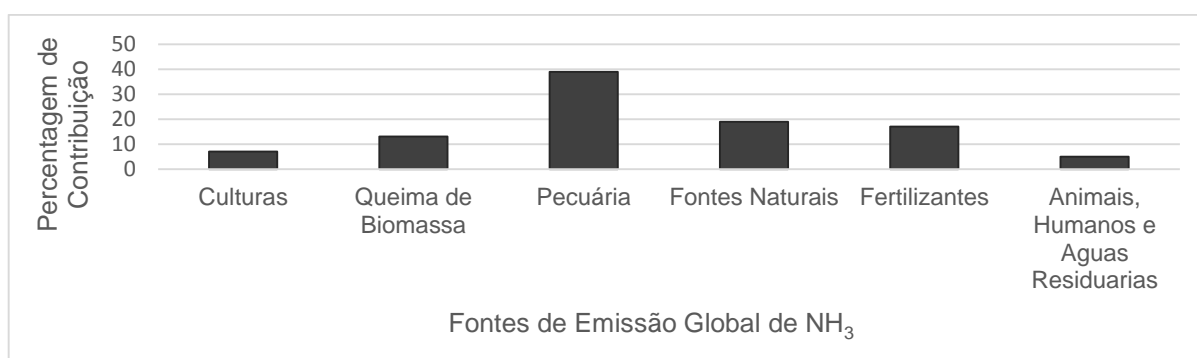


Figura 12 - Contribuição relativa das fontes de emissão global de NH_3 (adaptado de PHILIPPE, CABARAU, NICKS, 2011)

Na atividade pecuária, as emissões serão, maioritariamente, influenciadas pelo tipo de gestão associada ao chorume, tipo de piso do alojamento, tipo e taxa da ventilação implementada, nutrição dos animais e condições climáticas da região onde se localizam (DOURMAD, POMAR, MASSÉ, 2003; PANETTA et al., 2006; YE et al., 2008; HRISTOV et al., 2013; DEPA, 2014; PHILIPPE, CABARAU, NICKS, 2011; PHILIPPE AND NICKS, 2014).

2.3.1 Ventilação

A ventilação adotada terá influência na taxa de dissipação do calor produzido pelos animais, bem como no grau de concentração e intensidade de dispersão dos gases a considerar, observando-se relações de proporcionalidade entre a taxa de emissão e os níveis de temperatura e entre a taxa de ventilação e fluxo de ar atravessando os edifícios, afetando a produtividade dos animais alojados (PANDORFI, 2005; PANDORFI, SILVA E PIEDADE, 2008).

No Brasil, onde a maioria das explorações de produção suína funcionam em regime aberto, recorrendo a ventilação natural, a dispersão de gases no ambiente dos animais poderá ser dificultada pela circulação irregular do vento (SAMPAIO e NAAS, 2001).

De acordo com COUTINHO et al. (2014), a velocidade e a distribuição do fluxo de ar são diretamente afetados pela posição e pelo tamanho das aberturas de passagem de ar, sendo que o uso de aberturas grandes na lateral dos edifícios e a utilização de cortinas facilitam a entrada e a circulação do ar nas instalações.

Na fase de gestação, o alojamento é efetuado em regime aberto, recorrendo a ventilação exclusivamente natural, caracterizada pela utilização de cortinas de lona reguladas de acordo com as condições climatéricas e necessidades térmicas dos animais alojados. Para garantir uma boa ventilação no interior do edifício de alojamento, é ainda aconselhado o uso de paredes laterais internas e externas, ripadas com placas pré-fabricadas, usualmente de cimento (EMBRAPA, 2003).

2.3.2 Nutrição

A manipulação das rações, fornecidas nas unidades de produção suína, poderá constituir uma metodologia eficaz na redução do nível de emissão de GEE e NH_3 nas instalações.

A redução do conteúdo em proteína bruta e a adição de suplementos aminoácidos às rações fornecidas em explorações de criação suína promoverá a redução da fração de N excretada pelos animais, promovendo, assim, a redução das emissões de NH_3 para a atmosfera (PANETTA et al., 2006; BOTERMANS et al., 2010)

O aumento do conteúdo em fibra na dieta promoverá o aumento da população microbiana que se desenvolve nos intestinos, causando um aumento dos níveis de N excretados no chorume sólido (processado de forma lenta pelas bactérias aí existentes) e uma redução dos níveis de N excretados no chorume líquido (sob a forma de ureia, rapidamente volatilizada a NH_3 pela enzima urease). Mais ainda, o aumento do conteúdo em fibra poderá conduzir a um decréscimo do pH do chorume líquido, devido à formação de ácidos gordos voláteis decorrente de processos fermentativos a decorrer no chorume (CAHN et al., 1998; BOTERMANS et al. 2010). Desta forma, o aumento do teor em fibra da ração fornecida aos suínos promoverá a redução das emissões de NH_3 para a atmosfera.

PHILIPPE et al. (2015) confirmaram, recentemente, que o aumento dos níveis de fibra na dieta de fêmeas em gestação influencia não só a emissão de NH_3 como a emissão de CH_4 para a atmosfera. De acordo com os autores, deste tipo de alimentação decorrerá o aumento potencial das emissões de CH_4 e a redução das emissões de NH_3 verificadas para a fase fisiológica.

2.3.3 Fase fisiológica

A fase fisiológica influencia as emissões de NH_3 para a atmosfera, essencialmente devido às diferenças no conteúdos e regimes alimentares, balanceados com as características físicas e biológicas inerentes a cada período de crescimento, como a produção de calor e o peso corporal.

Assim, a adoção de um regime de alimentação por fases ou separada por sexo, formulando rações adequadas às necessidades nutricionais específicas consoante o sexo e a fase fisiológica, é uma medida eficaz na redução da quantidade de nutrientes excretada pelos suínos, podendo contribuir para a redução das quantidades de GEE e NH₃ libertadas pelo chorume (SUTTON, 2008).

Na fase fisiológica de gestação, a dieta é, normalmente, faseada e restrita, baseando-se em rações com baixos teores em proteína bruta e altos teores em fibra.

De acordo com o documentado em PHILIPPE AND NICKS (2014), os fatores de emissão estimados para o NH₃, durante o período, apresentam reduções de cerca de 40% em relação ao período de lactação, estando estimados em cerca de 12,1g/dia. Da mesma forma, os fatores de emissão de GEE são, globalmente, mais reduzidos do que nas restantes fases fisiológicas documentadas na literatura.

2.4 Limites de Exposição Animal e Humana

A qualidade do ar influencia, diretamente, a saúde animal e humana, afetando os sistemas respiratório, ocular e cutâneo e constituindo um importante campo de estudos a nível sanitário.

Atualmente, as indicações quanto aos limites de exposição a determinados poluentes atmosféricos estão ainda limitadas às concentrações propícias ao bem-estar do ser humano, existindo poucas referências no que concerne à saúde dos animais alojados.

A criação intensiva de animais em confinamento veio trazer sérios problemas de qualidade do ar, levando a Comunidade Europeia à criação de normativos regulamentadores das concentrações e taxas de emissão dos poluentes derivados da atividade.

No Brasil, a área de estudos é ainda relativamente recente; no entanto, já se verifica alguma preocupação em adotar medidas de redução das emissões de poluentes atmosféricos, sobretudo na sua forma sólida e líquida, com ênfase recente na vertente gasosa (SAMPAIO e NAAS, 2001).

STINN (2014), baseado em dados recolhidos em unidades de produção suína dotadas de ventilação forçada (situadas em Iowa, nos Estados Unidos), propõe as concentrações limite de referência no interior das edificações apresentados na Tabela 1

Tabela 1 - Concentrações limite de referência (ppm) para GEE e NH₃

Fase de Gestação	NH ₃	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Gestação Primária	9,7	1530	0,3	78,9
Gestação Avançada	9,7	1542	0,3	77,7
Média	9,7	1536	0,3	78,3

A Tabela 2 apresenta um complemento teórico aos valores anteriormente indicados por STINN (2014), incluindo os estabelecidos por DONHAM (2002). O limite de exposição (LE) estabelecido pelo Health and Safety Executive é o indicado para períodos de exposição de 8h ou superiores a 8h.

Tabela 2 - Limites de Exposição (LE) de NH₃ (ppm) segundo dados da literatura

LE NH ₃	Humano		
	CIGR (1992)	Health and Safety Executive (2011)	DONHAM et al. (2002)
	10 – 20	25	7
	Animal		
	DEFRA (2002)	UK (British Pig Executive, 2004)	DONHAM et al. (2002)
	20	10	11

2.5 Valores de Referência

A Tabela 3 e a Tabela 4 resumem os dados de referência encontrados na literatura para fatores de GEE e NH₃ em unidades de produção suína, com alojamento de piso ripado e nas condições de ventilação adotadas por cada país.³

Tabela 3 - Valores obtidos para fatores de emissão de NH₃ (gNH₃/animal.dia) em unidades de produção com alojamento em piso ripado (PHILIPPE, CABARAUX, NICKS, 2011)

Valores	Referência citada	Fatores de emissão calculados
Valores teóricos	Hyde et al (2003)	8,3 ⁴
	Dourmad (1999)	15,9
	Van der Peet-Schwering et al (1999)	12,1
Valores experimentais	Philippe et al (2011)	12,8
	Hayes, Currana, Dodda (2006)	12,1
Média		12,1

³ Na Europa, as condições de ventilação são maioritariamente forçadas.

⁴ Este valor foi calculado para porcas gestantes pesando 200kg.

Tabela 4 - Valores obtidos para as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O (g/animal.dia) em unidades de produção com alojamento em piso ripado (PHILIPPE AND NICKS, 2014)

Fonte	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Philippe et al (2011)	2410	10,1	2,8
Média de valores na literatura (PHILIPPE AND NICKS, 2014)	3300	41,9	--

3 Gestação Suína

3.1 Caracteriza o da Fase Fisiológica

A fase fisiológica de gesta o   a fase do ciclo de prenhez das porcas, posterior   insemina o e que antecede a maternidade. Desenrola-se por um período de 114 dias.

3.2 Caracteriza o do alojamento e regime alimentar

As fêmeas reprodutoras são mantidas em salas de gesta o desde o desmame dos leitões (realizado ainda nas salas de maternidade) até aos 110 dias de gesta o; o alojamento nestas salas segue dois regimes distintos, determinados pelo avanço da prenhez.

Assim, do desmame dos leitões na maternidade e até 35 a 40 dias após a entrada nas salas de gesta o, o alojamento   efetuado em box individual, de piso compacto e espaço reduzido para movimentaa o da fêmea alojada (Figura 13). O objetivo   obter maior eficácia no controlo nutricional, controlo de retorno ao cio e insemina o artificial (EMBRAPA, 2003; RURAL NEWS, 2015).



Figura 13 - Alojamento em box individual

Após os primeiros 40 dias e até aos 110 dias de ciclo de gesta o, as porcas aumentam a massa corporal e o seu sistema mamário sofre altera es, entrando em atividade e ganhando mais volume (RURAL NEWS, 2015). O alojamento   então modificado, passando a efetuar-se em baias coletivas, de piso compacto e capacidade de alojamento de 4 a 10 porcas (Figura 14). O objetivo será promover melhor qualidade de vida às gestantes, fornecendo-lhes mais espaço de locomo o e diminuindo situa es de *stress* cr nico (EMBRAPA, 2003; MELCHIOR, 2012; RURAL NEWS, 2015).



Figura 14 - Alojamento em baia colectiva

Terminados os 110 dias, as matrizes são consideradas em período de pré-parto e são transferidas para a sala de maternidade.

Os requerimentos energéticos e proteicos das fêmeas em gestação dependem do peso do suíno, do peso que deverá ser adquirido durante a gestação e das necessidades associadas ao desenvolvimento da leitegada⁵. Atualmente, no Brasil, os programas alimentares para a fase fisiológica de gestação preconizam o fornecimento de uma ração única, cujo volume deverá ser ajustado de acordo com a condição corporal da fêmea gestante (HANNAS e ORLANDO, 2009).

O consumo de água, em porcas gestantes, é influenciado por fatores fisiológicos e comportamentais, sendo diferenciado nas duas etapas de gestação.

As porcas alojadas em boxes individuais tendem a consumir mais água e a brincar com os bebedouros como forma de colmatar a falta de atividade inerente ao seu confinamento, podendo criar condições de humidade ou secura extremas dentro da exploração agropecuária. Nestes casos, é aconselhável que a água seja fornecida na alimentação, ao invés de se utilizar bebedouros (PATIENCE, THACKER, LANGE, 1995).

3.3 Conforto de Matrizes Gestantes

Na fase fisiológica de gestação, é importante que haja um controlo adequado do ambiente interno, de modo a maximizar o conforto das fêmeas alojadas, garantindo boas condições de fertilidade e prolificidade (PANDORFI, SILVA E PIEDADE, 2008).

O sistema de classificação estabelecido por PANDORFI (2005), permite avaliar o conforto das matrizes alojadas nas salas de gestação, tendo em conta a relação entre a temperatura e a humidade relativa e a temperatura e a emissão de NH₃ no interior das instalações ao longo do tempo (Tabela 5 e Tabela 6)

⁵ Leitegada – conjunto de leitões que nasceram de um só parto (Dicionário Priberam da Língua Portuguesa).

Tabela 5 - Classificação do estado de conforto térmico como função da Temperatura (°C) e Humidade Relativa (%) estabelecida por PANDORFI (2005)

Intervalo de Humidade Relativa (%)	Intervalo de Temperatura (°C)				
	<12	[12-21]	[21-24]	[24-28]	>28
<70	muito bom	muito bom	bom	razoável	mau
[70-80]	bom	muito bom	bom	razoável	mau
>80	bom	bom	razoável	mau	mau

Tabela 6 - Classificação do estado de conforto térmico como função da Temperatura (°C) e concentração de NH₃ (ppm) estabelecida por PANDORFI (2005)

Concentração de NH ₃ (ppm)	Intervalo de Temperatura (°C)				
	<15	[15-20]	[20-25]	[25-30]	>30
<1	muito bom	muito bom	bom	razoavel	mau
[1-5]	bom	muito bom	bom	razoavel	mau
[5-10]	bom	bom	razoavel	mau	mau
>10	razoavel	razoável	razoavel	mau	mau

4 Material e Métodos

4.1 Enquadramento

O presente estudo desenvolveu-se para a fase fisiológica de gestação, considerando dois regimes de alojamento (box individual e baia coletiva), dois horários de amostragem (matutino e vespertino) e dois períodos do ano (período A e período B), com a duração de cinco semanas cada um.

O período A decorreu no Inverno, que, no Oeste Catarinense, se caracteriza pela existência de amplitudes térmicas diárias significativas, com temperaturas muito baixas e ocorrência pontuais de chuvas intensas e ventos ciclónicos. O período B decorreu no Verão, que se caracteriza pela existência de menores amplitudes térmicas diárias, com elevados índices de humidade e temperaturas muito altas.

Foram avaliadas salas de gestação de quatro unidades de produção (UP), agrupadas 2 a 2 - em pares de unidade modelo (UPM) e unidade controlo (UPC) - segundo o período do ano em que foram analisadas (1 unidade modelo UPMA e 1 unidade de controlo UPCA para o período de amostragem A; 1 unidade modelo UPMB e 1 unidade controlo UPCB para o período de amostragem B).

Para melhor compreensão dos processos inerentes ao consumo, produção e emissão de gases em cada dos regimes de alojamento (em box individual e baia coletiva) atrás mencionados, optou-se por estudar cada regime individualmente, considerando cada um como uma subfase distinta do ciclo de gestação.

Nomeou-se como G1 o regime de alojamento em box individual e como G2 o regime de alojamento em baia coletiva.

Foi estudada a produção de GEE e NH₃ em todas as UP analisadas; no entanto, pela morosidade e complexidade inerente à aplicação da Metodologia Simplificada para o cálculo dos fatores de emissão, foi impossível efetuar este cálculo para todas as UP dentro do tempo definido para finalização do projeto de Dissertação. Assim, optou-se pela escolha da unidade modelo do Período A para concretização da segunda parte do estudo, calculando os fatores de emissão apenas para esta UP. Esta unidade foi escolhida por apresentar as características de gestão, alojamento e número de animais alojados mais adequadas ao tipo de análise pretendida.

4.1.1 Localização

As UP selecionadas estavam situadas na Meso região do Oeste Catarinense e distribuídas pela Microrregião de Concórdia, nos Municípios de Concórdia e Jaborá (Tabela 7)

Tabela 7 - Localização das UP selecionadas

Unidade	Município
UPMA	Concórdia
UPMB e UPCB	Jaborá
UPCA	Concórdia

4.2 Caracterização das Unidades de Produção

A seleção das UP a analisar foi efetuada segundo os critérios definidos por TAVARES (2012) para o consumo de água, volume e tratamento de chorumes (Tabela 8), exequibilidade das atividades nas propriedades e capacidade do produtor para acompanhar e colaborar com a equipe de campo nas tarefas agendadas. Foram ainda considerados, como critério, o tipo de gestão e alojamento na propriedade e a representatividade da fase fisiológica em análise (gestação).

Todas as unidades são integradas na indústria e denominadas de Unidades Produtoras de Desmamados, caracterizando-se por possuírem sistema de criação intensivo, especializado na inseminação, gestação, parição e criação dos leitões vivos até à altura do desmame (SOUZA et al., 2013).

Tabela 8 - Caracterização das UP - sistemas de armazenamento e tratamento de Chorume

Unidade	Canaleta	Esterqueira	Biodigestor	Composteira
UPMA	Ambas Internas	Sim, coberta	Não	Sim
UPMB e UPCB	G1 – Interna G2 - Externa	Sim, coberta	Sim ⁶	Não
UPCA	Ambas Internas	Sim, descoberta	Não	Não

4.2.1 Ventilação

As quatro UP possuíam regime de ventilação natural, sendo as condições ambientais reguladas com auxílio de cortinas térmicas, que poderiam ser ajustadas em altura manualmente, consoante o nível de temperatura e velocidade do vento.

4.2.2 Alojamento

Nas UP escolhidas para o Período A, o alojamento das fêmeas em fase fisiológica de gestação era efetuado em sala única, composta por duas alas diferenciadas para G1 e G2. As duas alas não possuíam qualquer divisão entre elas, existindo possibilidade de ocorrência de misturas gasosas dentro da sala de gestação, por dispersão do ar proveniente de ambas as alas (Figura 15 - DIREITA).

Nas unidades escolhidas para o Período B, pelo contrário, existia separação física dos alojamentos na gestação, ocorrendo G1 e G2 em salas distintas. Por conseguinte, a mistura de gases por dispersão de ar não era possível (Figura 15 - ESQUERDA).

No período de projeto, encontravam-se alojadas, na UPMA, 161 matrizes em G1 e 49 em G2. Na UPCA, em G1 alojavam-se cerca de 114 fêmeas e em G2 cerca de 80. Nas UPMB e UPCB, a capacidade de alojamento, em G1, era respetivamente de 44 e 32 matrizes, sendo que em G2 havia capacidade para alojar cerca de 40 a 45 matrizes.



Figura 15 - Sistemas de alojamento
ESQUERDA - alojamento em salas separadas; DIREITA - alojamento em sala única.

⁶ Não está em funcionamento

4.2.3 Sistema de alimentação

As fêmeas gestantes foram alimentadas com uma ração comum, sendo as quantidades racionadas de acordo o avanço no ciclo de prenhez: às fêmeas alojadas em G1, por se encontrarem num estágio menos avançado do ciclo de prenhez, foram fornecidas quantidades menores de ração.

É importante referir que em G1 foi utilizado um sistema de vasos comunicantes para fornecimento de ração e água. Neste sistema, a água e a ração são fornecidas em conjunto, numa mesma “calha” (Figura 16).



Figura 16 - Sistema de vasos comunicantes para fornecimento de água e alimento em G1

4.3 Metodologia Simplificada

Na presente dissertação utilizou-se a Metodologia Simplificada desenvolvida em França pelo INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA) e descrita em ROBIN et al. (2006) e ROBIN et al. (2010).

A Metodologia Simplificada considera as características dos animais da unidade, as propriedades físico-químicas do chorume e das rações e as características climatológicas de cada exploração para a realizar balanços de massa e energia e determinar os fatores de emissão de CO₂, CH₄, N₂O e NH₃ gerados pelas fêmeas alojadas, com os resultados expressos por animal e por dia.

4.3.1 Descrição da Metodologia

Em edifícios sujeitos a ventilação natural, torna-se difícil a determinação da velocidade e do fluxo de ar circulante ao longo do dia (ROBIN et al., 2006; ROBIN et al. 2010).

No entanto, através da aplicação da Metodologia Simplificada, é possível obter-se uma estimativa desse fluxo de forma simples, menos demorada e menos onerosa, recorrendo a balanços de massa e energia para determinação de tais grandezas no interior de cada instalação.

Este tipo de balanço consiste na utilização de medidas de temperatura, higrometria e CO₂ no ar interior e exterior da instalação e relações envolvendo temperatura, humidade e entalpia para o cálculo do fluxo de ar, considerando que:

- a produção total de calor é função do peso vivo dos animais;
- o calor produzido pelos animais deve ser adicionado ao calor proveniente do chorume, aquecimento e sistema de iluminação;

- o calor produzido dentro das instalações, calculado pelo fluxo de ar e contabilização das trocas, também tem lugar nas paredes ou divisórias, devendo as perdas por condução ser deduzidas das características térmicas do estabelecimento.

É ainda importante ter em conta, no processo de cálculo, que o calor produzido pelos animais se manifesta na elevação de temperatura (dissipação de calor sensível) e aumento dos níveis de vapor de água (dissipação de calor latente) do ar (ROBIN et al., 2006).

4.3.2 Descrição do Cálculo e Equação do Fluxo

O ar que atravessa o edifício de alojamento sofre, durante a sua passagem, um aporte de vapor de água que provoca a sua expansão, ou seja, a variação da sua massa e volume até que abandona a área do recinto.

Para cálculo do fluxo total de gás devem ser consideradas as convenções para o ar húmido, utilizando o fluxo (volumétrico) de ar e as concentrações interiores e exteriores em unidades de massa volúmica (kg ar seco/m³ ar húmido) de modo a que sejam colmatados os erros induzidos pelas variações de volume e massa no ar húmido. Para efeitos de cálculo das emissões, considera-se ainda as características da massa volumétrica de ar (ROBIN et al, 2006; ROBIN et al. 2010).

Os parágrafos seguintes apresentam o método de cálculo necessário para se obter a equação geral de emissão de gás em alojamentos suínos (2),

$$Q_{\text{gás}} = Q_{\text{ar}} \times \rho \times (C_i^m - C_e^m) \quad (2)$$

onde

$Q_{\text{gás}}$ – taxa de emissão de gás (mg/h.animal)

Q_{ar} – Caudal de ar que sai do edifício (m³/h.animal)

ρ – massa volúmica de ar que sai do edifício (kg ar seco/m³ ar húmido)

C_i^m e C_e^m – concentrações mássicas de gás dentro e fora do edifício (mg/kg ar seco)

4.3.3 Determinação da Razão de mistura do Ar, Entalpia e Massa volúmica do Ar

A razão de mistura do ar (5) é calculada com recurso à pressão de vapor de saturação a determinada temperatura (3) e à pressão parcial de vapor de água (4), determinadas com recurso aos dados de temperatura (T) e humidade relativa do ar (HR) recolhidos em campo.

A equação (3) é denominada equação de Tetens. Consiste numa aproximação empírica da fórmula de Clasius-Clayperon, considerando a variação do calor latente com a temperatura. Embora se trate de uma fórmula empírica, a fórmula de Tetens permite obter resultados muito próximos da equação de Clausius Clayperon, sendo válida a utilização desta aproximação para o cálculo da pressão de saturação. (STULL, 2015).

A modelação da pressão de saturação através da fórmula de Tetens permite utilizar parâmetros mais simples de obter no interior das unidades de produção.

$$P_{sat} = 610,78 \times 10^{\left(7,5 \times \frac{T}{273+T}\right)} \quad (3)$$

onde

P_{sat} - pressão de vapor de saturação (Pa)

T- temperatura do ar interior ou exterior (°C)

Sabendo a pressão de vapor de saturação pode então proceder-se à determinação da pressão parcial de vapor de água, multiplicando o resultado da equação (3) pelo valor da HR do ar no interior ou exterior da edificação (obtido em campo), de acordo com (4)

$$P_{vap} \approx P_{sat} \times HR \quad (4)$$

onde

P_{vap} –pressão parcial de vapor de água, (Pa)

HR - humidade relativa do ar (%)

Calculada a pressão parcial de vapor de água, procede-se então ao cálculo da razão de mistura do ar, de acordo com (5)

$$w = 0,622 \times \frac{P_{vap}}{P_{atm} - P_{vap}} \quad (5)$$

onde

w – razão de mistura do ar (kg água/kg de ar seco)

P_{atm} – pressão atmosférica (Pa)

P_{vap} – pressão parcial de vapor de água (Pa)

A constante 0,622 resulta do quociente entre as massas molares da água e do ar (em kg água/kg ar seco)

A entalpia é calculada com recurso à razão de mistura do ar, segundo a equação (6)

$$E = (0,24 \times T + w \times (0,47T + 595)) \times 4,184 \times 1000 \quad (6)$$

onde E – Entalpia (J/kg ar seco)

O fator ρ (massa volúmica do ar) é utilizado na conversão do caudal de ar de unidades volumétricas (m³/h) para unidades mássicas (kg/h), permitindo a implementação das leis de conversão de massa e energia, e pode ser calculado pela equação (7)

$$\rho = \left(\frac{1}{R_d(T+273)} + \frac{w}{0.622R_v(T+273)} \right) P_d \quad (7)$$

onde

w - razão de mistura do ar (kg água/kg de ar seco);

$R_d = 461$ - constante dos gases perfeitos para o vapor de água (J kg⁻¹K⁻¹)

$R_v = 287$ - constante dos gases perfeitos para o ar seco (J kg⁻¹K⁻¹)

$$P_d = \frac{P_{atm} - P_{vap}}{9,8}$$

4.3.4 Produção de Calor

A produção de calor pelo suíno depende da fase fisiológica em que este se encontra, sendo como tal modelado por equações específicas, para cada caso. (ROBIN et al., 2006)

O calor total produzido por porcas na fase de gestação, em condições homeotérmicas ($T=20^{\circ}\text{C}$) poderá ser definido pela equação (8), indicada pela CIGR (2002)

$$\phi = 4,85m^{0,75} + 8 \times 10^{-5}p^3 + 76 Y_2 \quad (8)$$

onde,

ϕ - produção de calor total pelo suíno (W/animal)

m – massa corporal da porca (kg)

p – número de dias de gravidez (d)

Y_2 – ganho de peso diário (kg/dia)

O coeficiente Y_2 varia de acordo com o grau de maturação das porcas em gestação. De acordo com os dados fornecidos pela CIGR (2002), para leitoas em primeira gravidez (primíparas), o ganho de peso diário $Y_2 = 0,62 \text{ kg/dia}$; já para porcas adultas, experienciando mais que uma gravidez, (múltiparas), $Y_2 = 0,18 \text{ kg/dia}$. Todavia, os dados recolhidos junto das agroindústrias de Santa Catarina em 2015 indicam um ganho de peso diário médio de aproximadamente $Y_2 = 0,318 \text{ kg/dia}$, para porcas de múltipla gravidez.

Considerando o desfasamento temporal associado às referências bibliográficas citadas (CIGR (2002)), optou-se, no presente caso de estudo, por estabelecer uma população de matrizes constituída unicamente por múltiparas, utilizando-se o valor de Y_2 fornecido pela agroindústria.

Em condições de temperatura que ultrapassem da condição ideal de homeotermia (ou seja, para $T > 20^{\circ}\text{C}$), é recomendado o uso da equação (9) para o cálculo da produção de calor em suínos, independentemente do estado fisiológico ou fase de maturação em que se encontrem (CIGR, 2002).

$$\phi = 1000 + 12(2 - T) \quad (\text{W/animal}) \quad (9)$$

Tendo em conta as considerações anteriores sobre a partição do calor total em calor sensível (elevação da temperatura do ar ambiente) e calor latente (aumento dos níveis de vapor de água no ar ambiente), pode reescrever-se (10)

$$\phi = \phi_s + \phi_l \quad (\text{W/animal}) \quad (10)$$

onde

ϕ_s – calor sensível (W/animal)

ϕ_l – calor latente (W/animal)

O calor sensível é dissipado de acordo com o gradiente de temperatura entre o corpo do animal e o ambiente da sala, tendendo a decrescer à medida que a temperatura aumenta. O calor latente é

dissipado pelo animal sob a forma de humidade ao nível da respiração e da pele, tendendo a crescer à medida que a temperatura aumenta, de modo a manter o balanço térmico e temperatura corporal do suíno. Ambos os parâmetros estão dependentes do tipo, idade e fase fisiológica do animal, bem como capacidade de transpiração, tipo de pelo, área corporal e secura da pele (CIGR, 2002).

Transformando a equação (10), obtém-se a equação geral para o calor latente (11).

Para efeitos de cálculo, e de modo a não incorrer em subestimação do parâmetro em estudo, é necessário considerar que parte da fração de calor sensível será utilizada para evaporação da água do alimento, do chorume e das superfícies humedecidas (0,680 Wh/g de água, para $T = 20^{\circ}\text{C}$)

$$\phi_l = \phi - \phi_s \text{ (W/animal) (11)}$$

De acordo com o indicado pelo CIGR, e no caso de não ser facultada nenhuma informação adicional, a seguinte expressão (12) deve ser considerada para o calor sensível (CIGR, 2002).

$$\phi_s = 0,8\phi - 0,385 T^2 \text{ (W/animal) (12)}$$

onde, T – temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

4.3.5 Perdas de calor por condução

As perdas de calor por condução (13) podem ser calculadas tendo em conta as características das paredes do edifício, de acordo com o seu coeficiente de isolamento térmico, G_p (ROBIN et al., 2006):

$$F = G_p \times (T_i - T_e) \text{ (13)}$$

onde

F - fluxo de calor através das paredes (W/animal)

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

De acordo com as especificações técnicas para construção dos edifícios de alojamento suíno em Santa Catarina, onde as paredes não possuem qualquer tipo de isolamento, e segundo o enunciado por (ROBIN, 2010) o coeficiente de isolamento térmico, adaptado para unidades de W/K.animal, será $G_p = 25 \text{ W/K.animal}$

4.3.6 Aporte de calor por aquecimento

Durante o estudo térmico das edificações, é importante considerar dois tipos de cenários: endotérmico – onde o calor produzido pelos animais não é suficiente para a manutenção da temperatura desejada devido às perdas por condução através das paredes e renovação do ar interior - e exotérmico, onde o calor produzido pelos animais excede as necessidades de aquecimento e por conseguinte conduz a um aumento no fluxo de ar de modo a que se consiga manter as condições ideais na vizinhança.

No primeiro caso, que descreve a situação verificada no presente estudo, o aquecimento nem sempre é estimado com a precisão necessária para determinação do fluxo de ar em cada instante, por conseguinte, considera-se para efeitos de estudo que valor do aquecimento se aproximará de zero.

F foi estimado em equações anteriores, e trata-se do fluxo de calor atravessando as paredes do edifício.

4.3.7 Produção de CO₂ por respiração

A produção de CO₂ foi estimada pela produção total de calor por suíno, baseando-se em coeficientes de proporcionalidade definidos pela CIGR, 2002 (0,185 L·h⁻¹ de CO₂ por Watt de calor total produzido) de acordo com a equação (14).

$$ProdCO_2 = 0,185 \times \emptyset \quad (14)$$

onde

$ProdCO_2$ – Produção de CO₂ pelo suíno (Lh⁻¹.animal)

\emptyset – Calor total produzido pelo suíno (W/animal)

4.3.8 Produção de água metabólica

A quantidade de água produzida pelos animais através de processos de metabolismo oxidativo foi calculada pressupondo que, para a produção de uma molécula de CO₂, é necessária a existência de uma molécula de água, ou seja, que a um volume molar de 22,41 L de CO₂ corresponde um peso molecular de 18 g de água (OLIVEIRA, 1998, 1999, 2003)

A produção de água por via metabólica pode ser calculada pela equação (15)

$$H_2O_{met} = \left[\frac{ProdCO_2}{22,4 \times 0,018} \right] \times 24 \quad (15)$$

onde

H_2O_{met} – Produção de água metabólica pelo suíno (kg/animal)

$ProdCO_2$ – Produção de CO₂ pelo suíno (Lh⁻¹.animal)

4.3.9 Caudal de ar

O caudal de ar que atravessa um edifício de alojamento poderá ser deduzido da produção de vapor de água das humidades do ar interior e exterior, assumindo estado estacionário e utilizando a equação (16) e (17)

$$Q_{ar\ entra} = Q_{ar\ sai} = Q_{ar} \quad (16)$$

Onde Q_{ar} – caudal de ar que atravessa um edifício (m³/h)

O caudal de ar que atravessa o edifício pode ser calculado, através da produção de calor latente (ROBIN et al, 2006), pela equação (17)

$$Q_{ar, lat} = \phi l + \frac{\frac{H_2 O_{met}}{3600 \times 1000}}{\rho \times (w_i - w_e) \times lat} \quad (17)$$

onde,

$Q_{ar, lat}$ – caudal de ar segundo o calor latente (m³/h.animal)

$H_2 O_{met}$ - Produção de água metabólica pelo suíno (kg/animal)

lat – calor latente da água (2,45 x 10⁶ J/kg água)

Da mesma forma, é possível deduzir o caudal de ar que sai do edifício da produção de calor sensível e temperaturas interiores e exteriores através da equação (18)

$$Q_{ar, sens} = \frac{\phi_s - F}{\rho \times c_p \times (T_i - T_e)} \quad (18)$$

onde,

$Q_{ar, sens}$ – caudal de ar segundo o calor sensível (m³/h.animal)

Analogamente, pode-se ainda proceder à dedução do mesmo caudal através da produção de calor total e das entalpias entre o ar interior e exterior, pela equação (19)

$$Q_{ar, tot} = \frac{\phi - F}{\rho \times (E_i - E_e)} \quad (19)$$

onde,

$Q_{ar, tot}$ – caudal de ar segundo o calor total (m³/h.animal)

4.3.10 Concentrações mássicas de gás

As concentrações mássicas de gás são medidas em partes por milhão (ppm) na condição homeotérmica, ou seja, a 20°C, sendo necessário convertê-las em unidades mássicas de gás por kg de ar seco no instante da medição (20)

$$C_{N-NH_3}^m = \frac{C_{N-NH_3}^v}{\left(\frac{R \times (T_{ref} + T)}{P_{atm}}\right)} \times \frac{m_{N-NH_3}}{\rho} \quad (20)$$

onde,

$C_{N-NH_3}^m$ – concentração mássica de N amoniacal no ar (mg de N amoniacal/kg de ar seco),

$C_{N-NH_3}^v$ - concentração volúmica de N amoniacal no ar (ppm)

R – constante universal dos gases perfeitos (0,0821 l.atm/K.mol)

m_{N-NH_3} – massa molar de N (14g/mol)

4.3.11 Emissão de Gás

As emissões de gás podem agora ser deduzidas do caudal de ar saindo da edificação, da sua massa volúmica, das concentrações mássicas dos elementos, obtendo-se a equação (2)

$$Q_{gás} = Q_{ar} \rho \times (C_i^m - C_e^m) \quad (2)$$

onde,

Q gás – taxa de emissão de gás (mg/h.animal)

Q_{ar} – Caudal de ar que sai do edifício (m³/h.animal)

ρ – densidade de ar ou volume mássico de ar que sai do edifício (kg ar seco/m³ ar húmido)

C_i^m e C_e^m – concentrações mássicas de gás dentro e fora do edifício (mg/kg ar seco)

4.4 Validação da Metodologia

A validação das estimativas de emissão gasosa foi elaborada com base no descrito por GUIGAND et al (2011) e ROBIN et al. (2006), elaborando balanços de massa e balanços de perdas de carbono (C), azoto (N) e fósforo (P) para a totalidade do ciclo produtivo, com obtenção dos respetivos *défauts* de balanço e controlo do erro associado ao modelo de análise.

As quantidades de nutrientes foram, também, analisadas para cada amostra de chorume, determinando-se, a partir do pressuposto de conservação de P e representatividade das amostras recolhidas, a quantidade de chorume produzida, essencial para o cálculo final dos balanços de massa dentro da instalação (ROBIN et al., 2006; ROBIN et al., 2010).

A análise dos consumos totais de N, C e P pelos animais, possibilitou o cálculo da taxa de retenção e excreção corporal para cada elemento consumido.

Os balanços de N e C visaram o controlo do *défault* de balanço, garantindo que este era não superior às emissões medidas e estimando o erro associado às perdas sob a forma de N₂.

4.4.1 Balanços de Massa

Os balanços de massa de nutrientes (C, N e P) foram elaborados tendo em conta as unidades ingeridas e excretadas durante o ciclo em cada sala, utilizando as relações (21) e (22)

$$X_{Ing} = X_{ração} \times Ração\ Ingerida \quad (21)$$

$$X_{excretado} = X_{chorume} \times Volume\ chorume \quad (22)$$

onde,

X_{Ing} – quantidade do elemento que é ingerida pelo animal (mg/dia)

$X_{ração}$ – concentração do elemento presente na ração (mg/kg)

$X_{chorume}$ – concentração do elemento no chorume (mg/L)

$Ração\ Ingerida$ – quantidade de ração ingerida pelo animal (kg/dia)

$Volume\ chorume$ – volume de chorume produzido em cada sala (L)

4.4.2 Balanço Teórico de Perdas

Foi, ainda, efetuado um balanço teórico de perdas para N e P, utilizando como base o enunciado por COMITÉ D'ORIENTATION POUR DES PRATIQUES AGRICOLES RESPECTEUSES D'ENVIRONNEMENT, 2003 (CORPEN, 2003) a equação (23) e a equação (24)

$$N_{ex} = N_{ing} - \frac{[(\exp(-0,9385-0,0145 \times TCM)) \times (0,915 PV^{1,009})^{(0,7364+0,0044 \times TCM)}]}{6,25} \quad (23)$$

onde,

N_{ing} – quantidade de N ingerida pelo suíno (kg)

TCM – conteúdo em carne magra (54 kg)

$$P_{ex} = P_{ing} - (5,3 \times \frac{PV}{1000}) \quad (24)$$

onde,

P_{ing} – quantidade de fósforo ingerida pelo suíno (kg)

PV - Peso vivo do animal (kg)

O peso vivo (PV) para cada fase foi estabelecido tendo em conta a relação (25)

$$PV = Pi + Y_2 \times Pi \quad (25)$$

onde Pi - Peso do Suíno (kg) no início do ciclo/fase, com as restantes variáveis de acordo com o acima definido.

4.4.3 Balanço de Perdas

O balanço de perdas, com estimativa das frações emitidas para cada elemento, foi elaborado com base no exposto por GUIGAND et al (2011), tendo por referência o já descrito por ROBIN et al. (2010).

Utilizando os fluxos totais de C (designados Perdas C e correspondendo ao somatório dos fluxos de emissão de CH_4 e CO_2) e produção de cada gás obtidos em G1 e G2, procedeu-se primeiramente aos balanços simplificados de perdas para cada elemento, de acordo com as equações (26), (27), (28) e (29)

$$EC - CO_2 = PerdasC / [1 + (GradC - CH_4) / (GradC - CO_2)] \quad (26)$$

$$EC - CH_4 = EC - CO_2 \times (GradC - CH_4) / (GradC - CO_2) \quad (27)$$

$$EN - NH_3 = EC - CO_2 \times (GradN - NH_3) / (GradC - CO_2) \quad (28)$$

$$EN - N_2O = EC - CO_2 \times (GradN - N_2O) / (GradC - CO_2) \quad (29)$$

onde,

$PerdasC$ – Fluxo total de C (g/animal.dia)

$EC - CO_2$ – Emissão de C sob a forma de CO_2 (g/animal.dia)

$EC - CH_4$ – Emissão de C sob a forma de CH_4 (g/animal.dia)

$EN - NH_3$ – Emissão de N sob a forma de NH_3 (g/animal.dia)

$EN - N_2O$ – Emissão de N sob a forma de N_2O (g/animal.dia)

$GradC - CH_4$ – Diferença de concentração de CH_4 interno e externo (ppm)

$GradC - CO_2$ – Diferença de concentração de CO_2 interno e externo (ppm)

$GradN - NH_3$ – Diferença de concentração de NH_3 interno e externo (ppm)

$GradN - N_2O$ – Diferença de concentração de N_2O interno e externo (ppm)

A fração de N que se perde para a atmosfera sob a forma de NH₃, é estimada partindo do pressuposto que todo o C será perdido sob a forma de CO₂.

Rigorosamente, deveriam ser consideradas as perdas de C sob a forma de compostos orgânicos voláteis (ácidos gordos voláteis) ou minerais (CH₄); mas, devido à sua pouca representatividade, estas poderão ser desprezadas para efeitos de cálculo, possuindo a adoção de tal hipótese uma estimativa de erro de 10%.

Pode-se ainda escrever (30)

$$Perdas_N = Emiss\ N - NH3 + Outros\ N \quad (30)$$

Assim como (31)

$$Perdas_C = Emiss\ C - CO2 + Outros\ C \quad (31)$$

Onde as perdas (Perdas_X) de N e C são deduzidas das medidas nos sólidos e líquidos, e as emissões desses elementos (Emiss_X) são aquelas que se dão sob a forma de NH₃ e CO₂ como anteriormente descrito. As emissões designadas como Outros_X correspondem àquelas que se dão sob as formas não observadas (N₂O, N₂, CH₄).

Então, a fração emitida sob a forma amoniacal, em relação à quantidade excretada é dada por (32)

$$\%N - NH3 = \frac{Emiss_{N-NH3}}{Nb \times Nex} \quad (32)$$

onde, Nb – número de animais alojados

A fração emitida sob a forma amoniacal, em relação à quantidade perdida é dada por (33)

$$\%N - NH3 = \frac{Emiss_{N-NH3}}{Perdas\ N} \quad (33)$$

A emissão amoniacal pode ser verificada assegurando que a emissão é significativamente inferior à perda de N (ROBIN et al., 2006; ROBIN et al., 2010).

Os erros associados aos balanços de perdas foram calculados utilizando o módulo do erro relativo (34) em relação ao valor obtido em campo,

$$Erro\ (\%) = \frac{\text{Valor Obtido Fluxo de Emissao} - \text{Valor Obtido Balanço de Massa}}{\text{Valor Obtido Fluxo de Emissao}} \times 100\% \quad (34)$$

4.5 Descrição das Atividades de Campo

A aplicação da metodologia simplificada nas unidades de produção em estudo, envolveu a amostragem semanal de chorume e amostras de ração nas salas de gestação.

Monitorizaram-se também, semanalmente, as concentrações de gases no interior e exterior das edificações, procedendo-se, no mesmo dia, em horário de amostragem matutino e horário de amostragem vespertino, à aquisição de dados quanto a:

- Humidade Relativa do ar no interior e exterior das edificações;
- Temperatura do ar no interior e no exterior das edificações;

- Velocidade do ar no interior e exterior das edificações;
- Comprimento de abertura das cortinas de isolamento térmico de cada sala analisada.

4.5.1 Análise de Chorume

A produção de chorume nas unidades suinícolas foi avaliada adaptando-se o procedimento descrito por TAVARES (2012) às unidades de produção analisadas.

Em cada unidade selecionada, procedeu-se à instalação de caixas de fibra de vidro com volume total de 5m³, localizadas entre o edifício de produção e o sistema de tratamento (esterqueira ou biodigestor).

O chorume, previamente descarregado pelo produtor, ficou retido nas canaletas internas e externas do edifício de produção, sendo libertado para as caixas a cada período de 24h; a aferição da altura da sua lâmina foi efetuada com recurso a réguas graduadas fornecidas aos produtores.

Em G1, na UPMA, onde o chorume era armazenado em fossas internas abaixo do piso dos suínos, a aferição da altura da lâmina foi efetuada no interior da fossa; o volume de chorume foi calculado de modo semelhante, modificando-se apenas a relação de cubicagem.

Os dados resultantes das medições foram registados em tabelas individuais específicas.

A amostragem do chorume foi realizada, em cada um dos dois períodos (A e B), durante 5 semanas⁷ de um ciclo de produção, com regularidade semanal, após seleção dos locais adequados para recolha de alíquotas nas canaletas internas, segundo a metodologia descrita por TAVARES (2012).

Foi realizada uma homogeneização prévia, ainda dentro das canaletas onde se encontrava armazenado o chorume (em três das quatro repetições efetuadas), procedendo-se então à recolha da primeira alíquota, para o interior de um recipiente de 20L.

Uma nova homogeneização foi depois realizada, dentro do recipiente, sendo uma amostra de 1L recolhida para um frasco plástico graduado, etiquetado e rolhado, acondicionada em caixa térmica e encaminhada para análise laboratorial.

As amostras recolhidas foram analisadas pela equipa técnica especializada do laboratório da EMBRAPA Suínos e Aves, em Concórdia, para um conjunto de variáveis físico-químicas específicas (Tabela 8), segundo o descrito nos *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF), 2005)

⁷ O período de amostragem seleccionado garante a abrangência de todas as fases do ciclo de gestação (com duração de 110 dias) na amostragem efectuada.

4.5.2 Ração

No seguimento dos trabalhos de campo, foram ainda recolhidas, semanalmente, amostras de ração, com o objetivo de proceder à sua caracterização físico-química e quantificação do consumo diário pelos suínos.

A amostragem da ração foi realizada em períodos semanais, durante 5 semanas de um ciclo (para os dois períodos do ano, A e B) em todas as unidades de produção analisadas, sendo as amostras recolhidas diretamente dos silos ou carrinhos de armazenamento de ração para dentro de sacos etiquetados com tipo de amostra (ração), código da unidade de produção e código da sala ou salas fornecidas pela ração. No caso de estudo, uma vez que G1 e G2 foram abastecidas com a mesma ração, a amostragem foi composta de um (1) saco apenas.

O consumo diário estabeleceu-se a partir dos dados fornecidos pelos produtores e agroindústria. Para a UPMA, a alimentação funcionava em regime não faseado, sendo fornecidos 1,7 kg de alimento por animal e por dia nos primeiros 80 dias de ciclo e 3 kg de alimento por animal e por dia no restante tempo. Para efeitos de cálculo da quantidade consumida em G1 e G2 (dos 0 aos 40 dias e dos 40 aos 110 dias), foi considerada uma proporção de 2,3 kg de alimento por animal e por dia a ser fornecido em G2. Em G1, considerou-se o fornecimento de 1,7 kg de alimento, por animal e por dia.

A análise físico-química das rações recolhidas em campo foi executada na unidade laboratorial da EMBRAPA, Suínos e Aves, em Concórdia, Santa Catarina, segundo os métodos enunciados na Tabela 9 (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 2005)

Tabela 9 - Variáveis físico-químicas analisadas e método analítico utilizado na caracterização do chorume e da ração

Análise Físico-Química	Método
ST/SV/SF	Gravimetria
%C	CHNOS
N	NTK Kjeldahl
NH ₄	Destilação e Titulação
P	Digestão Ácida e Leitura por ICP-OES
Cu	Digestão Ácida e Leitura por ICP-OES
Zn	Digestão Ácida e Leitura por ICP-OES
pH	Potenciometria
%N (Ração)	Dumas

A análise dos resultados laboratoriais obtidos pode ser efetuada com base no método descrito por GIROUX e AUDESSE (2004), com aplicação das equações (35), (36) e (37) no cálculo do C total, matéria orgânica e quociente C/N da matéria analisada.

$$C_{total} = (MS - C_z)/2 \quad (35)$$

$$MO = C_{total} \times 2 \quad (36)$$

$$\frac{C}{N} = C_{total}/N_{total} \quad (37)$$

onde,

C_{total} – Carbono Total (%)

C_z – teor em cinzas (%)

N_{total} – Azoto Total (%)

MS – conteúdo em matéria seca (%)

MO – conteúdo em matéria orgânica (%)

$\frac{C}{N}$ – Quociente carbono /azoto

4.5.3 Consumo de Água

O consumo de água nas UP foi avaliado tendo em conta a quantidade fornecida, medida através de contadores instalados nas diversas linhas de água que abastecem os suínos.

As leituras dos contadores instalados nas linhas de abastecimento eram registadas a cada 24h, pelos produtores, em folhas específicas, posteriormente recolhidas pela equipa de campo, com o objetivo de proceder a correção de eventuais erros de leitura.

Os contadores instalados eram da marca ITRON, modelo Unimag TU III HV Unimag CYBLE PN 10, tendo por diâmetro médio uma polegada (3/4'') (TAVARES et al., 2014).

4.5.4 Recolha de dados de Temperatura, Humidade Relativa do Ar e Velocidade do Ar

Os dados de T (°C) e HR (%), foram obtidos por meio de duas monitorizações distintas: contínua e pontual (semanal) no interior e exterior das unidades de produção.

A monitorização contínua foi efetuada com recurso a “data-loggers” da marca TESTO, modelo 174H, instalados a 1,5m a 2m acima do nível do piso e de modo equidistante no interior da unidade (Figura 17) de acordo com o procedimento indicado por TAVARES (2012).

Os aparelhos, equipados com canais independentes para as variáveis em estudo (sensor capacitivo de humidade – alcance de 0% a 100%rH/sensor interno NTC - alcance de -20°C a 70°C), procediam ao registo e armazenamento diários dos valores medidos, em intervalos programados de 30 segundos por registo. O erro associado às medições, segundo o indicado no catálogo, pode ser considerado cerca de 2,5%.



Figura 17 - Localização dos aparelhos de higrometria (TESTO 174H) no interior da exploração agropecuária (exemplo - G1 da UPMB)

O equipamento foi periodicamente recolhido pela equipa de campo, higienizado, descarregado *in loco* para um computador configurado para o efeito, e devolvido à sua localização original, iniciando-se um novo período de monitorização.

De salientar que, para facilitar o processo de recolha e reposição, cada equipamento se encontrava devidamente identificado com o nome do produtor e o número correspondente à sua localização no interior da unidade em análise. Cada unidade analisada possuía um aparelho interior e um aparelho exterior por sala analisada.

A aquisição de dados de T (°C) e HR (%) no interior e exterior das edificações, foi também efetuada pontualmente com recurso a um aparelho TESTO modelo 435. Com este aparelho, mediu-se ainda a velocidade do ar (V, em m/s) atravessando as instalações no momento da sondagem. O erro associado às medições, segundo indicações do catálogo, pode ser considerado de 2,5% para valores de HR e 1% para valores de T e V.

O período de aquisição de dados de T, HR e V foi o mesmo que o descrito para a ração, chorume e gases, durante 5 semanas em cada período do ano, A e B. Para efeitos de recolha, considerou-se cada sala como estando dividida em X regiões equidistantes (doravante designadas de pontos), formadas por duas extremidades, esquerda e direita, aonde se realizaram as medições (Tabela 10).

A cada ponto analisado correspondia, então, um conjunto de duas medições (na extremidade esquerda e na extremidade direita), perfazendo um total de 2X leituras por sala visitada. As sondagens foram sempre iniciadas pelo lado esquerdo da sala, terminando do lado direito, e sendo realizadas em alternância para cada um dos pontos.

Tabela 10 - Número X de Pontos de divisão das salas de Geração de cada UPD

Alojamento	UPD	Número N de Pontos
G1	UPMB e UPCB	3
	UPMA e UPCA	5
G2	UPMB e UPCB	4
	UPMA e UPCA	5

No exterior da propriedade, foram medidos X pontos ao longo da lateral esquerda e depois X pontos ao longo da lateral direita de cada edifício de alojamento.

A medição foi efetuada posicionando a sonda junto à abertura das cortinas, de modo a obter o fluxo de ar circulando no edifício, com o máximo de precisão possível (Figura 18 e Figura 19)



Figura 18 - Medição de V e HR exterior ao edifício

De salientar, também, a importância do posicionamento vertical e estável da sonda, de modo a evitar oscilações errôneas dos resultados obtidos.

No final da amostragem, os dados obtidos, organizados na memória do aparelho como conjuntos de 2X pontos identificados com o código da unidade de produção e localização (INT para interna e EXT para externa) da sondagem efetuada, foram descarregados para um computador equipado com o *software* do dispositivo, e copiados para uma folha de Microsoft Excel© para serem analisados posteriormente.

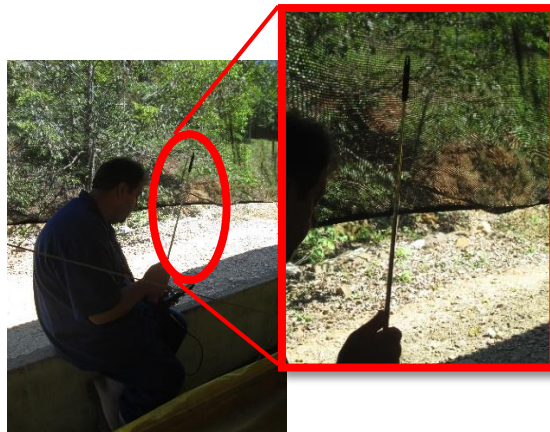


Figura 19 - Sondagem do ar externo do edifício (com pormenor da sonda)

4.5.5 Medição do comprimento de abertura das cortinas

O comprimento de abertura das cortinas foi medido com recurso a uma vara de madeira graduada com um Metro, posicionando o “0” da escala junto ao limite superior da superfície a analisar e anotando o valor medido no limite inferior, lendo de cima para baixo na escala (Figura 20).

As medições foram anotadas para o mesmo conjunto de pontos analisados em cada sala, sendo normalmente efetuadas no seguimento da recolha das temperaturas.

O objetivo foi a obtenção da área de ventilação, utilizada na avaliação do caudal (Q), pela equação (38)

$$Q = V \times A \quad (38)$$

onde,

Q – caudal a determinar (m^3/s)

V – velocidade do ar (m/s)

A – Área de fluxo (m^2)

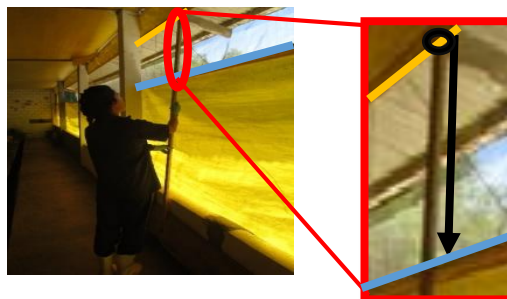


Figura 20 - Medição da abertura de cortinas em G1 (com pormenor) - O círculo a preto indica o posicionamento do zero da escala; o traço a amarelo indica o limite superior e o azul o limite inferior da superfície a analisar; a seta o sentido da medição

4.5.6 Amostragem de Ar

O processo de amostragem teve a duração de 5 semanas, para cada um dos períodos A e B, e consistiu numa recolha semanal de ar, realizada em dois horários (matutino e vespertino) no interior e exterior dos edifícios de alojamento de suínos.

Foram utilizados, para o efeito, um par de bombas de baixo caudal e um conjunto de sacos TEDLAR® identificados com: código da Unidade de Produção (UP + número), Local (CODIGO DA SALA para interior ou EXT para exterior) e horário (matutino ou vespertino) de cada amostragem.

A recolha efetuou-se conectando a válvula de entrada do saco (previamente aberta) a um tubo de borracha numa das extremidades da bomba, sendo o ar ambiente sugado para dentro do saco pelo filtro de ar localizado na outra extremidade do aparelho.

Após o enchimento completo de cada saco, a bomba era desligada, a válvula de entrada fechada e o saco desconectado da bomba.

De modo a evitar possíveis situações de esvaziamento, a válvula de entrada de cada saco era então envolvida com fita adesiva, sendo este armazenado dentro de uma caixa isolante.

Para garantir representatividade nas amostras, cada recolha foi realizada ao longo de toda a extensão interior (baias e corredor central) e na extensão exterior das salas. A amostragem no exterior foi realizada a uma distância de três metros do edifício.

Cada horário de amostragem (matutino e vespertino) teve a duração aproximada de 40 minutos. As horas de início de recolha em cada localização foram anotadas numa folha designada para o efeito.

No final de cada horário, e após a recolha em todas as unidades de produção, a totalidade dos sacos era transportada para a sede da EMBRAPA.

Na sede da EMBRAPA, os sacos TEDLAR® eram encaminhados para uma sala fechada, de temperatura controlada, onde permaneciam armazenados em caixas isolantes tapadas até ao final do processo de leitura.

4.5.7 Processamento das amostras de ar

As amostras recolhidas em campo foram analisadas nas instalações da EMBRAPA, Suínos e Aves de Concórdia, com recurso a um Medidor de Gás Fotoacústico INNOVA 1412⁸, ligado a um computador contendo o *software* de leitura (Figura 21)

⁸ Do Inglês: Photoacoustic Gas Monitor (T.A.)



Figura 21- Equipamento de medição de gases: INNOVA 1412 e Computador - O processamento consiste na deteção fotoacústica infravermelha dos gases a quantificar, com recurso a filtros óticos, que procedem ainda à compensação das interferências provocadas pelo vapor de água e outros gases de interesse desprezável (AMORIM, 2012)

Cada saco, previamente agitado para homogeneização da amostra, era conectado ao equipamento ligando a válvula de entrada (fechada) ao filtro na extremidade do tubo de sucção do medidor, conforme mostra a Figura 22.

O processo de leitura iniciava-se depois de abrir da válvula de entrada e ativar o equipamento, que procedia à sucção e medição do gás do interior do saco.

Os resultados eram enviados, de minuto a minuto, para o computador, até que se verificasse a estabilização dos valores apresentados ou até que se perfizesse o total de 35 a 40 leituras, período após o qual a medição era interrompida e o saco vazio desconectado do aparelho. No decorrer do processo de análise, os sacos permaneciam acondicionados em caixas isolantes tapadas, sendo seleccionados para leitura de acordo com a ordem de recolha, de modo a que amostras mais antigas fossem processadas em primeiro lugar.



Figura 22 - Conexão da válvula de entrada do saco ao tubo de sucção do aparelho INNOVA 1412

Os dados obtidos foram exportados para folhas de Microsoft Excel©, sendo aproveitadas as 20 leituras mais representativas de cada amostra examinada e descartando-se as restantes. As leituras

aproveitadas foram então sujeitas a análise estatística, de modo a obter-se a média de concentrações para cada recolha, a figurar no balanço final de gás.

4.6 Análise Estatística, Balanços e Cálculo de Fluxos

Os resultados obtidos foram organizados, selecionados e analisados em folhas de cálculo de Microsoft Excel©, sendo processados pelo *software* Sigma Plot© para elaboração gráfica de conteúdos. A análise estatística dos resultados de concentração e ambiente, cálculo dos balanços de massa, balanços de energia e fluxos de ar foram obtidos pelo *software* Statystical Analysis System (SAS), com teste de T-Student, Sign e Signed Rank, para uma das unidades modelo estudadas (UPMA), com intervalo de confiança de 95%.

5 Resultados

5.1 Caracterização Físico-Química do Chorume

A caracterização físico-química do chorume produzido nas salas de gestação das UP encontra-se sintetizada na Tabela 11 e Tabela 12 e constitui uma importante ferramenta para o cálculo do balanço de nutrientes, quantificação das concentrações gasosas e emissões para a atmosfera.

5.1.1 pH

O chorume analisado apresenta valores de pH no intervalo de 7 a 9, evidenciando situações de alcalinidade compatíveis com o fenómeno de volatilização de NH_3 e, conseqüentemente, com a produção de N amoniacal e libertação de NH_3 para a atmosfera (Tabela 11 e Tabela 12).

Em particular, o valor médio de pH encontrado para G1 é superior ao encontrado para G2, sendo expectável, portanto, a existência de maiores percentagens de N amoniacal e, conseqüentemente, maiores concentrações de NH_3 libertado para a atmosfera para G1.

Neste ponto, é importante recordar que o pH dos chorumes tem influência na formação de N_2O (favorecida por $\text{pH} < 5$) e na formação de NH_3 (favorecida por valores crescentes de pH alcalino, que promovem a volatilização de NH_3).

5.1.2 Azoto Amoniacal

De acordo com o previsto pela observação dos valores de pH do chorume em G1 e G2, o N amoniacal encontrado, para o período, em G1 é superior ao encontrado em G2, representando, em média, cerca de 74% do N total presente no chorume. O N amoniacal no chorume em G2 representa apenas 67% do N total do chorume analisado (Tabela 11).

5.1.3 Matéria Seca

G1 apresentou uma média de 13,0 g/L de Sólidos Totais (ST), correspondendo a cerca de 1,3% de matéria seca; para G2 foram contabilizados em média 35,7g/L de ST, correspondendo a um teor de cerca de 3,6% em matéria seca (Tabela 11 e Tabela 12).

Tabela 11 - Caracterização Físico-Química do chorume em G1

Unidades	Variável	Média±σ	Máximo	Mínimo
	pH	8,5 ±0,3	9,0	7,7
g/L	ST	13,0±12,7	44,7	2,6
	SV	7,8±8,6	29,7	0,98
	SF	5,2±4,1	15,0	1,6
	C	4,0±4,4	15,0	0,5
	N	2,3±1,2	5,1	0,8
	N-NH ₄	1,7±0,9	4,1	0,7
	P	4,7±0,5	2,1	0,04
mg/L	Cu	3,6±4,4	16,0	0,4
	Zn	15,0±21,1	74,5	0,1
	Na	271,2±168,8	695,0	44,0
	K	840,4±513,7	2117,0	382,0

Obs.: σ – desvio-padrão

Tabela 12 - Caracterização Físico-Química do chorume em G2

Unidades	Variável	Média±σ	Máximo	Mínimo
	pH	8,0±0,5	9,0	7,0
g/L	ST	35,7±30,3	116,6	4,9
	SV	22,9±21,2	81,6	2,7
	SF	12,7±9,6	37,2	2,2
	C	11,9±11,2	44,5	1,3
	N	3,7±1,4	6,3	0,9
	N-NH ₄	2,5±0,8	4,2	0,7
	P	1,0±0,9	3,5	0,06
mg/L	Cu	10,2±9,0	32,2	0,98
	Zn	70,8±107,0	483,8	2,4
	Na	470,6±273,4	1428,0	88,7
	K	1536,8±834,9	4614,0	384,0

Obs.: σ – desvio-padrão

5.2 Caracterização Físico Química da Ração

O alimento fornecido nas UP (obtida para a matéria natural) encontra-se caracterizado na Tabela 13.

Em média, foi estimado um teor em matéria seca de aproximadamente 88,3%, sendo o teor em cinzas de aproximadamente 4,5%, obtendo-se de $C_{total} = 41,9\%$. Tal resultado é próximo do obtido pelo método analítico, sendo o erro entre os dois estimado em 2%.

A fração de matéria orgânica (MO) foi estimada em 83,8%, detetando-se um erro de 7% em relação ao valor analítico (Tabela 13).

O quociente C/N estimado a partir do valor de $C_{total} = 41,9\%$ foi $\frac{C}{N} = 1,68$, determinando-se um erro de 5% em relação ao obtido utilizando C_{total} medido por via analítica ($\frac{C}{N} = 1,58$).

É possível, portanto, atestar quanto à fiabilidade dos valores obtidos, sendo viável a sua utilização para efeitos de resultado.

Tabela 13 - Caracterização Físico-Química da ração fornecida aos animais em Gestação

Unidades	Variável	Média $\pm\sigma$	Máximo	Mínimo
%	MS	88,3 \pm 0,6	89,4	87,1
	MO ⁹	89,7 \pm 5,8	95,8	83,2
	Cinzas	4,5 \pm 0,2	4,9	3,7
	C	39,5 \pm 0,6	40,4	38,1
mg/kg	N	24963,7 \pm 3460,1	32499,0	21382,0
	P	4700,1 \pm 1472,0	10373,0	2299,0
	Cu	34,7 \pm 8,3	56,0	16,8
	Zn	121,3 \pm 46,8	220,1	0,0
	Na	2385,0 \pm 628,3	3634,0	1040,0
	K	6556,5 \pm 11176,1	8089,0	3474,0

Obs: σ – desvio-padrão

5.3 Ambiente Térmico das Instalações

O ambiente térmico das UP foi caracterizado com base nas informações obtidas através de monitorização contínua da higrometria e temperatura do ar, no período de projeto.

Como as análises preliminares de dados não indicaram efeitos relevantes da separação de salas na variação dos intervalos de concentração nos edifícios ao longo do tempo, o processo analítico foi considerado idêntico para os dois conjuntos de UP analisados.

5.3.1 Período A

5.3.1.1 Temperatura

A diferença de temperatura média (T_m) verificada entre o interior e o exterior das instalações é de 3°C, com T variando cerca de cerca de 11°C a 26°C para o interior e de cerca de 9°C a 23°C no exterior do edifício (Tabela 14).

Tabela 14 - Dados de T (°C) registados no interior e exterior das instalações (período A)

Ponto	Média $\pm\sigma$	Máximo	Mínimo
Interno	19,0 \pm 3,2	25,8	10,5
Externo	16,1 \pm 3,4	22,6	8,6

Obs: σ – desvio-padrão

⁹ Com base na matéria seca

A leitura da Figura 23 e da Figura 24 permite confirmar o anteriormente descrito. Verificam-se evoluções de T semelhantes para G1 e G2, em ambas as UP analisadas, com variações de 3°C entre o exterior e o interior das instalações. Na UPCA (identificada na Figura 23 e Figura 24 como “repetição”) existe maior proximidade entre T interna e T externa, possivelmente devido a uma gestão diferenciada da cortina térmica em cada horário de recolha.

A temperatura de conforto para porcas em gestação é citada por MENDONÇA (2010) como estando compreendida entre os 16°C e os 19°C, sendo a temperatura ótima para reprodução no intervalo de 12,8°C a 18,3°C. As temperaturas críticas inferiores (Tci) e superiores (Tcs) para este tipo de fase fisiológica são, segundo a mesma fonte, Tci = 10°C e Tcs = 24°C.

Então, pode afirmar-se que o valor de Tm, encontrado para o interior das salas em análise durante o período A, se encontra num limiar aceitável de conforto térmico e reprodutivo, não ultrapassando a temperatura crítica superior para a fase fisiológica.

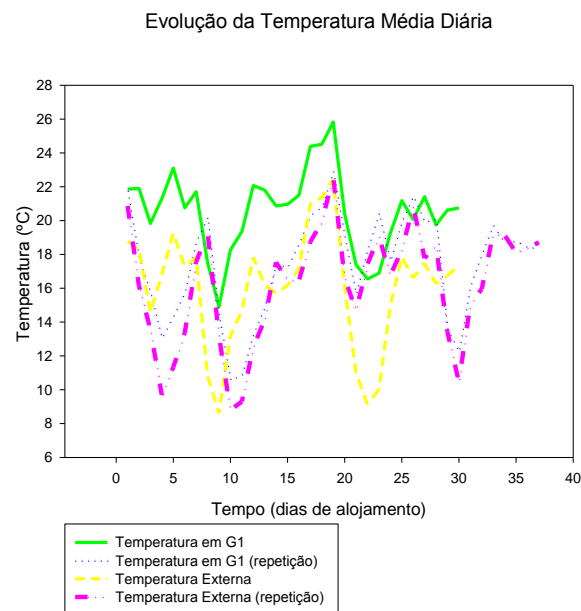


Figura 23 - Evolução Temporal de Tm diária (°C) no período A (G1)

Evolução da Temperatura Média Diária

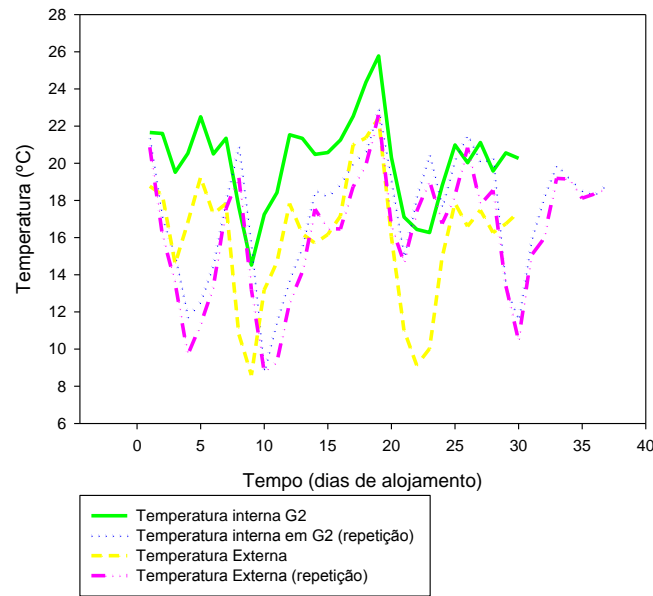


Figura 24 - Evolução Temporal de Tm diária (° C) no período A (G2)

5.3.1.2 Humidade Relativa

Os valores de HR apresentam-se elevados no exterior do edifício, com valores máximos na ordem dos 97%. No interior do edifício, o valor máximo encontrado é de 96%, com uma média de aproximadamente 71% de humidade para as duas salas (Tabela 15).

Tabela 15 - Dados de HR (%) nas instalações (interior e exterior) no período A

Ponto	Média $\pm \sigma$	Máximo	Mínimo
Interior	71,5 \pm 8,1	96,0	54,4
Exterior	77,7 \pm 9,3	96,7	55,0

Obs.: σ - desvio-padrão

A Figura 25 e a Figura 26 traduzem uma evolução sensivelmente idêntica da HR no interior de G1, com valores mais elevados predominando na UPCA (identificada na Figura 25 e Figura 26 como “repetição”). Em G2, o comportamento mantém-se.

A evolução da HR no exterior das instalações da UPMA segue um padrão semelhante ao encontrado para o interior; no entanto, os valores percentuais apresentam-se mais elevados. Esta diferença poderá ser indicativa de uma gestão regular das cortinas térmicas, que funcionam como agentes controladores de ambiente da unidade, isolando o ar exterior do interior de modo a manter condições favoráveis de habitação para o suíno.

Na UPCA, verifica-se ainda que a evolução é semelhante no interior e exterior das instalações, apresentando valores muito próximos para G1, G2 e ambiente externo. Esta proximidade de valores

poderá indicar uma ventilação quase constante do edifício em causa ao longo do tempo, com fraca regulação da altura da cortina térmica ou problemas de isolamento na UPCA.

A humidade relativa varia entre 55% a 99% em ambos os casos.

Tendo em conta a intervalo de conforto térmico das porcas em gestação (70% a 80% de HR), é possível afirmar que os valores médios de HR se encontram na faixa indicada, rondando os 71% no interior do edifício.

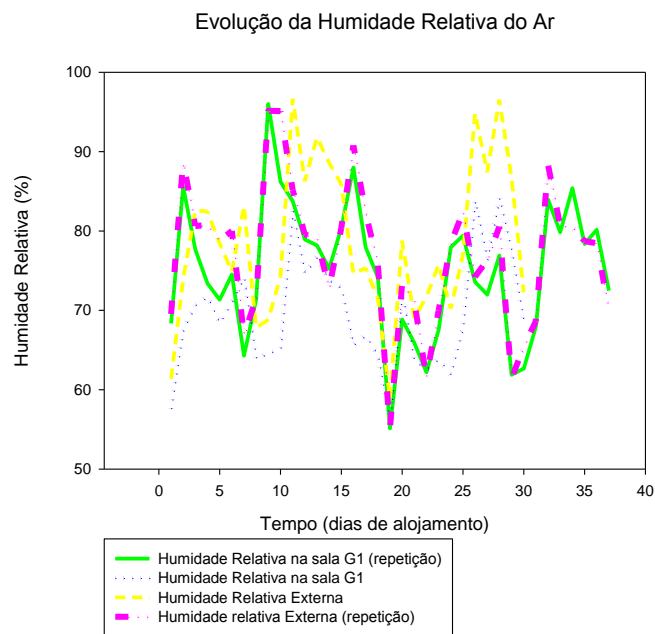
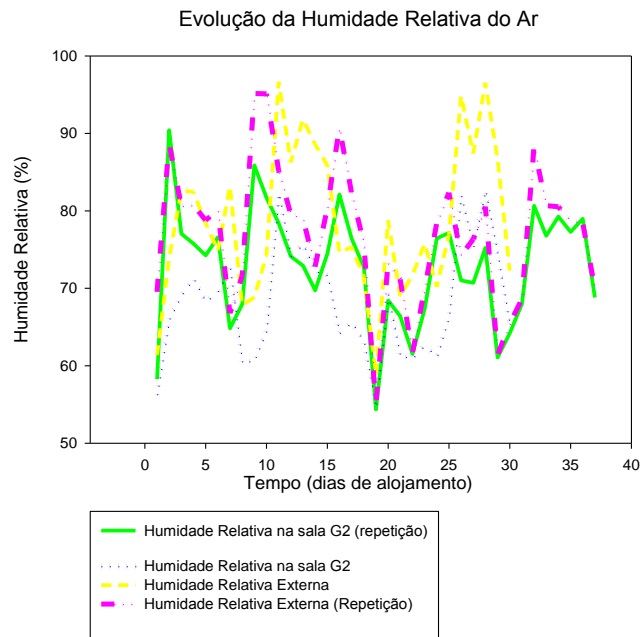


Figura 25 – Evolução da HR do Ar (%) no período A (G1)

Figura 26 - Evolução da HR do Ar (%) no período A (G2)

5.3.2 Período B

5.3.2.1 Temperatura

Os valores de Tm no Período B apresentam-se mais elevados, com T máximas e T mínimas mais próximas que as encontradas para o período A (variações entre 20°C e 26°C para o interior e entre 17°C e 26°C para o exterior dos edifícios), sendo que Tm no interior varia de apenas 1° de Tm no exterior (Tabela 16)

Tabela 16 - Dados de T (°C) registadas no interior e exterior das instalações (período B)

Ponto	Média $\pm\sigma$	Máximo	Mínimo
Interno	22,7 \pm 1,3	25,6	19,8
Externo	21,7 \pm 1,9	25,5	16,9

Obs – σ – desvio-padrão

A análise gráfica da evolução de T na UPMB e UPCB (identificada na Figura 27 e Figura 28 como “repetição”) permite confirmar o anteriormente descrito. A T interna em G2 apresenta comportamento semelhante e valores muito próximos para as duas medições efetuadas, sendo que T externa está muito próxima e possui evolução semelhante ao longo do tempo. O mesmo acontece com G1, sendo que, neste caso, T se apresenta superior na UPCB. (Figura 27 e Figura 28).

Tendo em conta o intervalo de conforto térmico das porcas em gestação, é possível verificar que os valores se apresentam ligeiramente afastados do desejável (intervalo de conforto térmico de 16°C a 19°C e de conforto reprodutivo até 18,3°C), no entanto, ainda se encontram na região de termoneutralidade normalmente verificada neste tipo de sala (Tcs=24°C).

Evolução da Temperatura média diária

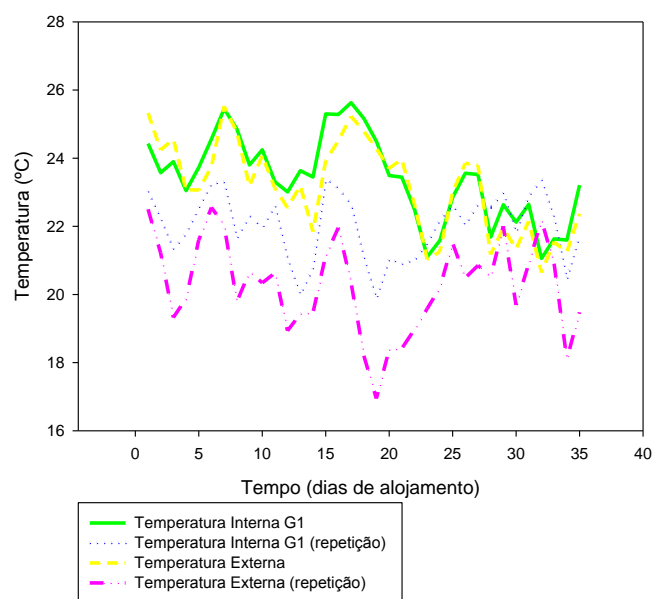


Figura 27 - Evolução Temporal da Tm (°C) no período B (G1)

Evolução da Temperatura Média Diária

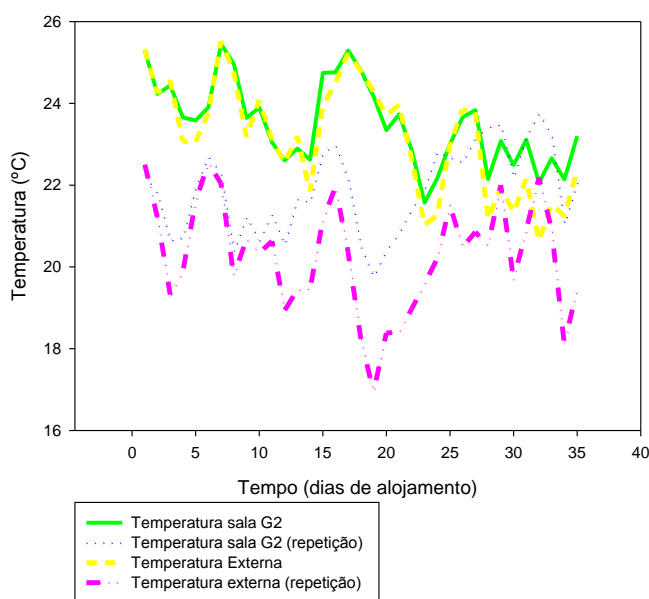


Figura 28 - Evolução Temporal da Tm (° C) no período B (G2)

5.3.2.2 Humidade relativa

No que se refere à HR, durante o período B, foram determinadas variações reduzidas entre os valores obtidos para o interior e exterior das instalações, tanto para a primeira (UPMB) como para a segunda (UPCB) medição. No entanto, é possível verificar um aumento dos valores máximos e mínimos de amostragem na UPCB, obtendo-se também maiores variações de HR para este caso (Tabela 17 e Tabela 18).

A comparação dos resultados entre os dois períodos estudados (A e B) permite constatar uma proximidade significativa entre os valores obtidos no interior das salas, nas quatro repetições efetuadas.

Tabela 17 - HR (%) para o interior e exterior das Instalações no período B

Ponto	Média±σ	Máximo	Mínimo
Interno	72,7±5,9	86,3	64,6
Externo	72,0±6,4	86,2	62,9

Obs.: σ desvio-padrão

Tabela 18 - HR (%) para o interior e exterior das Instalações no período B (UPCB)

Ponto	Média±σ	Máximo	Mínimo
Interno	74,4±7,8	96,9	63,1
Externo	81,8±8,6	98,2	69,4

Obs.: σ –desvio - padrão

A evolução gráfica de HR encontrada no interior e no exterior do edifício quase não apresenta variações, encontrando-se os valores percentuais bastante próximos durante todo o período de medição, em G2. O resultado poderá estar relacionado com a regulação menos periódica das cortinas térmicas, permitindo a criação de uma atmosfera quase idêntica no interior e exterior da instalação. Em G1, verificam-se períodos de maior oscilação entre os valores de HR internos para as duas medições efetuadas (UPMB e UPCB - de novo identificada como “repetição”); no entanto, verifica-se proximidade entre os valores internos e externos tanto na UPMB como na UPCB. No exterior do edifício, os valores de HR são sempre mais elevados, com valores entre os 65% e os 99% em ambos os casos (Figura 29 e Figura 30).

Considerando o anteriormente exposto, no que se refere aos intervalos de conforto térmico das porcas gestantes, é possível afirmar que os valores de HR, neste caso, se encontram também dentro do patamar estipulado, rondando os 72% a 74%, para o período.

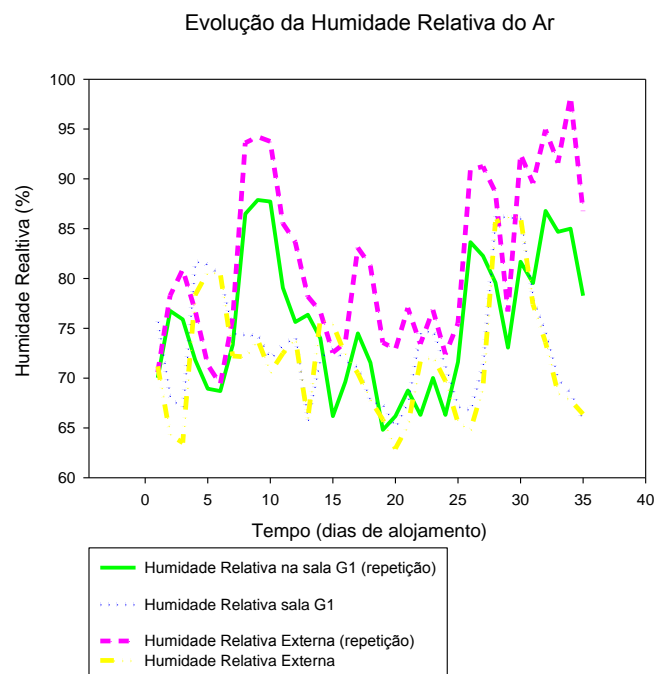


Figura 29 - Evolução da HR do Ar (%) para o período B (G1)

Evolução da Humidade Relativa do Ar

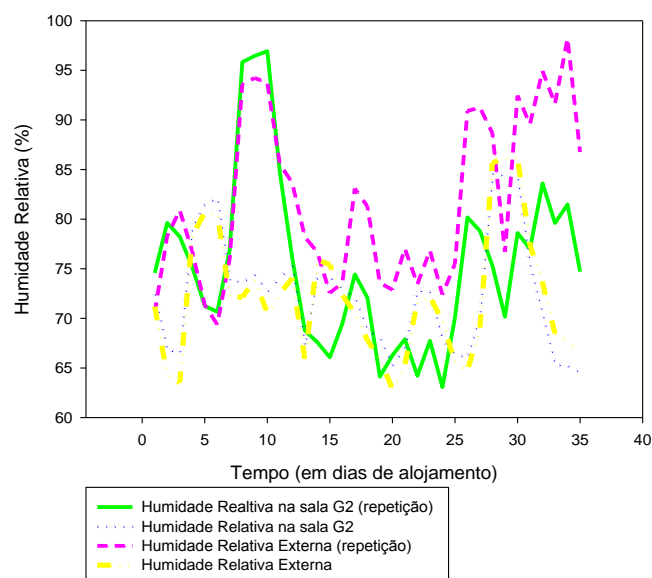


Figura 30 - Evolução da HR do Ar (%) para o período B (G2)

5.3.3 Avaliação do Conforto das Matrizes Alojadas

Enquadrando os resultados obtidos para a relação HR-T nas salas analisadas (Tabela 19) com as classificações estabelecidas por PANDORFI (2005), é possível constatar que as instalações avaliadas apresentam resultados de conforto térmico muito bons para o período A (T na ordem dos 19°C e HR na ordem dos 71%) e bons para o período B (T rondando os 23°C e HR na faixa de 70-80%).

Tabela 19 - Valores Médios de T (°C) e HR Interna (%) por período

Período	T Média (°C)	HR Média (%)
A	19	71,5
B	22,7	[72,7-74,3]

5.4 Produção de Gases

A caracterização das UP, no referente à produção de gases, foi efetuada com base nos resultados de monitorização pontual das salas de gestação para dois horários, matutino e vespertino, nos diferentes regimes de alojamento: G1 e G2.

As tabelas abaixo são resultado do tratamento estatístico das amostras obtidas em campo e apresentam as médias de concentração (corrigidas pelos respetivos erros-padrão) encontradas para os dois períodos de análise, nas quatro repetições efetuadas.

A diferença entre as médias de concentração obtidas no interior e no exterior das UP foi designada como concentração ambiental (CA) de gás e encontra-se, também, tabelada.

5.4.1 Dióxido de Carbono (CO₂)

O CO₂ é originário maioritariamente da respiração dos animais, podendo também ser gerado por processos de decomposição dos chorumes produzidos, sendo expectável a sua existência no interior das instalações. Por ser um gás mais denso que o oxigénio, existindo de forma natural no interior e exterior das instalações, é utilizado como o gás de referência.

A Tabela 20 apresenta a média das concentrações de CO₂ (em ppm-v) amostradas no interior e no exterior das quatro unidades em análise, para os horários matutino e vespertino e respetivas concentrações ambientais (CA).

Tabela 20 - Médias de Concentração de CO₂ por horário de amostragem (ppm - v)

CO₂ (ppm)	Matutino (Média±α)	Vespertino (Média±α)
Concentração Externa	504±46	502±40
Concentração em G1	773±207	663±167
Concentração em G2	888±266	739±145
CA em G1	269±192	162±169
CA em G2	384±250	237±147

Obs.: α – erro-padrão

É possível constatar uma diminuição das concentrações ao longo do tempo (do horário matutino para o vespertino), no interior das instalações, não havendo variação significativa nos valores de concentração exterior. Mais ainda, é possível verificar um aumento das concentrações de G2 em relação a G1, para os dois horários de amostragem.

Com base nas diferenças de concentração de CO₂ no exterior e no interior do edifício, foi ainda possível determinar, para este gás, a CA média prevista para G1 e para G2, no horário matutino e no horário vespertino. É possível observar uma diminuição da CA do horário de amostragem matutino para o vespertino, sendo que, globalmente, as variações observadas são maiores para G2.

O mecanismo aplicado para regulação da T e ventilação (redução ou aumento da abertura das cortinas térmicas) poderá atuar como barreira à passagem de ar do interior para o exterior do edifício (ou vice-versa) impedindo a mistura do ar circulando nos dois ambientes.

Desta forma, poderá explicar-se a variação de CA de CO₂ verificada no interior das salas: nos horários de amostragem onde se verifica uma abertura menor da cortina térmica (horário de amostragem matutino, mais frio), a CA de CO₂ será mais elevada em função das diferenças mais acentuadas de concentração entre o interior e o exterior do edifício; por oposição, nos horários de amostragem em que a abertura é maior (horário de amostragem vespertino, mais quente) a CA de CO₂ tende a ser mais reduzida.

A Tabela 21 apresenta a média diária das concentrações e dos intervalos de concentração de CO₂ amostradas no interior e no exterior das quatro unidades em análise (em ppm-v). A Tabela 22 resume os resultados para os dois tipos de alojamento acompanhados durante as 4 repetições.

Tabela 21 - Concentrações médias diárias de CO₂ observadas (ppm-v)

Concentração de CO ₂	Média Diária ($\pm\alpha$)
Concentração Externa	503 \pm 43
Concentração em G1	720 \pm 194
Concentração em G2	815 \pm 226
CA em G1	217 \pm 187
CA em G2	312 \pm 217

Obs.: α – erro-padrão

Tabela 22 - Concentrações médias de CO₂ observadas no interior da unidade (ppm-v)

CO ₂	Média Diária ($\pm\alpha$)
Concentração Interna	767 \pm 215
CA	265 \pm 207

Obs.: α – erro-padrão

5.4.2 Amoníaco (NH₃)

A Tabela 23 apresenta a média das concentrações de NH₃ (em ppm-v) amostradas no interior e no exterior das quatro UP em análise e respectivas CA, para os horários de amostragem matutino e vespertino.

Tabela 23 - Médias de concentração de NH₃ por horário de amostragem (ppm-v)

NH ₃	Matutino (Média $\pm\alpha$)	Vespertino (Média $\pm\alpha$)
Concentração Externa	1,033 \pm 0,3	1,034 \pm 0,2
Concentração em G1	3,2 \pm 1,5	2,5 \pm 1,4
Concentração em G2	4,0 \pm 3,4	2,5 \pm 1,8
CA em G1	2,1 \pm 1,6	1,5 \pm 1,4
CA em G2	2,9 \pm 3,4	1,5 \pm 1,8

Obs.: α – erro-padrão

Verifica-se, de novo, uma diminuição dos valores de concentração ao longo do dia (do horário matutino para o vespertino). Os maiores valores de CA registam-se, também, no horário de amostragem matutino.

A Tabela 24 apresenta a média diária das concentrações e da CA de NH₃ no interior e no exterior das quatro unidades em análise. A Tabela 25 resume os resultados para os dois tipos de alojamento acompanhados durante as 4 repetições.

Tabela 24 - Concentrações médias diárias de NH₃ observadas (ppm-v)

NH ₃	Média Diária ($\pm\alpha$)
Concentração Externa	1,033 \pm 0,2
Concentração Interna em G1	2,8 \pm 1,4
Concentração Interna em G2	3,3 \pm 2,8
CA G1	1,8 \pm 1,5
CA G2	2,2 \pm 2,8

Obs.: α – erro-padrão

Tabela 25 - Concentrações médias diárias de NH₃ observadas no interior da unidade (ppm-v)

NH ₃	Média Diária ($\pm\alpha$)
Concentração Interna	3,1 \pm 2,2
CA	2,0 \pm 2,2

Obs.: α – erro-padrão

Recordando que a quantidade de N amoniacal presente no efluente é representativa da magnitude da libertação de NH₃ para a atmosfera, e que se verificou maior concentração de N amoniacal no chorume de G1 (74%) em relação à concentração de N amoniacal encontrada em G2 (67%), é expectável uma emissão mais acentuada de NH₃ em G1.

No entanto, ao comparar-se os valores de concentração gasosa encontrados para G1 e G2, constata-se que existe incongruência nos resultados obtidos, uma vez que se observam maiores concentrações de NH₃ nos alojamentos G2.

É necessário, pois, analisar ainda uma terceira variável que, segundo BASSO et al (2004), poderá contribuir para o aumento das perdas de N por volatilização, contribuindo para o aumento da concentração de NH₃ na atmosfera: o teor de matéria seca.

Analisando o resultado obtido para o teor de matéria seca existente no chorume de G2 (3%) em relação ao encontrado para o teor de matéria seca em G1 (1,3%), confirmam-se as suposições anteriores, verificando-se que a concentração mais elevada de NH₃ nas instalações G2 poderá mesmo ser explicada pelo maior teor em matéria seca do chorume produzido.

Os resultados obtidos poderão também ser utilizados na análise do estado de conforto das matrizes gestantes, relacionando a concentração de NH₃ ([NH₃]) nas salas com a T ambiente encontrada, de acordo com a Tabela 6 (PANDORFI (2005))

Tendo em conta os valores médios observados no período, é possível posicionar as UP avaliadas numa classificação entre muito boa (19°C no período A com níveis de NH₃ rondando os 2-3ppm interno) e boa (23°C no período B, com níveis de NH₃ rondando os 2-3ppm interno).

5.4.3 Óxido Nitroso (N₂O)

A Tabela 26 apresenta a média das concentrações de N₂O amostradas no interior e no exterior das quatro UP em análise e CA de gás, para os horários de amostragem matutino e vespertino.

Tabela 26 - Médias de concentração de N₂O por horário de amostragem (ppm-v)

N ₂ O	Matutino (Média±α)	Vespertino (Média±α)
Concentração Externa	0,5±0,09	0,5±0,09
Concentração em G1	0,5±0,11	0,5±0,09
Concentração em G2	0,5±0,16	0,5±0,11
CA em G1	0,04±0,06	0,04±0,05
CA em G2	0,08±0,1	0,07±0,06

Obs.: α – erro-padrão

Tendo em conta o intervalo de CA verificada para os horários de amostragem matutino e vespertino, é possível afirmar que a concentração de N₂O se mantém sensivelmente constante ao longo do dia, não sendo evidente (tendo em conta a ordem de grandeza dos valores de α) uma variação significativa nas concentrações entre G1 e G2.

Verifica-se que a diferença de concentrações internas e externas (ou seja, a CA de N₂O nas instalações) é também bastante reduzida. Contudo, e embora não exista variação acentuada entre concentrações de G1 e G2, a CA calculada para G2 aumenta cerca de 50% em relação à calculada para G1, tanto no horário de amostragem matutino como no horário de amostragem vespertino.

A Tabela 27 apresenta a média diária das concentrações e CA de N₂O no interior e no exterior das quatro unidades em análise. A Tabela 28 resume os resultados para os dois tipos de alojamento acompanhado durante as 4 repetições.

Tabela 27 - Concentrações médias diárias de N₂O observadas (ppm-v)

N ₂ O	Média Diária (±α)
Concentração Externa	0,5±0,08
Concentração Interna em G1	0,5±0,1
Concentração Interna em G2	0,5±0,1
CA G1	0,04±0,05
CA G2	0,07±0,08

Obs.: α – erro-padrão

Tabela 28 - Concentrações médias diárias de N₂O observadas no interior da unidade (ppm-v)

N₂O	Média Diária ($\pm\alpha$)
Concentração Interna	0,5 \pm 0,1
CA	0,06 \pm 0,07

Obs.: α – erro-padrão

5.4.4 Metano (CH₄)

A Tabela 29 apresenta a média das concentrações e CA de CH₄ no interior e no exterior das quatro UP em análise, para os horários de amostragem matutino e vespertino

Tabela 29 - Médias de concentração de CH₄ por horário de amostragem (ppm-v)

CH₄	Matutino (Média$\pm\alpha$)	Vespertino (Média$\pm\alpha$)
Concentração Externa	3,9 \pm 3,6	5,6 \pm 4,6
Concentração em G1	8,8 \pm 6,2	8,8 \pm 6,1
Concentração em G2	8,9 \pm 5,9	10,2 \pm 7,2
CA em G1	4,9 \pm 5,4	3,2 \pm 4,7
CA em G2	5,0 \pm 4,5	5,6 \pm 4,1

Obs.: α – erro-padrão

É possível verificar um aumento de concentrações no exterior do edifício e no interior de G2, entre o horário de amostragem matutino e o horário de amostragem vespertino. Em G1 não existe aumento podendo afirmar-se que as concentrações se mantêm sensivelmente constantes ao longo do tempo.

Conforme observado para os restantes gases, as concentrações variam de G1 para G2, sendo mais acentuadas no interior de G2.

Do mesmo modo que anteriormente, foram calculadas as diferenças de concentração de CH₄ do interior para o exterior do edifício, de modo a quantificar a CA de gás dentro das unidades ao longo do tempo. Constatou-se que a CA em G2 cresce ligeiramente ao longo do tempo, apresentando um comportamento contrário ao verificado para os outros gases; em G1, o comportamento é similar ao dos outros gases, já que a CA decresce do período matutino para o período vespertino.

As baixas concentrações de CH₄ estarão associadas à renovação do ar dentro do edifício, com diluição dos gases no seu interior e conseqüente redução dos seus níveis de concentração.

A Tabela 30 apresenta a média diária das concentrações e de CA de CH₄ no interior e no exterior das quatro unidades em análise. A Tabela 31 resume os resultados para os dois tipos de alojamento acompanhados durante as 4 repetições.

Tabela 30 - Concentrações médias diárias de CH₄ observadas (ppm-v)

CH₄	Média Diária ($\pm\alpha$)
Concentração Externa	4,8 \pm 4,1
Concentração Interna G1	8,8 \pm 6,1
Concentração Interna G2	9,5 \pm 6,5
CA G1	4,8 \pm 5,1
CA G2	5,6 \pm 4,2

Obs.: α – erro-padrão

Tabela 31 - Concentrações médias diárias de CH₄ observadas no interior da unidade (ppm-v)

CH₄	Média Diária ($\pm\alpha$)
Concentração Interna	9,184 \pm 6,272
CA	5,189 \pm 4,670

Obs.: α – erro-padrão

5.4.5 Limites de Exposição Animal e Humana

De acordo com o estipulado no Anexo 11 da Norma Regulamentadora NR-15, o limite de exposição humana a CO₂ é 3900 ppm (em 48h/semana). Considerando o intervalo de médias de concentração calculado para o interior (G1, G2 e total) e exterior dos edifícios, é possível afirmar que não existem desvios dos valores estipulados, com concentrações entre 700 e 900ppm diários. Os valores também não ultrapassam os estabelecidos por STINN (2014) para nenhuma das duas etapas de gestação (Tabela 1).

O limite de exposição humana a NH₃, segundo o estabelecido pela NR-15, é 20ppm (em 48h/semana), sendo que o ser humano é capaz de detectar este composto em concentrações próximas de 5ppm. De modo a prevenir os efeitos decorrentes da sinergia entre o NH₃, a poeira e os microorganismos nocivos à saúde animal, DONHAM (2002) estabeleceu ainda um limite de concentração interna de 7ppm para o interior das unidades de produção. STINN (2014) coloca este valor em 9,7ppm (Tabela 1).

Considerando o intervalo de médias de concentração calculado para o interior (G1, G2 e total) e exterior dos edifícios, é possível afirmar que não existem desvios dos valores estipulados, encontrando-se as concentrações dentro dos limites de exposição aceitáveis para a existência de condições de trabalho e alojamento seguras.

O N₂O é considerado pela NR-15 como um gás asfíxiante simples, considerando-se que os seus efeitos serão mais ou menos acentuados consoante a percentagem de oxigénio existente no ar. No entanto, STINN (2014) coloca um patamar de 0,3 ppm de concentração interna para este tipo de gás (Tabela 3). Tendo em conta a maioria dos dados de literatura encontrados, os valores de concentração podem então ser considerados pouco significativos no cenário apresentado; todavia,

verifica-se que ultrapassam o patamar estabelecido por STINN (2014), para ambas as etapas de gestação.

Também o CH₄ é indicado pela NR-15 como tratando-se de um gás asfixiante simples, sem limite de exposição designado e com efeitos mais ou menos significativos consoante a percentagem de oxigénio do ar. Os valores apresentados por STINN (2014) para limite de concentração interna deste gás também se apresentam bastante elevados em relação aos obtidos por via experimental. Tendo em conta a ordem de grandeza das concentrações ambientais verificadas e o grau de ventilação dos edifícios, pode-se inferir que estes não estarão fora dos limites legais, não apresentando ameaça à saúde humana.

5.5 Caso de Estudo na Unidade Modelo do Período A

O cálculo dos fatores de emissão de GEE e NH₃ foi efetuado para UPMA, onde se encontravam alojadas 161 matrizes em G1 e 49 matrizes em G2.

5.5.1 Avaliação Preliminar do Ambiente

Os valores médios de V (m/s), T (°C) e higrometria obtidos por medição pontual na UPMA estão sintetizados na Tabela 32, em unidades S.I.

Tabela 32 - Valores Médios de T (°C), V (m/s) e HR (%) do ar obtidos por medição pontual na UPMA

Localização	T (°C) ±σ	V (m/s) ±σ	HR (%) ±σ
Interior	20,1 ± 5,12	0,1 ± 0,09	66,6 ± 16,05
Exterior	18,1 ± 6,20	0,4 ± 0,49	61,7 ± 20, 61

Obs.: σ –desvio-padrão

A relação T-HR, verificada para o interior da unidade, permite classificar as condições de alojamento como muito boas, de acordo com as indicações da Tabela 5. Os valores médios encontrados para V (m/s) no interior das instalações encontram-se concordantes com as condições ótimas indicadas por MENDONÇA (2010) para o interior das instalações de reprodução: o autor estabelece um limite de V entre 0,1m/s e 0,4m/s para o período considerado, estando estes valores relacionados com a época do ano a que reportam (os menores valores serão referência para ambientes mais frios, sendo os limites superiores referência para ambientes mais quentes).

Por outro lado, os valores de σ associados à medição indicam que existe alguma dispersão dos valores de V em torno do valor médio.

Esta variabilidade poderá ser explicada tendo em conta que, em condições de ventilação natural como as verificadas na UPMA, a passagem de ar está dependente de fatores externos, como a existência de vento, que alteram ordem de grandeza dos valores de V medidos nas instalações.

5.5.2 Caracterização da Unidade Analisada

Tabela 33 resume os dados de produção de chorume (calculado com recurso à área de armazenamento de cada alojamento e altura da lâmina de chorume medida no ato da descarga), consumo de água (calculado a partir dos dados recolhidos dos hidrómetros), consumo de ração e número de matrizes alojadas (conforme informações fornecidas pelo produtor) na instalação durante o período de avaliação da UPMA (Agosto a Setembro de 2014).

Comparando os resultados obtidos em G1 e G2, é possível perceber que a utilização do sistema de vasos comunicantes conduz a um maior desperdício de água em G1, onde, para um consumo menor de ração, as matrizes alojadas aparentam beber o triplo da água das que estão alojadas em G2.

Tal erro pode estar associado ao regime conjunto de fornecimento de ração e água, com fluxo contínuo de líquido passando na canaleta e sendo registado pelos hidrómetros ao longo do ciclo.

O consumo efetivo de água pelas matrizes é, portanto, bastante mais baixo que o obtido pela medição direta nas instalações, sendo a ordem de grandeza do volume de chorume produzido aproximadamente igual em G1 e G2. Os valores ajustados para o volume de chorume, efetivamente utilizados no decorrer dos cálculos posteriores, encontram-se também compilados na Tabela 33.

Tabela 33 - Caracterização dos alojamentos de Gestação da UPMA (animal/dia)

Alojamento	Animais Alojados	Água Consumida (L)	Volume de Chorume (L)	Volume de Chorume Ajustado (L)	Quantidade de Ração (kg)
G1	161	21,7	13,6	4,4	1,7
G2	49	7,0	4,4	4,4	2,3

A Tabela 34 fornece a caracterização física dos animais alojados, conforme os dados obtidos pelas agroindústrias no relativo ao ganho de peso diário (Y_2), Taxa de Carne Magra (TCM) e Peso Vivo (PV) das matrizes gestantes.

Tabela 34 - Ganho de Peso Diário (Y_2), Taxa de Carne Magra (TCM) e Peso Vivo (PV) das matrizes alojadas

Características Físicas dos Animais Alojados			
Alojamento	Y_2 (kg/dia)	TCM (kg)	PV (kg)
G1	0,318	54	190
G2	0,318	54	202,7

5.5.3 Balanço de Calor

O calor total produzido pelas matrizes gestantes, para G1 e G2, foi calculado com recurso à equação (8) - válida para as condições térmicas verificadas no interior do edifício. O cálculo da quantidade de CO₂ produzida pela respiração dos animais (dado em L/h.animal), assim como a quantidade de água metabólica gerada em G1 e G2 (em kg/animal) são calculadas a partir do calor

total produzido, seguindo a equação (14) e equação (15). Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 35.

Tabela 35 - Calores Estimados, Produção de Água Metabólica e Produção de CO₂ por alojamento

Alojamento	Calor total (W/animal)	Calor sensível (W/animal)	Calor latente (W/animal)	Produção CO₂ (L/h.animal)	Produção H₂O Metabólica (kg/animal)
G1	279,8	71,0	208,8	51,8	0,04
G2	336,3	116,2	220,1	62,2	0,05

Verificam-se valores mais elevados de calor produzido em G2, onde o peso corporal das fêmeas se aproxima de 203kg. Como consequência, os valores estimados de produção de CO₂ e água metabólica também aumentam, para G2.

5.5.4 Concentração Ambiental de Gases

A Tabela 36 é a compilação dos resultados obtidos pela análise das amostras pontuais de gases recolhidas no interior da UPMA ao longo do ciclo de produção (em ppm-v). Devido ao fator de erro associado à leitura do espectro de CH₄ pelo medidor INNOVA 1412, serão apresentados, para este gás, apenas os valores de CA.

Comparando os valores de concentração interior amostrados com aqueles indicados como valores limite de referência pela literatura, é possível constatar que todos se encontram dentro dos limites aceitáveis, estabelecidos pela NR-15, tanto para suínos como para humanos.

Os valores de N₂O afastam-se ligeiramente do estabelecido por STINN (2014); no entanto, não se afastam o suficiente para se considerarem significativos tendo em conta o regime de ventilação aplicado nas instalações (exclusivamente natural).

PANDORFI (2005) coloca a unidade de produção em condições entre boas e razoáveis de conforto para as matrizes alojadas, tendo em conta a relação entre a T interna e os níveis de NH₃ medidos no interior (Tabela 6).

Tabela 36 - Concentrações (ppm-v) dos gases medidos (com exceção do CH₄)

Alojamento	CO₂	NH₃	N₂O
G1	969,6	4,8	0,434
G2	990,9	6,6	0,434
Externo	508,9	0,9	0,364

O valor obtido para a concentração externa de NH₃ foi mais elevado do que seria de esperar, aproximando-se de 1ppm. Tal resultado poderá ser explicado considerando possíveis contaminações derivadas da proximidade do local de recolha à esterqueira ou ao galpão da maternidade.

Os valores para a CA de gás em G1 e G2, encontram-se compilados na Tabela 37.

Tabela 37 – Concentração Ambiental de cada um dos gases medidos (ppm-v)

Alojamento	CO₂	CH₄	NH₃	N₂O
G1	460,6	9,2	3,9	0,070
G2	481,9	5,7	5,7	0,070

A produção de CO₂, numa unidade suinícola, é maioritariamente devida à respiração dos animais; será, então, lícito inferir-se que a concentração deste gás no interior da instalação tenderá a aumentar com o aumento do número de animais alojados

Na unidade analisada, onde o total de matrizes alojadas em G1 (161 animais) era consideravelmente superior ao total de matrizes alojadas em G2 (49 animais), seria expectável observar-se um aumento na ordem de grandeza dos valores de CA de G1 relativamente a G2.

No entanto, a conclusão a retirar dos resultados obtidos contraria essas permissas: para além de não se observarem variações significativas nos valores de concentração ambiental de CO₂ ao longo do ciclo (G1 e G2 diferem, em média, 21ppm), é no alojamento G1 que se verifica menor CA.

Na UPMA, a gestação era realizada em sala única, sem existência de paredes divisórias entre as áreas de G1 e G2, sendo possível a mistura de ar no interior do estabelecimento. Tal particularidade, poderá estar relacionada com a aparente estabilidade encontrada nos valores de CO₂ medidos no interior da sala de gestação.

As concentrações de NH₃ encontradas para G1 foram também mais reduzidas, observando-se valores similares de CA de N₂O em G1 e G2. A CA de CH₄ apresentou-se superior em G1.

5.5.5 Fatores de Emissão de Gases

Os fluxos (ou fatores) de emissão de gases em G1 e G2 (expressos em g/animal.dia) encontram-se compilados na Tabela 38 e na Tabela 39.

Tabela 38 - Fluxos de compostos de C obtidos através do calor total, por alojamento (g/animal.dia)

Alojamento	Fluxo CO₂	Fluxo CH₄	Fluxo Total de C
G1	743,9	16,9	760,8
G2	919,9	11,7	931,6

Tabela 39 - Fluxos de compostos de N obtidos através do calor total, por alojamento (g/animal.dia)

Alojamento	Fluxo N₂O	Fluxo NH₃	Fluxo Total de N
G1	0,4	7,3	7,7
G2	0,5	12,1	12,6

Os fluxos observados para G1 são inferiores aos verificados para G2, exceção feita ao CH₄ que, uma vez mais, apresenta valores superiores.

Da observação da Tabela 38 e da Tabela 39 é possível constatar um incremento substancial nas emissões médias de C e N pelas matrizes alojadas em G2, estando, à partida, corroborada a hipótese de que existe influência do sistema de alojamento sobre os fatores de emissão de gases, para o caso de estudo.

A hipótese poderá ser validada considerando que a cada sistema de alojamento estão associadas modificações na gestão de chorume, área total de ventilação, número e estágio de prenhez das matrizes gestantes, que afetarão diretamente os fatores de emissão calculados.

Na Tabela 40 estão representadas as frações de NH₃ emitidas para a atmosfera, em relação à quantidade de chorume excretada e em relação à quantidade total de N perdida para o ambiente, calculadas em relação às perdas teóricas estimadas e às encontradas tendo em conta os fluxos de emissão obtidos por via analítica.

Tabela 40 - Fração de N emitido sob a forma de NH₃ em relação ao conteúdo em N excretado, ao conteúdo total de N perdido e ao Fluxo de N estimado (%)

Alojamento	%NH₃ emitido excreta	%NH₃ emitido perdas	%NH₃ emitido fluxo
G1	0,3	98	82
G2	2,1	99	85

Verifica-se, como seria de esperar, que a maioria do N libertado para a atmosfera é proveniente da fração amoniacal, podendo então considerar-se que a contribuição das emissões de N₂O e N₂ poderão considerar-se desprezáveis para o balanço total.

A percentagem de N amoniacal que é volatilizada a partir do chorume apresenta valores bastante reduzidos; porém, é compatível com a produção de NH₃ encontrada no interior das instalações.

A percentagem de NH₃, encontrada na medição dos fluxos de emissão, apresenta um erro de 17% para G1 e 15% para G2 em relação ao valor teórico encontrado pelo balanço de perdas.

A emissão de N está ainda dependente da quantidade de N₂ libertado para a atmosfera; porém, a metodologia aplicada não permite a quantificação de tais perdas, gerando um erro de estimativa para as emissões totais do elemento.

É importante, por isso, proceder à validação dos resultados obtidos, recorrendo a balanços de massa de nutrientes e água ao longo do ciclo. De acordo com o estabelecido por ROBIN (2006), a percentagem de erro aceitável para este tipo de cálculo não deverá exceder os 30%.

5.5.6 Validação da Metodologia

A validação da metodologia foi efetuada com recurso a balanço de massa e balanço de perdas de nutrientes (C, N e P) ao longo do ciclo de produção.

Para tal, foi necessário calcular a quantidade ingerida e excretada de cada elemento, por via analítica e em relação a valores de referência, conforme anteriormente descrito.

A Tabela 41 e a Tabela 42 apresentam a compilação dos dados originais de concentração de cada elemento, medidos na matéria original, para ração e chorume da UPMA.

Tabela 41 - Caracterização Físico-Química da ração na UPMA, para os elementos C, N, P (g/kg)

C (g/kg)	N (g/kg)	P (g/kg)
397,4	23,2	4,5

Tabela 42 - Caracterização Físico-Química do chorume na UPMA para os Elementos de C, N, P (g/L)

Alojamento	C (g/L)	N (g/L)	P (g/L)
G1	10,7	3,2	1,2
G2	19,8	4,9	1,7

Os resultados de balanço de massa em G1 e G2, para a UPMA, encontram-se expressos na Tabela 43, na Tabela 44 e na Tabela 45.

Tabela 43 - Balanço de P (kg/animal.dia)

Alojamento	P Ingerido	P Retido	P Excretado Estimado	P Excretado Medido	Erro (%) ¹⁰
G1	7,7	1,7	6,0	5,2	13%
G2	10,5	1,7	8,8	7,7	12%

Observando o erro associado ao balanço de P, é válida a hipótese de conservação de P.

Tabela 44 - Balanço de N (kg/animal.dia)

Alojamento	N ingerido	N Retido	N Excretado Estimado	N Excretado Medido	Erro (%)
G1	39,5	6,5	33,0	13,9	58%
G2	53,5	6,5	46,9	21,5	54%

Os erros associados ao balanço de massa de N prendem-se com o processo de volatilização do N do chorume suíno.

Nas condições de alojamento com piso de cimento compacto, como as apresentadas na UPMA, os animais alojados defecam e urinam diretamente no piso, existindo maior superfície de contacto do chorume com o piso. Além disso, o chorume exposto no piso está sujeito a um maior contacto com o ar ambiente, sendo também pisoteado pelos animais, que revolvem o chorume.

Outro fator que cria condições para a volatilização do NH₃ é o contacto dos animais com o piso, pois, em boa parte do tempo, os animais permanecem deitados, aquecendo o piso por troca de calor. Assim, criam-se condições para a rápida volatilização do NH₃ para a atmosfera.

O valor de N Excretado estimado é um valor teórico que não tem em conta a emissão de compostos de N para a atmosfera. O valor de N Excretado medido é o valor de N efetivamente medido no

¹⁰ O erro foi calculado pela equação (34), em relação ao valor estimado. O mesmo procedimento foi adotado para o balanço de N.

chorume recolhido dos locais de armazenamento, no qual já se verificaram processos acelerados de volatilização dos compostos de N.

Tabela 45 - Balanço de C (g/animal.dia)

Alojamento	C Ingerido	C Excretado	C Perdido
G1	675,4	46,9	628,6
G2	913,8	88,1	825,7

Os resultados relativos à perda de C e N calculados a partir do fluxo de C, de acordo com o enunciado na Secção 3.4.3, estão resumidos na tabela 46.

Tabela 46 - Balanço de Perdas (g/animal.dia)

Alojamento	EC-CO ₂	EC-CH ₄	EN-NH ₃	EN-N ₂ O
G1	745,9	15,0	6,3	0,1
G2	920,6	10,9	10,8	0,1

As perdas associadas ao balanço de massa de C (dadas pela diferença do conteúdo ingerido e excretado, em g/animal.dia) e as estimativas de perda total de N (calculadas a partir dos resultados da Tabela 46, como o somatório das perdas em NH₃ e N₂O) estão resumidos nas Tabelas 47 e 48. Nas mesmas tabelas foram registados, também, os fluxos totais de emissão de C e N, determinados com recurso à equação do calor total e os erros relativos da sua estimativa.

Tabela 47 - Comparação das Perdas por Balanço de Massa (BM) e Fluxo de Emissão (FE) por alojamento (g/animal.dia)

Alojamento	Perda de C - BM	Perda de C - FE	Erro Estimado (%)
G1	628,6	760,8	17,4
G2	825,7	931,6	11,4

Tabela 48 - Comparação das Perdas Estimadas e Fluxo de Emissão (FE), por alojamento (g/animal.dia)

Alojamento	Perda de N	Perda de N - FE	Erro Estimado (%)
G1	6,43	7,7	16,5
G2	10,93	12,59	13,2

Foram encontrados desvios na ordem dos 16% a 20% na estimativa dos fluxos de emissão de C e N para G1, sendo os erros associados a G2 na ordem dos 11% a 17%.

O erro associado às perdas em N poderá estar associado à fração em N₂ emitida para a atmosfera, desconhecida e portanto desconsiderada nos balanços de massa efetuados. Em relação ao balanço de C, os erros de estimativa poderão estar associados a fração de C emitida para a atmosfera pela respiração das matrizes alojadas.

Tendo em conta o limiar de erro referenciado por ROBIN et al (2006) para aceitação dos resultados obtidos através da metodologia simplificada (<30%) é possível afirmar que estes se encontram próximos da realidade para o caso de estudo elaborado.

5.5.7 Comparação com os valores de caudal estimados através das aberturas de cortina

Os valores de fluxo estimados através da equação (38) estão próximos dos obtidos através do calor total, sendo o erro associado às estimativas inferior a 30% - exceção feita aos fluxos de CH₄ e N₂O em G1 (Tabela 49, Tabela 50, Tabela 51 e Tabela 52).

No entanto, há que ter em conta que, em edifícios ventilados naturalmente, a estimativa de caudal pela equação (38) é difícil de obter, porque está dependente da velocidade do ar que atravessa as instalações. O erro associado às estimativas de fluxo poderá ser reduzido quando consideradas outras velocidades do ar, obtidas por repetição das análises efetuadas.

Tabela 49 - Comparação dos valores de fluxo de NH₃ medidos pelo Calor Total e pela Equação de Caudal (g/animal.dia)

Alojamento	Fluxo Calor Total (g/animal dia)	Fluxo Caudal Medido (g/animal.dia)	Erro Estimado (%) ¹¹
G1	7,3	10,1	29
G2	12,1	9,6	26

Tabela 50 - Comparação dos valores de fluxo de N₂O obtidos pelo Calor Total e pela Equação de Caudal (g/animal.dia)

Alojamento	Fluxo Calor Total (g/animal dia)	Fluxo Caudal Medido (g/animal.dia)	Erro Estimado (%) ¹²
G1	0,4	0,75	45
G2	0,5	0,57	12

Tabela 51 - Comparação dos valores de fluxo de CO₂ medidos pelo Calor Total e pela Equação de Caudal (g/animal.dia)

Alojamento	Fluxo Calor Total (g/animal dia)	Fluxo Caudal Medido (g/animal.dia)	Erro Estimado (%)
G1	743,9	1023,4	27
G2	919,9	773,4	18

Tabela 52 - Comparação dos valores de fluxo de CH₄ medidos pelo Calor Total e pela Equação de Caudal (g/animal.dia)

Alojamento	Fluxo Calor Total (g/animal dia)	Fluxo Caudal Medido (g/animal.dia)	Erro Estimado (%)
G1	16,9	26,7	36
G2	11,7	15,2	23

¹¹ O erro neste caso foi calculado pelo módulo da equação (34), relativamente ao valor de fluxo. O mesmo procedimento foi adotado para as tabelas seguintes.

5.5.8 Comparação com os valores da literatura

Os valores obtidos para os fluxos de CO₂ e N₂O, na UPMA, mostraram-se inferiores aos obtidos por PHILIPPE AND NICKS (2014); já os valores de CH₄ foram um pouco superiores aos citados pela literatura.

A flutuação dos valores de CH₄ pode ser discutida tendo em conta o conteúdo em fibra das rações fornecidas durante a fase de gestação, bem como os erros de medição associados ao aparelho INNOVA 1412.

Segundo o enunciado por PHILIPPE AND NICKS (2014), a menor digestibilidade deste tipo de dieta conduzirá a alterações na quantidade de matéria orgânica excretada no chorume, podendo, ao nível da UP, aumentar as emissões de CH₄ entre 13 a 20%.

Tanto os valores de fluxo de emissão de NH₃ encontrados em G1 como os encontrados em G2 se apresentaram coerentes com os referidos na literatura; nomeadamente, o fluxo de emissão de NH₃ em G2 apresenta-se idêntico à taxa de emissão média de NH₃ indicada na literatura para porcas gestantes alojadas em piso de ripado (12,1g/animal.dia) e o valor de fluxo total encontrado para a G1 (7,7g/animal.dia) é próximo do estipulado por HYDE et al. (2003) para matrizes com peso aproximado de 200 kg (Tabela 39). Dado que o peso médio das matrizes alojadas em G1 foi estimado em 190 kg, é possível afirmar-se que os resultados obtidos apresentam coerência com o descrito na literatura.

Tendo em conta que os valores encontrados são compatíveis com os encontrados na literatura é ainda possível discutir sobre a boa qualidade de gestão e funcionamento da UPMA: em condições não controladas de ventilação, onde a qualidade do ambiente está sujeita à sensibilidade dos produtores, a unidade apresenta resultados próximos dos encontrados na União Europeia, onde a ventilação é mecânica e o ambiente é rigorosamente controlado.

6 Conclusões e Considerações para o futuro

6.1 Conclusões Gerais

A primeira parte do estudo, relativa à análise da variação das concentrações gasosas no interior das UP, em diferentes períodos do ano A e B, permitiu concluir que:

- O chorume de G1 apresenta características físico-químicas diferenciadas do chorume de G2, para todas as UP analisadas;
- A relação T-HR e T- [NH₃] dentro das UP é compatível com situações de conforto muito boas para o período A (T (°C) = 19°C e HR(%) = 71%; [NH₃] = [2-3]ppm) e boas para o período B (T(°C) = 23°C e HR = [70-80%]; [NH₃] = [2-3]ppm);
- Os valores de T (°C) encontrados para o período B afastam-se do intervalo de conforto térmico para matrizes gestantes, mas não ultrapassam os valores de termoneutralidade;
- As concentrações em G1 e em G2 encontram-se dentro dos limites de exposição animal e humana, para todos os gases;

- Os valores de concentração de gases encontrados nos horários de amostragem matutinos são superiores aos encontrados nos horários de amostragem vespertinos, em ambos os períodos A e B;
- Os valores de concentração de gases encontrados em G1 foram inferiores aos valores de concentração de gases encontrados em G2;

A segunda parte do estudo, relativa ao cálculo e análise dos fatores de emissão na UPMA, para diferentes regimes de alojamento, permitiu concluir que:

- A situação de conforto na UPMA pode ser classificada de muito boa tendo em conta a relação de T-HR e os valores de V encontrados; no entanto, a relação T-[NH₃] é característica de situações de conforto entre razoáveis e boas;
- O sistema de vasos comunicantes para alimentação das porcas alojadas em G1 conduz a um maior desperdício de água, sendo que as matrizes alojadas aparentam beber o triplo da água que as alojadas em G2;
- Existe dificuldade na medição da velocidade do ar que atravessa edifícios ventilados naturalmente;
- Os fatores (ou fluxos) de emissão encontrados em G1 foram inferiores aos encontrados em G2, com exceção dos calculados para CH₄ (G1: CO₂- 743,9 g/animal.dia, CH₄ - 16,9 g/animal.dia, N₂O – 0,4g/animal.dia, NH₃- 7,3g/animal.dia; G2: CO₂ – 919,9 g/animal.dia, CH₄ – 11,7g/animal.dia, N₂O – 0,5g/animal.dia, NH₃- 12,1/g. animal.dia);
- O balanço de massa de P apresentou um erro entre 10% e 15%, compatível com a hipótese de conservação de P;
- O valor de N excretado medido no chorume de G1 apresenta um erro de 58% e o valor de N excretado medido no chorume de G2 apresenta um erro de 54%, relativamente ao valor de N excretado estimado pelo balanço de massa;
- As condições de alojamento na UPMA são propícias à volatilização rápida de N no chorume;
- A Metodologia Simplificada é fiável e conduz a bons resultados de modelação;
- A gestão verificada na UPMA, em situação de ventilação natural e sem controlo do ambiente, permite a obtenção de resultados de emissão comparáveis aos de unidades de exploração da União Europeia, em situação de ventilação mecânica e ambiente rigorosamente controlado.

A resposta às hipóteses de estudo poderá ser dada da seguinte forma:

- O horário de amostragem tem subjacente uma mudança de T que influencia a gestão da cortina térmica, e conseqüentemente as concentrações internas de NH₃ e GEE.
- A mudança de alojamento de G1 para G2 tem subjacentes mudanças no estágio de prenhez, peso-vivo das matrizes e atividade metabólica do animal, quantidade e qualidade da alimentação fornecida, volume, gestão e tempo de retenção na calha do chorume produzido, que influenciam as emissões de NH₃ e GEE para a atmosfera.

6.2 Considerações para o futuro

O presente estudo está a ser continuado pela EMBRAPA, através de um trabalho de doutoramento ao abrigo do mesmo projeto. Neste contexto, será essencial alargar o universo de estudo e produzir resultados mais concretos. Será, então, fundamental:

- Estender o leque de análises efetuadas na UPMA às demais UP analisadas, de modo a estabelecer uma população amostral mais significativa;
- Efetuar análises em períodos mais alargados de tempo, nomeadamente considerando mais ciclos de produção e maior quantidade de repetições.
- Propor ajustes ao equipamento INNOVA 1412, de modo a reduzir os erros associados à medição de CH₄.

No futuro, sugere-se:

- O desenvolvimento de estudos da mesma natureza em unidades de exploração pecuária em Portugal, com o objetivo de melhorar os sistemas pecuários existentes, tornando-os mais sustentáveis. Seria interessante, neste contexto, a aplicação da Metodologia Simplificada em unidades de exploração nacionais;
- O desenvolvimento de mais parcerias científicas entre Portugal e o Brasil, semelhantes às já existentes entre a França e o Brasil (INRA-EMBRAPA), com o objetivo de promover a melhoria conjunta dos sistemas agropecuários, uniformizar e melhorar os processos de monitorização e de gestão e estabelecer padrões mundiais de qualidade ambiental na agropecuária. Por exemplo, investir-se na elaboração de estudos comparativos entre Portugal e Santa Catarina, regiões com área territorial semelhante e forte tradição agropecuária;
- O desenvolvimento, tanto em Portugal como a nível mundial, de maior densidade de estudos deste tipo para a fase fisiológica de gestação, no sentido de promover o bem-estar animal e a melhoria da qualidade ambiental em todas as etapas da cadeia de produção.

Referências Bibliográficas

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Ammonia**. Georgia, 2004

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J., 2012. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. ESA Working Paper, No 12-03. Rome, FAO

AMARAL, A.L et al., 2006. **Boas práticas na produção de suínos**. Circular Técnica. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 2006. Vol. 50, cap. 13, pp.40-43

AMORIM, J.M, **Riscos potenciais de impacto ambiental negativo da suinocultura na bacia do córrego bebedouro, Uberlândia-MG**. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”.192p. Dissertação (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2011

AMORIM, B.N, **Emissão de Gases em Propriedade Suinícola**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. 83p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington: American Public Health Association, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2015**. São Paulo: ABPA, 245p., 2015

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS. **Relatório Anual 2013**. Concórdia: ACCS, 28p, 2013

BARRASA, M. et al., 2012. Occupational exposure to carbon dioxide, ammonia and hydrogen sulphide on livestock farms in north-west Spain. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, Vol. 19, No 1, pp 17-24.

BASSO, C.J. et al., 2004. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**, Vol. 34, pp.1775-1780.

BEHERA, S. et al., 2013. Ammonia in the atmosphere: A review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. **Environmental science and Pollution research**. Vol 20, pp. 8092-8131.

BIDONE, F.R.A., 2001. Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: Eliminação e valorização. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES. Rio de Janeiro. Brasil

BOTERMANS et al., 2010. Measures to reduce ammonia emissions in pig production – Review. **Landscape Horticulture Agriculture Report Series**. Report 2010:12. Alnarp, 2010

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Suínos e Aves. **Sistemas de Produção 2 : Construções**. Concórdia, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Suinos/SPSuinos/index.html>. Acesso em: Setembro de 2015.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal 2013**. Rio de Janeiro, Vol. 41, 2013. pp. 1-108. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2013_v41_br.pdf. Acesso em: Outubro de 2015

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal 2014**. Rio de Janeiro, Vol. 42, 2013. pp. 1-36. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2014_v42_br.pdf Acesso em: Outubro de 2015

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Reguladora nº 15, 1978. **Atividades e operações insalubres - Agente químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho**. Brasília

_____. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Suinocultura: Análise da Conjuntura Agropecuária**. Paraná, 2013. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/SuinoCultura_2012_2013.pdf. Acesso em: Setembro de 2015

_____. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Suinocultura: Análise da Conjuntura Agropecuária**. Paraná, 2015. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/SuinoCultura_2012_2013.pdf. Acesso em: Setembro de 2015

CAHN T.T et al., 1998. Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing- finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Vol. 76, pp.123–1130

COUTINHO, G.S et al., 2014. Conforto térmico e manejo de suínos na maternidade levando em consideração o bem-estar animal. **Revista Eletrônica Nutritime**, Brasil

COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL, 1992. **Climatisation of Animal Houses. Second Report of a Working Group**. Belgium: Publ. Centre for Climatisation of Animal Houses - Advisory Services. State University of Ghent, 147p.

COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL, 2002. **4th Report of Working Group on Climatisation of Animal Houses: Heat and moisture production at animal and house level**. Denmark: Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences, 45p.

COMITÉ D'ORIENTATION POUR DES PRATIQUES AGRICOLES RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT, 2003. **Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs: Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites**. France: Ministère de l'agriculture, des pêches et des affaires rurales, 41p.

CURSO SOBRE PRODUÇÃO AGROECOLÓGICA DE SUINOS, Curso sobre Produção Agroecológica de Suínos. Concordia: EMBRAPA, Suínos e Aves, 2000

DINAMARCA. The Danish Environmental Protection Agency, 2014. **Review of ammonia emissions from a pig house slurry pit and outside storage: Effects of emitting surface and slurry depth**. Denmark: Danish Ministry of Environment, Environmental project No. 1611, 2014. 30p.

DOURMAD, J.Y et al., 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France. **Livestock Production Science**, Vol. 58, v.3. pp. 199-211

DOURMAD, J.Y; POMAR, C.; MASSÉ, D., 2003. Mathematical modelling of manure production by pig farms. Effect of feeding and housing conditions. In: EASTERN NUTRITION CONFERENCE, **Proceedings** ... Animal Nutrition Association of Canada, Ottawa, Québec. Vol 40, 15p.

DONHAM, K J. et al., 2002. Exposure Limits Related to Air Quality and Risk Assessment. In : **Iowa Concentrated Animal Feeding Operation Air Quality Study**, Cap.8, Iowa State University, Iowa, 168p.

ESTADOS UNIDOS. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY **Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2013**. Washington, 2015. Disponível em: <http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/usinventoryreport.html#fullreport>. Acesso em: Outubro de 2015

FEDERATION DES PRODUCTEURS DE PORCS DU QUEBEC **Swine production and Greenhouse Gases**. Canada, 2009. 24p. Disponível em: <http://manitobapork.com/wp-content/uploads/2012/12/Swine-Production-and-Greenhouse-Gases.pdf> Acesso em: Outubro de 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World Agriculture: Towards 2015/2030. Summary Report**. Rome: FAO, 2002. 97p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of food and agriculture. Livestock in balance**. Rome: FAO, 2009. 180p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of food and agriculture. Innovation of family farming**. Rome: FAO, 2014. 139p.

FUNDO DE DESENVOLVIMENTO E DEFESA SANITÁRIA ANIMAL. **Sustentabilidade Ambiental na produção de suínos: recomendações básicas** – Porto Alegre : Conselho Técnico Operacional Fundesa, 2014. 58p.

GERBER, P.J. et al, 2007. **Environmental impacts of a changing livestock production: overview and discussion for a comparative assessment with other food production sectors**. In: D.M. Bartley, C. Brugère, D. Soto, P. Gerber and B. Harvey (eds). Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons. FAO/WFT Expert Workshop. 24-28 April 2006, Vancouver, Canada. **FAO Fisheries Proceedings**. No. 10. Rome: FAO, 2007. pp. 37–54

GERBER, P.J. et al, 2013. **Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 2013

GUINGAND, N et al, 2011. Mise au point d'une méthode de mesure simplifiées des émissions d'ammoniac et des gaz à effet de serre des bâtiments d'élevage de porcs en engraissement. **Journées de la Recherche Porcine en France**, Vol. 43 pp. 199-204

GIROUX, M.; AUDESSE, P., 2004. Comparaison de deux methods de determination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de devers amendements organiques et engrais de ferme. **Agrosol**, Canada, Vol. 15, No 2, pp. 107-110

GROOT KOERKAMP, P.W.G, et al., 1998. Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. **Livestock Producton Science**. Vol. 70, pp. 79-95

HANNAS M.; ORLANDO, U. 2009. Como atender as exigências nutricionais das diferentes genéticas na suinocultura: foco na fase de recria e gestação. **Acta Scientiae Veterinariae**. 37 (Supl 1): s.165-s174

HARPER L.A; SHARPE R.R; PARKIN T.B, 2000. Gaseous nitrogen emission from anaerobic swine lagoons: ammonia, nitrous oxide, and dinitrogen gas. **Journal of Environmental Quality**. Vol. 29 pp.1356–1365

HAYES, E.T; CURRANA T.P; DODDA, V.A, 2006. Odour and Ammonia Emissions from Intensive Pig Units in Ireland. **Bioresource Technology**, Vol 97 pp.940-948.

HELLMANN, B. et al., 1997. **Emissions of climate relevant trace gases and succession of microbial communities during open-windrow composting.** Applied and Environmental Microbiology Vol. 63, pp.1011–1018.

HEALTH SAFETY EXECUTIVE, 2011. **EH40 Workplace exposure limits.** HSE Books, Second Edition, 74p. Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/eh40.pdf>. Acesso em: Outubro de 2015.

HIGARASHI, M.M et al., 2010. Redução de emissão de metano e gás sulfídrico por meio do tratamento de dejetos suínos via compostagem. **Relatório de Projetos Concluídos.** Concórdia: Embrapa, Suínos e Aves, Cap 3, pp. 50-63.

HRISTOV, A.N., et al., 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO₂ emissions. **FAO Animal Production and Health Paper No. 177.** FAO, Rome: 2013

HYDE, B.P et al., 2003. A new inventory of ammonia emissions from Irish agriculture. **Atmospheric Environment**, Vol. 37 pp. 55-62

INTERGOVERNMENTAL PANNEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Agricultural, Forest and Other Land Use.** The National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan, Vol.4

KEBREAB, E et al., 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, Vol. 80, pp.135–158

KONZEN, E.A, 1997. Valorização Agronômica dos Dejetos Suínos: utilização dos dejetos suínos como fertilizantes. I Ciclo de Palestras Sobre Dejetos suínos no Sudoeste Goiano, 1997, Rio Verde, GO. **Anais...** pp.113-136

LE GOFF, L. et al. 2002. Influence of dietary fibre level on digestive and metabolic utilisation of energy in growing and finishing pigs. **Animal Research, EDP Sciences.** Vol. 51 (3), pp.245-259

MCGLONE, J. J., 2013. The Future of Pork Production in the World: Towards Sustainable, Welfare-Positive Systems. **Animals**, Vol 3, p.401-415.

MELCHIOR, R., **Produtividade e Bem-Estar de porcas gestantes alojadas em baias coletivas com piso de concreto ou cama sobreposta.** Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 80p. Dissertação (Mestrado): Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2012.

MENDONÇA, A.B. **Conforto térmico em suínos visando melhoria na produção e qualidade do produto final,** Universidade de Castelo Branco, 2010. 33p. Monografia (Especialização Latu-Sensu) - Curso de Pós Graduação “Latu Sensu” em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal, Universidade de Castelo Branco. Campinas, 2010

MIELE, M.; WAQUI, P., 2007. Estrutura e dinâmica dos contratos na suinicultura de Santa Catarina: um estudo de casos múltiplos. **Estudos Econômicos**, Vol 37, No 4, 6p.

MIRANDA, C.R. **Avaliação de estratégias para sustentabilidade da suinicultura.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2005, 264p. Dissertação (Doutorado) – Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005

MOHEDANO, R. et al., 2013. **Sistema de alta eficiência para o tratamento e valorização de dejetos suínos utilizando lagoas de Lemnas (landoltia punctata).** São Paulo, SP, Brasil: III Simpósio Internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários e agroindustriais, 2013

MØLLER, H.B., HANSEN, M.N., SOMMER, S.G., 2003. Heavy metal load from fractions of manure after separation. **Bioresource Technology** (submitted for publication)

NI, J.-Q et al., 1999 Production of carbon dioxide in a fattening pig house under field condition: I. Exhalation by pigs. **Atmosphere and Environment**, Vol.33, pp.3691–3696.

NICKS, B. et al., 2003. Emissions of ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide and water vapor in the raising of weaned pigs on straw-based and sawdust-based deep litters. **Animal Research. EDP Sciences**, Vol. 52, pp.299-308

NOBLET et al., 1989. Effect of ambient temperature and addition of straw or alfalfa in the diet on energy metabolism in pregnant sows. **Livestock Production Science**.Vol.21, pp.309-324

OLIVEIRA, P.A.V. et al, 1998. Comparaison de l'évaporation d'eau en élevage de porcs sur litière de sciure ou sur caillebotis intégral. **Journées Recherche Porcine en France**. Vol. 30, pp.355-361

OLIVEIRA, P.A.V., 1999.**Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral** 1999. 264p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, L'ENSAR, Université de Rennes, Rennes, France

OLIVEIRA, P.A.V, 2003. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, Vol. 23, No 3, pp. 398 - 406.

OLIVEIRA, P.A.V; HIGARASHI, M.M, 2006. Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. EMBRAPA. **Documentos 115**. Concórdia: 2006. 43p.

OLIVEIRA et al. **Compostagem**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008. 19p. Apostila (Doutorado) - Programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de plantas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2008

PANDORFI, H. **Comportamento Bioclimático de Matrizes Suínas em Gestação e o Uso de Sistemas Inteligentes na Caracterização do Desempenho Produtivo: Suinicultura de Precisão**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 137p. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2005

PANDORFI, H. ; SILVA, I.J.O ; PIEDADE, S. M.S, 2008. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestação, alojadas em baias individuais e coletivas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Vol. 12, pp.326–332.

PANETTA et al., 2006. Nitrogen Excretion and Ammonia Emissions from Pigs Fed Modified Diets. **Journal of Environmental Quality**. Vol. 35 pp. 1297-1308 Disponível em: http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1214&context=abe_eng_pubs Acesso em: 15 de Outubro de 2015.

PATIENCE, J.F.; THACKER, P.A.; LANGE, C.F.M, 1995. **Swine Nutrition Guide**, 2 ed., Ch.12 – Water, Prairie Swine Centre. Canada, 271p.

PEDERSEN S et al., 2008. Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A literature Review. **Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal**. Manuscript BC 08 008, Vol. X.

PERDOMO,C; LIMA G., NONES, K., 2001. Produção de suínos e Meio Ambiente. Gramado, RS, Brasil: **9º Seminário Nacional de Desenvolvimento e Suinicultura**, 24p.

PETERSEN, S. O.; MILLER, D. N., 2006. Perspective Greenhouse gas mitigation by covers on livestock slurry tanks and lagoons? **Faculty Papers and Publications in Animal Science**. Paper 5. Disponível em: <http://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub/5>. Acesso em: Outubro de 2015

PEREIRA, J. L. et al., 2012. Effects of temperature and dairy cattle excreta characteristics on potential ammonia and greenhouse gas emissions from housing: A laboratory study. **Biosystems Engineering**, Elsevier Science. Vol. 112, pp138 – 150

PHILIPPE, F.X.; CABARAUX, J.F.; NICKS, B., 2011. Ammonia Emissions From Pig Houses: Influencing Factors and Mitigation Techniques.. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Vol. 141, pp. 245-260.

PHILIPPE, F.X.; NICKS, B., 2014. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from animals and manure. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Vol. 199, pp10-25

PHILIPPE F.X. et al., 2015. Effects of a high-fibre diet on ammonia and greenhouse gas emissions from gestating sows and fattening pigs. **Atmospheric Environment**, Vol. 109, pp.197-204

REINO UNIDO. Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2002. **Ammonia in the UK**. Defra Publications, London. 89p.

_____. BRITISH PIG EXECUTIVE, 2004 **Environmental Management for healthy pig production**. Meat and Livestock Comission, 32p. Disponível em: <http://pork.ahdb.org.uk/media/39675/environmental-management-for-healthy-pig-production.pdf>. Acesso em: Outubro de 2015

ROBIN, P. et al., 2006. Protocole de mesure simplifiée des émissions gazeuses en élevage. **Rennes: UMR SAS/INRA**. 22p.

ROBIN, P. et al., 2010. Reference procedures for the measurement of gaseous emissions from livestock houses and storages of animal manure. **Final Report**, ADEME, Paris, France, 260 p.

RURAL NEWS, 2014. Manejo na Gestação de Suínos. **Rural News**, Brasil, 1p. Disponível em: <http://www.ruralnews.com.br>. Acesso em: Maio de 2015.

SAMPAIO, C.A.P; NÃÃS, I.A., 2001. Uma visão sobre a qualidade do ar em edificações para suínos. Disponível em: <http://pt.engormix.com/MA-suinocultura/artigos/uma-visao-sobre-qualidade-t15/GRL-p0.htm> Acesso em: Outubro de 2015

SAS INSTITUTE INC. System for Microsoft Windows, Release 9.4, Cary, NC, USA, 2002-2012. (cd-rom).

SILVA, C. L.; BASSI, N.S.S., 2012. Análise dos impactos ambientais no Oeste Catarinense e das tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Suínos e Aves. **VI Encontro Nacional da ANPPAS**. Bélem, Pará, 2012.

SILVA, R.B.T.R et al., [S.D]. Insalubridade do trabalhador na produção animal: uma questão de educação e informação. **Segurança e Trabalho Online**, 8p. Disponível em: <http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/prod-animal.pdf>. Acesso em: Maio de 2015

SILVA R. W. C.; PAULA B. L., 2009. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terra Didatica**, Vol. 5, pp.42-49. Disponível em: https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/pdf-v5/TD_V-a4.pdf Acesso em: Outubro de 2015

SOMMER S.G. et al., 2006. Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. **Advances in Agronomy** Vol. 89, pp. 264-335.

SOUZA, J.C.P.V., et al., 2013. **Sistema de Produção de Leitões baseado em Planejamento, Gestão e Padrões Operacionais**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. Sistemas de Produção, 4. 118p.

STEINFELD, H., 2006. **Livestock's long shadow**. FAO, Rome: 2006

STINN, J., 2014 Environmental assessment and control towards improved swine breeding-gestation-farrowing operation in the Midwestern United States. Iowa, USA: **Iowa State University Digital Repository**, 156p.

STULL, R., 2015. Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science: Water Vapour. **The University of British Columbia**. Earth, Ocean and Atmospheric Science Department. Vancouver, Ch. 4, pp 87-118

SUTTON, A. L., 2008. **Feed Management Practices to Minimize Odors from Swine Operations**. Pork Checkoff.

TAVARES, J.M.R., **Consumo de Água e Produção de Dejetos na Suinocultura**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. 233p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

TAVARES, J.M.R et al, 2014. The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. **Livestock Science**, Vol. 169, pp.146–154

VAN DER PEET SCHWERING, C.C. et al., 1999. Ammonia emissions from pig houses in the Netherlands, Denmark and France. **Livestock Science**, Vol.58, pp.255-269

VAN OUWERKERK, E.N.J.; PEDERSEN, S., 1994. Application of the carbon dioxide mass balance method to evaluate ventilation rates in livestock buildings. XII World Congress on Agricultural Engineering, Milano, August 29 - September 1, **Proceedings**, pp. 516-529

VUKINA, T., 2003. The Relationship between Contracting and Livestock Waste Pollution. **Review of Agricultural Economics**, Vol. 25, No 1, pp. 66-88

YE, Z. et al, 2008. Ammonia emissions affected by airflow in a model pig house: effects of ventilation rate, floor slat opening, and headspace height in a manure storage pit. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Vol. 51, pp.2113-2122.