**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Determinação da temperatura retal e frequência respiratória de
suínos em fase de creche por meio da temperatura da superfície
corporal em câmara climática**

Gustavo Marques Mostaço

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2014**

Gustavo Marques Mostaço
Engenheiro Agrícola

Determinação da temperatura retal e frequência respiratória de suínos em fase de creche por meio da temperatura da superfície corporal em câmara climática
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Profa. Dra. **KÉSIA OLIVEIRA DA SILVA MIRANDA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Mostaço, Gustavo Marques

Determinação da temperatura retal e frequência respiratória de suínos em fase de creche por meio da temperatura da superfície corporal em câmara climática / Gustavo Marques Mostaço. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2014.

111 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Controle térmico ambiental 2. Bem estar animal 3. Sensor de temperatura
4. Modelagem fisiológica 5. Zootecnia de precisão I. **Título**

CDD 636.408931
M915d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais Nílza e Nelson Mostaço, meu irmão Gabriel e minha querida Dênia Attílio, sem vocês este sonho não se realizaria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus não apenas por permitir os bons momentos em minha vida, mas por estar comigo sempre, me protegendo e iluminando o meu caminho.

A meus pais Nilza e Nelson Mostaço e meu irmão Gabriel, por estarem sempre ao meu lado, em toda minha vida, pelo imenso amor e carinho, pelo incentivo em sempre continuar estudando, os conselhos, e principalmente o essencial apoio em todos os sentidos possíveis. Amo vocês!

A minha querida Dênia Borges Attílio, palavras são pouco para traduzir o amor que eu sinto! Agradeço pelo seu amor, carinho e companhia em todos os momentos que vivemos na pós e fora dela, afinal de contas o meu melhor presente na pós-graduação foi ter te conhecido! Esses dois anos e meio que compartilhamos foram, e estão sendo, muito especiais para mim. Desejo que os muitos que vierem sejam sempre muito felizes ao seu lado. Você ajudou muito durante esse trabalho, dando apoio desde os estudos durante as disciplinas, nas partes experimentais e na escrita. Muito Obrigado! Agradeço ainda a receptividade e carinho de seus pais Paulina e João Attílio, seu irmão Allan e a Carla, a amizade e incentivo da Lísia Attílio e Castellane Ferreira, além da estadia que foi de grande auxílio nesta fase de fechamento do trabalho, e é claro o carinho puro e sincero da Anitinha, que apenas as crianças são capazes de proporcionar. Agradeço a Mirtes, grande cooperadora em nossas vidas.

As minhas avós que me ensinaram muito do que sou hoje e meus avôs, que moram em meu coração. Tenho certeza de que onde estiverem, estão felizes com esta realização.

A minha orientadora Profa. Dra. Késia Oliveira da Silva Miranda por me receber na Esalq/USP de braços abertos, pela orientação e ensinamentos muito valiosos para meu crescimento profissional, pela vontade em sempre me compreender e ajudar. Meu especial obrigado.

Ao Prof. Cláudio L. Messias pelos ensinamentos acadêmicos desde a graduação, pelo constante apoio e pelo incentivo em seguir para pós-graduação. Sem a bagagem que você e a Unicamp me proporcionaram, este caminho teria sido muito menos proveitoso.

Aos Professores: Jarbas H. Miranda pelo constante apoio, a ajuda e paciência na interpretação dos resultados; Maria Luísa A. Nunes amiga e companheira na pós, grande incentivadora e colaboradora do projeto, desde o início até a qualificação e estou certo que em desdobramentos futuros desse; Giselle B. Moura amiga e companheira na pós, incentivadora e facilitadora na obtenção do material, você foi essencial para que esse projeto tomasse forma, sempre me ajudou mesmo nos momentos mais difíceis, com conselhos e experiência própria; Frederico Vieira pelo acolhimento desde a minha chegada, pela experiência e amizade compartilhada em todo período de Nupea; Tarlei A. Botrel, Sergio N. Duarte, Sérgio O. Moraes e Valdomiro Miyada, pela análise e sugestões no projeto; Sônia M. Piedade, Douglas Salgado e Carlos Tadeu S. Dias pelo auxílio em diferentes fases de planejamento e desenvolvimento de análises estatísticas; Daniella J. de Moura pelas dicas e apoio na divulgação do trabalho; Richard S. Gates pela paciência em ouvir e compartilhar sua valiosa experiência internacional; Angela Green pelas sugestões no projeto e auxílio na obtenção dos sensores; José P. Molin pelo incentivo em desenvolver meus estudos na Esalq/USP e pelo conhecimento compartilhado.

Aos colegas de Esalq/USP que ajudaram, e muito, no experimento e no Mestrado: César A. Pecoraro, amigo de todas as horas, sempre solícito e pronto para ouvir, te agradeço muito pela amizade e força nas horas difíceis; Isabella Condotta, agradeço pela oportunidade de tê-la como estagiária, aprendi muito com você; Flavia R. Santos, sua ajuda na fase experimental e discussões sobre o trabalho foram muito importantes.

A todos os colegas durante o período no Nupea: Bia Possagnolo, Fabiane, Felipe, Paulo, Ariane, Maria Amélia, Fernanda, Ana Luiza, Ana Carolina, Patrycia, Priscila, Leonardo, Guilherme, Aérica, pessoal dos Estágios de Férias do Nupea e ao Prof. Iran. Perdoem-me se me esqueço de alguém, mas a troca de informações foi enriquecedora para mim durante este período.

Aos recentes companheiros de Grupo de Pesquisa em Bem-Estar Animal, Ambiência e Zootecnia de Precisão-GBAZP: Gislaine, Graciele, Dayana e Fernando, esse tempo, mesmo que pequeno, foi muito importante para as discussões e fechamento do trabalho.

A Ilze Helena pelas conversas, pela prestatividade e ajuda em inúmeras vezes que precisei. Você é uma pessoa muito querida.

As secretárias Angela, Davilmar, Bia e Paula pela atenção e paciência em todos os assuntos. Ao Sr. Hélio, Francisco, Antonio e Luiz Camargo pela ajuda na instalação do experimento e a Dalva na manutenção.

Agradeço a todos os que participaram deste trabalho de alguma forma.

Agradeço o carinho e companheirismo incondicionais, que recebi de dois seres especiais em minha vida, Layka e Flay, e recebo todos os dias do meu pequeno Scooby, vocês me ensinaram o amor e o respeito aos animais, além da paciência, levarei isto para sempre.

Agradeço a FAPESP e a CAPES pela concessão de bolsa regular para desenvolvimento do programa de Mestrado na Esalq/USP.

EPÍGRAFE

“O homem nunca pode parar de sonhar. O sonho é o alimento da alma, como a comida é o alimento do corpo.”
Autor desconhecido

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”
Charles Chaplin

“Há três coisas na vida que nunca voltam atrás: a flecha lançada, a palavra pronunciada e a oportunidade perdida.”
Provérbio Chinês

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Suinocultura, situação atual e tendências.....	23
2.2 Bem-estar animal	25
2.3 Termorregulação de suínos.....	27
2.3.1 Zona de termoneutralidade	28
2.3.2 Mecanismos de termorregulação	30
2.3.3 Reações hormonais.....	34
2.3.4 Efeitos do estresse calórico.....	36
2.3.5 Controle térmico ambiental.....	37
2.4 Índice de conforto térmico – entalpia	38
2.5 Temperatura retal.....	39
2.6 Regiões para medida de temperatura superficial em suínos.....	40
2.7 Sensores na produção animal.....	43
2.7.1 Tipos de sensores	43
2.8 Modelos matemáticos e regressões lineares múltiplas.....	51
2.9 Análise de componentes principais	52
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.1 Etapa 1: Pré-experimento.....	55
3.1.1 Localização do pré-experimento	55
3.1.2 Características da instalação e animais	55
3.1.3 Condições ambientais utilizadas	57
3.1.4 Delineamento estatístico	57
3.1.5 Variáveis analisadas.....	57
3.1.6 Equipamentos utilizados e sua instalação.....	58
3.1.7 Análise dos resultados obtidos.....	62
3.2 Etapa 2: Experimento principal	63
3.2.1 Localização do experimento.....	63

3.2.2 Características da instalação e animais	64
3.2.3 Condições ambientais e metodologia de aferição.....	66
3.2.4 Delineamento estatístico.....	67
3.2.5 Variáveis analisadas	67
3.2.6 Equipamentos utilizados e sua instalação	68
3.2.7 Análise dos resultados obtidos	70
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4.1 Etapa 1: Pré-experimento.....	71
4.1.1 Avaliação da utilização do iButton	71
4.1.2 Avaliação da influência da fixação dos iButtons nas medidas	71
4.1.3 Correlação entre temperaturas da superfície corporal e retal.....	75
4.1.4 Regressões lineares para as temperaturas da superfície corporal e retal	76
4.1.5 Frequência respiratória	82
4.1.6 Comportamento das variáveis em função da situação térmica ambiental	83
4.2 Etapa 2: Experimento principal.....	84
4.2.1 Análise de componentes principais.....	84
4.2.2 Regressões múltiplas para as variáveis estudadas	87
5 CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	95
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	107
ANEXO	109

RESUMO

Determinação da temperatura retal e frequência respiratória de suínos em fase de creche por meio da temperatura da superfície corporal em câmara climática

A constante influência humana em atividades de manejo animal, além de aumentar os custos de produção, torna-se uma adicional fonte geradora de estresse sobre os animais. Nesse sentido, é necessária a busca pelo desenvolvimento de métodos alternativos de acompanhamento, à distância e em tempo real, das condições físicas dos animais, em conjunto com o controle das instalações. Para a identificação da condição de conforto ou estresse calórico dos animais, alguns indicativos podem vir a auxiliar, tais como a temperatura retal (TR), sendo esse um bom indicador da temperatura do núcleo corporal, bem como, a frequência respiratória (FR). Porém, com a crescente preocupação em relação ao bem-estar animal, vários questionamentos são feitos acerca de métodos invasivos, motivando a busca por alternativas à mensuração da TR. Surge então, como variável alternativa, a temperatura da superfície corporal, buscando-se correlacioná-la com a TR e FR. Sendo assim, com essa pesquisa objetivou-se identificar a região mais adequada da superfície corporal dos suínos, em fase de creche, que apresente a melhor correlação com a TR e FR. Para tal, foi conduzido um experimento, dividido em duas etapas: etapa 1) pré-experimento, sendo conduzido com dois animais em câmara climática, variando-se as condições de temperatura e testando-se métodos de fixação de sensores e coleta de dados inicialmente propostos; e etapa 2) experimento principal. Este último foi conduzido em uma câmara climática, com cinco leitões da raça Landrace x Large White, com 30 dias de idade, provenientes de uma mesma ninhada e do mesmo sexo (fêmea). Variaram-se as condições de temperatura no interior da câmara climática de 14°C a 35,5°C, de modo a atingir situações de estresse tanto por frio quanto por calor, sendo calculada a entalpia para os propósitos do presente estudo. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, com um único fator, a entalpia ambiente, com sete níveis (31,26; 39,56; 51,12; 59,24; 74,82; 82,96; 94,26 kJ.kg de ar seco⁻¹). Foram realizadas medidas repetidas em intervalos de 30 minutos, em seis diferentes regiões corporais: cabeça (A), paleta (B), lombo (C), pernil (D), orelha (E) e timpânica (F). Para as regiões de A a E foram utilizados dois métodos de medida diferentes: *datalogger* de temperatura Thermochron iButton® - DS1921G e outro via termômetro de infravermelho Fluke® 566. Para a região F, utilizou-se um termômetro de infravermelho de testa e ouvido G-Tech - T1000. Todos com cinco repetições das medidas para cada variável, em cada situação ambiente. Com os resultados obtidos foi possível propor equações de regressão múltipla para a TR e FR, sendo esta última apontada pela análise de componentes principais como a melhor candidata a correlações com as temperaturas da superfície corporal e por ser um bom indicador da situação de estresse térmico. Por meio desses resultados foi possível observar que a região timpânica mostrou-se como a melhor opção para acompanhamento tanto da TR quanto da FR via termômetro de infravermelho (TiF), enquanto que ao utilizar sensores de temperatura da superfície corporal, a melhor opção foi a orelha (TbE) para predição de TR, e a região do lombo (TbC) para predição de FR.

Palavras-chave: Controle térmico ambiental; Bem estar animal; Sensor de temperatura; Modelagem fisiológica; Zootecnia de precisão

ABSTRACT

Determination of piglet's rectal temperature and respiratory rate through body surface temperature in a climatic chamber

Human constant influence in handling activities, besides raising production costs, becomes another stress source for the animals. In this sense, it becomes necessary the development of alternative methods, that can remotely monitor, in real time, animal's physical conditions, together with remote facilities control. In terms of identifying comfort or stressful thermal situations for animals, some indicators can be handy, such as rectal temperature (RT), which is a good indicator of the core body temperature, as well as, the respiratory rate (RR). Although, with the raising concerns about animal welfare, several questions are raised against invasive methods, encouraging the search for alternatives to RT measuring. The determination of body surface temperature values, trying to correlate them to RT and RR, emerges as an alternative. Thus, it's aimed, with this research, to identify the most adequate swine body surface region, in nursery phase, which presents better correlation with RT and RR. For that, an experiment was conducted, divided in two stages: stage 1) pre-experiment, being conducted with two animals in a climate chamber, varying temperature conditions and testing sensor fixation and data collection methods previously proposed; and stage 2) main experiment. The last one was conducted in a climate chamber, with five Landrace x Large White piglets, 30 days aged, from the same litter and of the same sex (female). Temperature conditions inside the chamber were varied from 14°C to 35.5°C, attaining stressful situations both for cold and heat, being calculated the enthalpy for this study purposes. The statistical design used was the completely randomized, with one factor only, the ambient enthalpy, in seven levels (31.26; 39.56; 51.12; 59.24; 74.82; 82.96; 94.26 kJ.kg of dry air⁻¹). Repeated measures were taken in 30 minutes intervals, in six different body regions: head (A), shoulder (B), loin (C), ham (D), ear (E) and tympanic (F). For regions from A to E, two different methods were used: temperature datalogger Thermochron iButton® - DS1921G and infrared thermometer Fluke® 566. For region F, a forehead and ear infrared thermometer G-Tech - T1000 was used. All of them had five replicates of measures for each variable, in each environment situation. With the obtained data, it was possible to propound multiple regression equations for RT and RR, the last one being shown by principal components analysis as a better candidate to correlate to body surface temperatures and because it's a good indicator of the animal's thermal stress situation. By means of these results it was possible to observe that the tympanic region arises as the better option for monitoring RT and RR through infrared thermometer (TiF), while when using body surface temperature sensors, the best option was the ear (TbE) for predicting RT, and the loin region (TbC) for predicting RR.

Keywords: Environment thermal control; Animal welfare; Temperature sensors; Physiological modeling; Precision livestock farming

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Câmara climática onde foi realizado o experimento, (b) croqui sem escala (medidas em metros) e (c) instalação para os animais dentro da câmara climática.....	56
Figura 2 - Regiões da superfície corporal estudadas: cabeça (A), paleta (B), lombo (C), pernil (D) e pata traseira (E)	58
Figura 3 - (a) Termo-higrômetro e <i>datalogger</i> para registro e acompanhamento das variáveis ambientais no interior da câmara climática e (b) Termômetro infravermelho FLUKE® 566 para aferição das temperaturas superficiais. Fonte: fluke.com	59
Figura 4 - (a) Dimensões do DS1921G Thermochron iButton® e (b) tamanho relativo dos mesmos. Obs.: medidas em milímetros. Fonte: Fondriest Environmental.....	60
Figura 5 - Colocação dos iButtons nos animais, detalhes da fita e meia utilizadas ..	62
Figura 6 - (a) Câmara climática onde foi realizado o experimento, (b) croqui sem escala (medidas em metros) e (c) instalação para os animais dentro da câmara climática.....	65
Figura 7 - Regiões corporais estudadas: cabeça (A), paleta (B), lombo (C), pernil (D), orelha (E) e timpânica (F)	68
Figura 8 - Colocação dos iButtons nos animais, locais de instalação dos sensores e fita utilizada	69
Figura 9 - (a) Aferição de temperatura superficial com termômetro de infravermelho FLUKE® 566 e (b) aferição de temperatura timpânica com termômetro de infravermelho G-Tech.....	70
Figura 10 - Correlação entre temperatura superficial via termômetro de infravermelho nas regiões estudadas (a) TirA, (b) TirB, (c) TirC, (d) TirD e (e) TirE e (f) da temperatura retal (TR) em relação à temperatura ambiente, para os animais com meia (m) e sem a meia (t).....	72
Figura 11 - Instalação dos iButtons para teste de influência das fitas utilizadas nas medidas de temperatura superficial da pele	74
Figura 12 - Curvas de temperatura aferidas pelo iButton em situações de fixação com e sem fitas.....	74

Figura 13 - Dispersão da temperatura superficial via termômetro de infravermelho nas regiões estudadas (a) TirA, (b) TirB, (c) TirC, (d) TirD, (e) TirE e temperatura retal em função da temperatura ambiente	77
Figura 14 - Dispersão da temperatura superficial via iButton nas regiões estudadas (a) TbA, (b) TbB, (c) TbC, (d) TbD, (e) TbE e temperatura retal em função da temperatura ambiente	78
Figura 15 - Dispersão entre temperatura superficial via termômetro infravermelho nas regiões estudadas (a) TirA, (b) TirB, (c) TirC, (d) TirD e (e) TirE e temperatura retal.....	79
Figura 16 - Dispersão entre temperatura superficial via iButton nas regiões estudadas (a) TbA, (b) TbB, (c) TbC, (d) TbD e (e) TbE e temperatura retal	80
Figura 17 - Curvas da variável frequência respiratória (FR) em função da temperatura ambiente, dos animais com a meia (m) e sem a meia (t)...	82
Figura 18 - Distribuição das duas primeiras componentes em função das 14 variáveis estudadas.....	85
Figura 19 - <i>Scree-plot</i> das 14 componentes principais.....	86
Figura 20 - Dispersão entre (a) TR e entalpia e (b) FR e entalpia, com resultados da regressão múltipla para TiF e H	90
Figura 21 - Gráficos de superfície de resposta para (a) TR e (b) FR, ambos em função de TiF e H.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores referentes ao limite de temperatura crítica inferior (TCI), zona de conforto térmico (ZCT), temperatura crítica superior (TCS), umidade relativa crítica inferior (UCI) e umidade relativa crítica superior (UCS) para suínos	30
Tabela 2 - Frequência respiratória e temperatura retal de suínos em diversas idades ou peso, em situação de conforto térmico	34
Tabela 3 - Distribuição das etapas e fatores durante o período do pré-experimento	57
Tabela 4 - Distribuição das etapas e fatores durante o período do experimento principal	67
Tabela 5 - Correlações Pearson (r) entre temperaturas de superfície via iButton (Tb) e via termômetro de infravermelho (Tir) e a temperatura retal (TR)	75
Tabela 6 - Valores de R ² referentes ao ajuste linear dos gráficos de dispersão entre as variáveis temperatura de superfície via iButton (Tb) e via termômetro de infravermelho (Tir) e a temperatura retal (TR) e temperatura ambiente	81
Tabela 7 - Resultado da análise de componentes principais, variabilidade total explicada	86
Tabela 8 - Equações de regressão múltipla e seus valores de ajuste (R ²) para temperatura retal (TR, °C) em função das temperaturas via termômetro infravermelho (Ti, °C) e da entalpia (H, kJ.kg de ar seco ⁻¹)	87
Tabela 9 - Equações de regressão múltipla e seus valores de ajuste (R ²) para temperatura retal (TR, °C) em função das temperaturas via iButton (Tb, °C) e da entalpia (H, kJ.kg de ar seco ⁻¹)	88
Tabela 10 - Equações de regressão múltipla e seus valores de ajuste (R ²) para frequência respiratória (FR, min ⁻¹) em função das temperaturas via termômetro de infravermelho (Ti, °C) e da entalpia (H, kJ.kg de ar seco ⁻¹)	89
Tabela 11 - Equações de regressão múltipla e seus valores de ajuste (R ²) para frequência respiratória (FR, min ⁻¹) em função das temperaturas via iButton (Tb, °C) e da entalpia (H, kJ.kg de ar seco ⁻¹)	89

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país tropical com grande extensão territorial e é caracterizado em sua maior parte pelas altas temperaturas, mas também possui regiões de temperaturas amenas em determinadas épocas do ano, ambas prejudiciais à criação de suínos em suas diferentes fases. O ambiente térmico, onde ocorre o sistema produtivo, possui um papel determinante sobre a produção e, muitas vezes, constitui-se no responsável pelo desenvolvimento abaixo do esperado no plantel.

O conforto térmico ambiental para o animal vem sofrendo mudanças em relação à maneira como é tratado. Antes considerado um problema secundário, tanto do ponto de vista etológico quanto produtivo, na última década, vem sendo tratado em primeiro plano, principalmente quando associado às respostas fisiológicas e aos respectivos índices produtivos. Neste sentido, estão sendo propostas novas pesquisas para avaliar a intensidade com que o ambiente térmico prejudica o desempenho dos animais, como por exemplo, Kiefer et al. (2009) que concluíram que o estresse por calor provoca distúrbios de comportamento, assim como, afeta negativamente o desempenho (consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar) e altera a fisiologia (peso de órgãos, utilização de proteína e de energia e deposições diárias de proteína e de gordura na carcaça, frequência respiratória e as temperaturas retal e de superfície) dos suínos em fase de crescimento.

Os suínos, assim como todos os homeotermos, possuem temperatura corpórea interna constante. Analisando termodinamicamente, isso significa que precisam trocar calor continuamente com o ambiente. Entretanto, esse processo só se mostra eficiente quando a temperatura ambiente está dentro dos limites da termoneutralidade. Como fator agravante tem-se o fato de que no suíno, assim como em outros animais, a perda de calor pela sudorese é mínima, pois mesmo apresentando glândulas sudoríparas com estrutura morfológica bem desenvolvida, essas são queratinizadas, reduzindo as taxas de sudorese, resultando, portanto, em uma baixa contribuição na termorregulação.

Devido ao fato dos suínos apresentarem baixa eficiência nas trocas de calor evaporativas pela sudorese, o ambiente térmico pode desempenhar um dos papéis mais importantes em termos de seu bem-estar. Conta ainda a favor, sua adaptação

evolutiva a climas temperados, ao mesmo tempo em que são produzidos em grande escala nas regiões de clima tropical, como por exemplo, no Brasil.

O acompanhamento da temperatura tanto interna quanto externa, da superfície corporal, dos homeotérmicos fornece informação importante, uma vez que variações na temperatura corporal provocam impactos sobre diversos processos biológicos. Valores fora da faixa de termoneutralidade podem indicar deficiência na termorregulação ou até ocorrência de processos infecciosos ou inflamatórios. A temperatura retal pode ser considerada uma medida que representa a temperatura do núcleo corporal, podendo ser utilizada como um bom indicador da condição de conforto ou estresse calórico dos animais ou ainda como indicador de doenças. Observando a crescente preocupação em relação ao bem-estar animal, questionamentos acerca de métodos invasivos são feitos, tornando a mensuração da temperatura retal um método ineficaz, uma vez que para sua obtenção, é necessária a manipulação dos animais, causando-lhes situações de elevado estresse. Para aliar a avaliação do estado de conforto, ou estresse, térmico dos animais de produção aos preceitos do bem-estar, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas de mensuração não invasivas, de fácil aplicabilidade tanto no meio científico quanto de produção comercial.

A Zootecnia de Precisão utiliza-se de ferramentas tecnológicas como sensores e sistemas para realizar o monitoramento e controle de um sistema físico de forma rápida, eficiente e segura. Na automação da produção de suínos, o animal gera os sinais mais importantes do processo, atuando como um bio-sensor, necessitando ser medido de forma direta e contínua. Tais sinais podem indicar e quantificar parâmetros fisiológicos, comportamentais e/ou de produção, como temperatura do animal, peso vivo, consumo de alimentos e movimentação.

Dentre as opções possíveis para obtenção de um parâmetro de temperatura dos animais, a aferição da temperatura da superfície corporal mostra-se como o método mais indicado no sentido da minimização da invasão ao animal. Os sensores de temperatura com tecnologia infravermelha apresentam um menor incômodo ao animal, porém na maioria dos casos, não possibilitam uma medida contínua. Já os sensores de contato, apresentam melhor opção para um acompanhamento preciso e contínuo da situação térmica do animal. Porém, este tipo de sensor ainda sofre com as situações agressivas às quais fica submetido, entre outros, tais como: duração de bateria e problemas em relação à fixação prolongada na pele do animal.

No futuro, os sensores e as técnicas de monitoramento de animais estarão amplamente disponíveis no mercado, colocando o animal no centro da Zootecnia de Precisão. No entanto, atualmente a disponibilidade de sensores de baixo custo, robustos e confiáveis, aliada ao desconhecimento de melhores técnicas e locais para a instalação, continua a ser o principal problema a ser resolvido para que a Zootecnia de Precisão ganhe maior escala.

Esta pesquisa pode ser considerada como base, no sentido de gerar informações para posteriores pesquisas na área de controle e automação de ambientes de produção animal, identificando a região mais adequada no animal, para instalação de sensores de contato e medida via termômetro infravermelho, aquela que represente um parâmetro mais adequado ao acompanhamento da situação de conforto térmico ambiental dos animais, para auxiliar na tomada de decisão e automação do controle ambiental.

Objetivo Geral

Identificar o local mais apropriado da superfície corporal de suínos na fase de creche, para monitoramento da temperatura, que melhor represente os parâmetros fisiológicos temperatura retal e frequência respiratória, para auxílio na tomada de decisão e automação do controle ambiental.

Objetivos Específicos

- Associar as medidas da temperatura da superfície corporal (termômetro de infravermelho e iButton®) com a retal (TR) e frequência respiratória (FR);
- Propor modelos de regressão linear múltipla para obtenção da TR e FR, partindo das temperaturas da superfície corporal e entalpia ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Suinocultura, situação atual e tendências

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de carne suína, com 3,49 milhões de toneladas produzidas no Brasil em 2012 (ABIEPCS, 2012), o que corresponde a 3,1% da produção mundial de carne suína (USDA, 2013). Em relação à distribuição interna dessa produção, a suinocultura é uma das atividades mais importantes na região sul do Brasil, representando quase 50% de toda a produção nacional (PARANÁ, 2013).

O setor suinícola cresceu devido aos investimentos em modernização da produção, motivados pelo potencial de mercado. Mesmo com a forte pressão sobre os custos de produção, aumento da concorrência e dificuldades conjunturais de acesso a alguns mercados, as exportações apresentaram bom desempenho em 2012, atingindo 581 mil toneladas exportadas, gerando US\$1,49 milhões de receita cambial. Do total exportado, 67% tiveram como destino os países Hong Kong, Rússia e Ucrânia (MAPA, 2013), refletindo uma alta concentração em poucos mercados.

Mundialmente, a carne suína é a fonte de proteína animal mais consumida, apresentando um consumo *per capita* de 15,86 kg em 2010, superando o consumo de carne de frango (14,36 kg), e chegando a quase o dobro da carne bovina (9,65 kg) neste mesmo ano. Já no Brasil, entretanto, em 2010 a carne suína ficou em terceiro lugar com 16,39 kg pessoa⁻¹, sendo a carne de frango a mais consumida com 57,38 kg pessoa⁻¹, seguida da bovina com 46,76 kg pessoa⁻¹ (FAO, 2013). No mercado interno, a preferência dos consumidores é por produtos industrializados, enquanto a procura por cortes *in natura* encontra-se incipiente, mas com potencial de crescimento (ABIEPCS, 2012). Os índices para comercialização de suínos vivos no estado de São Paulo giram entorno de R\$3,80 kg⁻¹ e no estado de Santa Catarina ficam próximos à R\$3,28 kg⁻¹, no mês de novembro de 2013 (CEPEA, 2013).

Atualmente, no Brasil, a suinocultura tem sido exercida de forma integrada à indústria, a qual fornece insumos e tecnologia, assim como métodos e procedimentos de trabalho. Sendo assim, há uma exigência de produtos de qualidade e com características padronizadas, que por sua vez, fica responsável por processar e distribuir aos pontos de venda e, ainda, promover o produto perante o

mercado consumidor com ações de *marketing*. Sendo assim, os produtores independentes representam menos de 25% da produção total (PARANÁ, 2013).

A criação de animais visando o consumo de carne e, conseqüentemente, a economia que ela movimenta, vem acompanhando as mudanças na dieta e padrões de consumo alimentares de produtos de origem animal pela população mundial. Na última década, o consumo de carne nos países em desenvolvimento da Ásia, onde se tem percebido o principal aumento na população mundial, apresenta um crescimento de cerca de 3% ao ano, e o consumo de produtos lácteos 5%. A produção agrícola em geral é afetada por estas tendências, não apenas pelo o aumento na produção animal em si, mas devido à ligação entre essa última e a produção vegetal, sua principal fornecedora de alimento, principalmente cereais e oleaginosas (FAO, 2013).

Os maiores desafios do setor suinícola, conforme apresentado pela ABIPECS (2012), são: sustentabilidade, rastreabilidade, diversificação de produtos e mercados e logística.

Espera-se que no Brasil, a produção de carne suína aumente entre 7% a 11%, principalmente pela adoção de novas tecnologias nas propriedades e ingresso de novas indústrias no segmento. Os maiores aumentos na produção de suínos devem tomar lugar nos estados de Minas Gerais, podendo superar os 20% em 2013, bem como Mato Grosso e Mato Grosso do Sul devido aos grandes investimentos na produção de carne suína (PARANÁ, 2013).

Em prospecção para 2013, no que diz respeito à exportação, espera-se um incremento superior a 15%, com destaque para os estados de Goiás e Minas Gerais que podem superar os 30% da exportação brasileira em 2013. Também o estado de Santa Catarina tende a manter o bom desempenho e apresentar volume de exportação superior a 12%, principalmente por ser o único estado livre da doença febre aftosa sem vacinação, sendo este considerado um grande diferencial para o mercado externo (PARANÁ, 2013).

2.2 Bem-estar animal

Os animais são capazes de sentir e perceber a dor, evitando assim, estímulos dolorosos. Nenhum animal doméstico é capaz de reconhecer sua própria imagem no espelho, porém, nesta situação, ele a trata como seu semelhante. Logo, eles possuem consciência de seus próprios corpos e dos outros (HOUP, 2006). Após serem reconhecidos pelo tratado de Amsterdã, em 1997, como seres sencientes, ou seja, com capacidade de desenvolver sentimentos associados à consciência, o conceito de senciência, a partir de então, foi aceito pela comunidade científica, assumindo a capacidade de sentir dos animais, ponto chave para a discussão do bem-estar animal.

Segundo uma definição clássica de bem-estar animal, pode-se entender o tema como as tentativas de um indivíduo em lidar com o ambiente que o circunda. O fato de um parâmetro como conversão alimentar apresentar-se satisfatório, pode não significar um bom nível de bem-estar animal. O bem-estar pode ser classificado desde “muito bom” até “muito pobre”, variando ao longo da vida, sendo, portanto, necessária, para uma avaliação de tal variação, a utilização de uma variedade de medidas (BROOM, 1991; 1992).

Uma das definições de bem-estar muito utilizada atualmente, estabelecida pelo relatório de Brambell, em 1965, e revisado pelo Conselho de Bem-Estar de Animais do Reino Unido – Farm Animal Welfare Council (FAWC, 2009), refere-se ao fato do reconhecimento das cinco liberdades inerentes aos animais: liberdade fisiológica (ausência de fome e de sede); liberdade sanitária (ausência de doenças e de fraturas, pela prevenção ou diagnóstico eficiente e tratamento adequado); liberdade comportamental (possibilidade de exprimir comportamentos normais, pelo fornecimento de espaço suficiente, instalações adequadas e companhia de animais da mesma espécie); liberdade psicológica (ausência de medo e de ansiedade, assegurando condições que evitem o sofrimento mental) e liberdade ambiental (pelo fornecimento de edificações adaptadas, com abrigo e área disponível para descanso). Tais liberdades teriam por objetivo avaliar a distância entre as práticas adotadas em determinada atividade produtiva e o padrão mais alto de bem-estar (MOLENTO, 2013). Entretanto, parâmetros relacionados à fisiologia e ao funcionamento biológico, principalmente aqueles ligados ao aumento das respostas

ao estresse fisiológico, exercem um papel importante na avaliação do bem-estar animal (DUNCAN, 2005; BROOM, 1992).

Conforme apresentado por Duncan (2005), julgando que não é possível obter uma definição precisa, o bem-estar está relacionado aos sentimentos experimentados pelos animais, na ausência de estados de sofrimento e presença de sentimentos positivos, estando diretamente vinculado à realização dos comportamentos naturais de cada espécie. Uma vez que não sejam possíveis de serem realizados, colocam o animal no estado psicológico denominado de privação (HURNIK, 1992). Quando suas motivações não são atendidas continuamente, podem se desenvolver estereotipias ou ainda respostas fisiológicas indicadoras de patologias (DELLMEIER, 1989). Saúde e produtividade são parâmetros mínimos necessários para confirmar o bem-estar de um animal. O comportamento anormal pode ser um indício de falta de bem-estar (HOUP, 2006).

De acordo com Baêta e Souza (2010), o ambiente aos quais os animais são submetidos pode ser definido pelo conjunto de todos os fatores que afetam direta ou indiretamente os animais, com exceção da alimentação e agentes etiológicos. A presença de estresse entre os animais, nada mais é do que uma resposta do animal aos estímulos adversos, podendo estes ser de origem física (dentre eles excesso de frio ou calor) ou social (como a presença de novos animais ou interferência humana), afetando o sistema imunitário do animal, resultando em menor resistência as infecções (PIFFER; PERDOMO; SOBESTIANSKY, 1998).

A carne suína tende a apresentar uma baixa qualidade quando os animais são criados na ausência de condições de bem-estar. Elevando, então, as chances de ocorrência de carnes DFD (*Dark, Firm, Dry*, que significa: Escura, Firme e Seca) ou PSE (*Pale, Soft, Exudative*, que significa: Pálida, Flácida e Exsudativa) (FRASER; BROOM, 1990).

Tendo em vista a multidisciplinariedade dos conceitos de bem-estar animal, diversas tentativas são realizadas para a avaliação do bem-estar em nível de produção. Foi proposto pela Comissão Européia o WelfareQuality®, um projeto em que objetivou-se o desenvolvimento de sistemas padronizados de avaliação com o intuito de fornecer informações seguras de como os animais são produzidos, sendo construído a partir de quatro princípios: boa saúde, boa alimentação, alojamento e comportamento adequados.

Em contraposição à filosofia do bem-estar animal, a ciência aliada à tecnologia vem modificando as práticas de produção em grande parte das espécies zootécnicas. Nos sistemas de produção de apenas uma espécie animal, grandes quantidades de animais são alojadas em instalações ou estruturas de confinamento, permitindo um manejo mais controlado e preciso no que diz respeito à alimentação e produtividade (CENTNER, 2010). O ambiente de confinamento é, no entanto, mais limitado impactando negativamente no desenvolvimento de diversos comportamentos (LASSEN; SANDØE; FORKMAN, 2006).

A avaliação do bem-estar animal envolve diversas dificuldades, muitas vezes, associadas com a subjetividade presente em várias medidas de bem-estar (MARCHANT-FORDE, 2009). Portanto, as vantagens apresentadas pelo confinamento convencional são aceitas em contraposição aos ganhos em termos de bem-estar.

Embora ainda não se tenha um esforço global acerca do assunto, observam-se diferentes realidades mundiais tomando medidas efetivas para a reestruturação dos sistemas de produção, respeitando os critérios do bem-estar animal. Por exemplo, a Legislação da União Europeia estabelece limitações em diferentes etapas dos sistemas de produção animal (FRASER, 2008). Até mesmo nos EUA, observam-se ações direcionadas a esta realidade (CENTNER, 2010), tendo em vista que as temáticas mais comuns giram em torno do alojamento individual e produção de gases na suinocultura, gaiolas em aves poedeiras e produção de vitelo.

2.3 Termorregulação de suínos

O acompanhamento da temperatura interna de pecilotérmicos faz pouco sentido, uma vez que é dependente do ambiente em que se encontram. No entanto a dos homeotérmicos pode fornecer informação importante, uma vez que a ocorrência de valores fora da faixa de termoneutralidade pode indicar deficiência dos processos termorregulatórios frente às adversidades térmicas ambientais, ou ainda ocorrência de processos infecciosos ou inflamatórios. Porém é importante que seja interpretada em relação à espécie e situação clínica (ROBERTSHAW, 2006).

Variações na temperatura corporal provocam impactos sobre processos biológicos mais complexos, fazendo-se necessária uma temperatura relativamente

constante para o funcionamento eficiente dos cérebros complexos de mamíferos e aves (ROBERTSHAW, 2006).

Uma vez que as fontes metabólicas de calor estão, na maioria dos casos, distantes da pele, como é o caso do fígado, coração e músculos dos membros, torna-se necessária a transferência de calor entre esses locais. Como os tecidos corporais são maus condutores térmicos, o calor é transferido principalmente pela convecção na circulação (ROBINSON, 2008).

Em seres humanos e animais existem variações consideráveis de temperatura nas diferentes partes internas e entre o interior e o exterior do corpo. No cérebro a temperatura é normalmente maior do que no sangue que percorre as carótidas, sendo essa região mais resfriada do que aquecida pelo sangue arterial. Em situações de frio, a temperatura interna é mantida apenas no abdome, no tórax e no cérebro, sendo que a temperatura periférica em membros pode chegar a uma diferença de 10°C a menos em relação à temperatura do núcleo corporal (ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008).

2.3.1 Zona de termoneutralidade

É possível estabelecer uma zona térmica neutra, com metabolismo e trocas de calor não-evaporativas constantes, onde o isolamento variável, como por exemplo, os ajustes circulatórios, são suficientes na manutenção da situação de temperatura constante. Fora dessa zona de neutralidade, tais ajustes mostram-se incapazes de manter o equilíbrio térmico. Em situações de altas temperaturas, os ajustes circulatórios são suplementados pelo aumento das perdas evaporativas (suor e polipnéia) e, em situações de baixas temperaturas, pelo aumento do metabolismo (ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008; ASHRAE, 2013).

Os fatores que constituem o ambiente térmico dos animais, causando maiores efeitos sobre sua ambiência, e consequentemente o bem-estar, são: temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e a velocidade do vento.

A produtividade ideal é alcançada quando os animais estão submetidos a uma condição ambiental que favorece trocas mínimas de energia para manutenção do equilíbrio térmico. De forma análoga, são considerados em situação de estresse térmico quando a temperatura encontra-se fora da zona de conforto térmico e ocorre gasto de energia em prol da manutenção da temperatura corporal, uma vez que a habilidade de dissipar calor dos animais é diminuída. Considera-se zona de conforto

térmico a faixa de temperatura entre a temperatura crítica inferior e a temperatura crítica evaporativa (BLACK et al., 1993).

A zona de termoneutralidade ou conforto térmico dos animais pode ser calculada, ainda, pela diferença entre a energia metabolizável fornecida na ração e a energia retida na produção e crescimento dos tecidos (CIGR, 1992). No caso dos suínos, esses valores dependem de diversos aspectos, ligados ao animal, como idade, peso, estado fisiológico, tamanho do grupo, alimentação e genética, dentre outros ligados ao ambiente, assim como: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, tipo de piso e energia radiante. Diante de tais fatores, existem diferenças na literatura em relação às zonas de conforto térmico e os limites de temperatura crítica superior e inferior para as diferentes categorias de suínos (HANNAS et al., 1999). Adicionalmente, o suíno apresenta diferentes valores de temperatura para sua zona de termoneutralidade ao longo do seu desenvolvimento.

Estudos verificaram, mediante modelos de produção de calor e temperatura crítica, que a situação crítica para a temperatura ambiental em suínos modifica-se com o aumento do peso vivo, sendo que em animais menores a temperatura crítica é a mínima, ao passo que em animais maiores, após a quinta semana de vida, as temperaturas críticas são as máximas (MANNO et al., 2006; SORENSEN, 1964; BRUCE, 1979). De acordo com Robinson (2008), a taxa metabólica basal por quilograma de peso corporal é maior nos mamíferos menores, devido a uma maior relação área superficial/volume nestes animais, resultando em uma maior facilidade na perda de calor.

Segundo Oliveira (1999), a máxima energia é fixada dentro da zona de termoneutralidade. Isto é, o ponto onde o balanço entre a energia metabolizável e a produção de calor do animal, perante o ambiente térmico desafiante, resulta em menor consumo da energia metabolizável disponível para a produção de calor e regulação térmica encontra-se no centro da faixa termoneutra, sendo a energia fixada máxima em toda a extensão desta faixa.

Na Tabela 1, composta a partir dos trabalhos de Mostaço, Pecoraro e Silva-Miranda (2014) e Pecoraro, Mostaço e Silva-Miranda (2014), encontra-se a compilação dos dados disponíveis na literatura para temperaturas e umidades relativas críticas e zona de conforto de suínos nas diferentes fases de criação.

Tabela 1 - Valores referentes ao limite de temperatura crítica inferior (TCI), zona de conforto térmico (ZCT), temperatura crítica superior (TCS), umidade relativa crítica inferior (UCI) e umidade relativa crítica superior (UCS) para suínos

Categoria	TCI (°C)	ZCT (°C)	TCS (°C)	UCI (%)	UCS (%)
Nascimento	20	30	34	60	80
1ª semana	20	28	32	60	80
2ª semana	15	24	28	60	80
3ª semana	13	22	26	60	80
4ª semana	10	20	24	60	80
5ª a 8ª semana	8	18	22	60	80
Crescimento	7	16	21	60	80
Terminação	5	12	21	60	80
Final da gestação	4	12	19	60	80
Lactação	0	10	16	60	80
Fêmeas vazias e Machos	7	14	21	60	80

Fonte: Mostaço, Pecoraro e Silva-Miranda (2014); Pecoraro, Mostaço e Silva-Miranda (2014)

Os leitões recém-nascidos possuem uma limitada capacidade de regulação térmica, principalmente devido seu incompleto desenvolvimento hipotalâmico, situação essa, agravada pela pequena camada de gordura isolante subcutânea e pelas poucas reservas de glicogênio corporais. Os leitões com menor peso corporal sofrem com maior frequência, devido a uma maior relação área superficial/volume nestes animais (ROBINSON, 2008). Em leitões recém-nascidos emprega-se o controle de temperatura ambiental com o uso de escamoteadores e fontes de aquecimento. Sendo tais estratégias imprescindíveis no auxílio da manutenção da homeotermia. Por outro lado, temperaturas acima da zona de termoneutralidade estão associadas a decréscimo no desempenho de suínos, especialmente pela diminuição no consumo de alimentos e pelo custo energético, ambos associados aos processos de termorregulação (FERREIRA, 2000).

2.3.2 Mecanismos de termorregulação

Os conhecimentos relacionados às propriedades de termorreceptores são gerados, em sua maioria, por estudos eletrofisiológicos desenvolvidos em animais. Existem dois tipos de termorreceptores, um para o frio e outro para o calor. Determinadas áreas da pele demonstram maior importância em relação a outras no controle periférico da temperatura corporal (ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008).

Os mecanismos de termorregulação e respostas dos suínos variam em função do ambiente térmico. De maneira geral, quando estimulados pelo frio tendem a tomar medidas para diminuição da perda de calor e seu armazenamento por meio de: vasoconstrição periférica; piloereção de forma a aprisionar uma camada de ar que age como isolante térmico entre a pele e o ar ambiente; juntamente com respostas comportamentais, como por exemplo, a redução da área de superfície deitando-se curvados protegendo os membros da ação do ar ambiente; aproximação entre animais. Tem-se, ainda, o aumento da produção de calor interna por meio de mecanismos que respondem ao aumento da secreção do hormônio da tireóide, como o aumento do tônus muscular, tremor ou contração involuntária da musculatura esquelética, com o intuito de aumentar a produção de calor metabólico e transferi-lo para o centro do corpo, não sendo esse último um mecanismo eficiente, pois ele ocorre na periferia do corpo onde há uma grande perda de calor; aumento do apetite e termogênese pelo aumento da atividade voluntária. (adaptado de WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2011; GUITON; HALL, 1997; BERTHON; HERPIN; LE DIVIDCH, 1994; ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008).

Em se tratando de estímulos gerados por um ambiente quente, os animais reagem visando uma melhora na perda de calor para o ambiente por meio do aumento na frequência respiratória, ampliando assim a taxa de trocas evaporativas; vasodilatação periférica; e respostas comportamentais, como por exemplo, a extensão da área superficial de exposição ao ambiente deitando-se com o máximo de área em contato com o piso, ou encostado em paredes mais frias, facilitando a troca condutiva; chafurdação para aumento da troca evaporativa e distanciamento entre os animais para diminuição do ganho de calor por radiação. Além disso, ocorre decréscimo na produção de calor interno com o uso de mecanismos regidos pela diminuição da secreção do hormônio da tireóide, como a diminuição do tônus muscular; diminuição do apetite e diminuição da atividade voluntária (adaptado de WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2011; GUITON; HALL, 1997; BERTHON; HERPIN; LE DIVIDCH, 1994; ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008).

Em diversas espécies, uma sobrecarga calórica pode desencadear a polipnéia, ou aumento da frequência respiratória, e em alguns casos a polipnéia térmica, em que frequência respiratória varia entre 200 e 400 movimentos por minuto, com a boca aberta (ROBINSON, 2008). A polipnéia, assim como a sudorese,

pode ser estimulada tanto reflexamente quanto centralmente (ROBERTSHAW, 2006).

Dentre os mecanismos responsáveis pela perda evaporativa de calor, a sudorese é bastante importante em espécies de grande porte, enquanto a polipnéia tem papel mais expressivo em espécies de pequeno porte (ROBERTSHAW, 2006).

Sobre condições normais de temperatura e umidade, os mamíferos quando em repouso, perdem aproximadamente 25% do calor produzido por evaporação de água pela pele e em vias respiratórias. A sudorese termorregulatória pode ser estimulada via aumento da temperatura do sistema nervoso central (SNC) ou por estimulação dos receptores de calor cutâneos, entre outras partes do corpo localizadas fora do SNC. Sua importância relativa, como um mecanismo de dissipação de calor, é diferente entre as espécies (ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008).

Segundo Sainsbury (1972), as perdas de calor em suínos alojados em grupos são distribuídas da seguinte forma: 40% por radiação, 35% por convecção, 15% por condução e 10% por evaporação. Para temperaturas ambientais acima de 30°C as perdas evaporativas são predominantes (SORENSEN, 1964), enquanto que para temperaturas ambientais abaixo de 25°C predominam as trocas não evaporativas (ESMAY, 1982). A entalpia, ou energia necessária para mudança da condição térmica ambiental, é um fator limitante sobre os mecanismos termorreguladores como a evaporação respiratória. Situações de alta temperatura e umidade relativa do ar e, portanto, elevada entalpia, são críticos para os processos evaporativos, os valores críticos situam-se entre 76 e 96 kJ.kg de ar seco⁻¹ (CIGR, 2002).

Já uma súbita exposição ao frio, o calafrio torna-se a maior contribuição para o acréscimo na geração de calor (ROBINSON, 2008). O calafrio é capaz de gerar calor mais efetivamente do que as contrações musculares voluntárias, sob o ponto de vista termodinâmico (ROBERTSHAW, 2006).

Estudos histológicos mostraram que as glândulas sudoríparas na superfície da pele de suínos possuem suas aberturas bloqueadas por queratina, tornando-as inativas, resultando em uma menor contribuição na termorregulação, assim como em cães (ROBINSON, 2008). Esse fato, aliado à ausência da polipnéia, faz com que o suíno apresente baixa tolerância ao calor perante outros animais domésticos. Sua temperatura retal aumenta a partir de 30 a 32°C de temperatura ambiente, sendo que em situações onde a umidade relativa do ar é superior a 65%, o suíno não é

capaz de tolerar uma exposição prolongada a temperaturas acima de 35°C. Estes animais não são capazes de suportar ambientes com temperaturas acima de 40°C, independente da taxa de umidade. Uma temperatura retal de 41°C pode acarretar em um colapso rapidamente (ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008; DESHAZER, 2009).

O primeiro mecanismo de troca de calor acionado pelos suínos, quando expostos a temperatura acima do limite superior de sua zona de conforto térmico, é o evaporativo, com o aumento da frequência respiratória. Isto ocorre devido à estimulação direta do centro do calor no hipotálamo, estimulando o centro cardiorrespiratório, que por sua vez envia impulsos para amplificar a atividade respiratória (HABBEB; MARAI; KAMAL, 1992). Esse mecanismo termorregulador utilizado pelos suínos é inadequado, pois ocorre um gasto de energia elevado (CLOSE; MOUNT, 1978), além de poderem entrar em alcalose respiratória devido à hiperventilação (PENZ JR., 1991).

A evaporação é uma forma de troca de calor latente, ou seja, por meio da mudança de estado da água, do líquido para o gasoso, levando calor para fora do corpo do animal. Este tipo de troca de calor é muito utilizado pelos suínos para aumentar a taxa de troca de calor em ambientes quentes, em que as trocas sensíveis de calor por condução e convecção ficam comprometidas devido à proximidade das temperaturas do corpo do animal com a das superfícies de paredes e piso e do ar (HANNAS, 1999). Ela ocorre nos suínos, assim como em outros mamíferos homeotérmicos, por intermédio da respiração, sendo essa uma via importante de termorregulação (ROBINSON, 2008).

Uma vez que a evaporação depende da pressão do vapor d'água, com o aumento da umidade relativa do ar, a perda de calor por evaporação fica prejudicada devido à maior dificuldade da água em evaporar. Em condições de altas temperaturas e umidades relativas, com o acréscimo na dificuldade das perdas de calor latente e consequente diminuição da perda de calor total para o ambiente, os suínos aumentam a frequência respiratória no intuito de alcançar taxas de troca de calor por evaporação razoáveis.

Quando submetidos ao estresse por calor, ocorre a vasodilatação periférica, permitindo elevar a velocidade de transferência de calor do interior para a pele. O aumento da temperatura cutânea facilita as trocas térmicas por condução e convecção por meio da amplificação do gradiente entre a temperatura ambiental e

cutânea (ROBERTSHAW, 2006). A vasodilatação é causada pela inibição dos centros simpáticos do hipotálamo, responsáveis pela vasoconstrição (GUITON; HALL, 1997).

Conforme observado por Roller e Stombaugh (1976), os suínos apresentam perdas significativas de calor por evaporação através da pele, obtendo sucesso em manter a sua temperatura abaixo da retal estimulando o resfriamento adiabático, que ocorre quando o animal busca o contato com dejetos líquidos na tentativa de suprir a deficiência de sudação.

Quando em conforto térmico os suínos apresentam valores de frequência respiratória e temperatura retal (Tabela 2), sendo que os valores médios destas variáveis podem aumentar até 270% e 4,2% respectivamente, de acordo com o ambiente térmico (CHRISTON, 1988). Quando os processos sensíveis de troca de calor são anulados, pela proximidade entre temperatura ambiente e superficial do animal, e a perda de calor por evaporação, mesmo que com frequência respiratória elevada, não é suficiente para dissipação do calor produzido, esse calor é armazenado no organismo elevando a temperatura corporal, representada pela temperatura retal, que supera os valores normais. Tais mudanças ocorrem quando as trocas evaporativas de calor são insuficientes, comumente em animais com maior peso corporal.

Tabela 2 - Frequência respiratória e temperatura retal de suínos em diversas idades ou peso, em situação de conforto térmico

Idade ou peso	Frequência respiratória (movimentos minuto⁻¹)	Temperatura retal (°C)
Nascimento	40 a 50	39,0
Lactação	30 a 40	39,2
Desmama	25 a 40	39,3
25-45 kg	30 a 40	39,0
45-90 kg	30 a 40	38,8
Fêmeas gestantes	15 a 20	38,6
Lactantes	20 a 30	39,1
Reprodutores	15 a 20	38,6

Fonte: Adaptado de Muirhead e Alexander (1997), Robertshaw (2006), Robinson (2008); Sousa (2004)

2.3.3 Reações hormonais

Os níveis de hormônio no organismo do animal variam durante as 24 horas do dia. Deve-se ter cuidado ao interpretar dados clínicos laboratoriais obtidos em

momentos diferentes do dia. Existem diferentes “relógios”, sendo que o mais importante encontra-se no núcleo supraquiasmático do hipotálamo (HOUP, 2006).

A regulação térmica corporal dá-se em grande parte por meio de mecanismos de “*feedback*”, sendo que a grande maioria opera mediante centros termorreguladores do hipotálamo, termorreceptores na pele e em tecidos mais profundos, como por exemplo, medula espinhal, órgãos abdominais e grandes veias. Os receptores internos são considerados de cinco a 20 vezes mais sensíveis que os da pele, em que os receptores centrais são importantes na defesa rigorosa da temperatura do núcleo corporal. Em contrapartida, os termorreceptores presentes na pele ficam sujeitos a amplas variações de temperatura do ar, agindo na previsão de possíveis mudanças na temperatura interna. Ao detectarem variações da temperatura corpórea, a partir do “*set-point*” hipotalâmico, os centros térmicos do hipotálamo desencadeiam procedimentos apropriados para aumentar ou diminuir a temperatura corpórea, inicialmente utilizando-se de mecanismos comportamentais e, se estes não forem suficientes, acionam-se mecanismos fisiológicos, a fim de manter uma temperatura corporal constante (ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008; SIMON et al., 1986; WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2011; GUITON; HALL, 1997).

Um dos mecanismos citados para o aumento da produção de calor interno em situações de estresse por frio envolve o aumento da secreção de tiroxina, observada pelo acréscimo da secreção de hormônios da tireóide, responsáveis pelo aumento do metabolismo basal. Uma vez que a temperatura corpórea fica abaixo do “*set point*” hipotalâmico, aumenta-se a produção do hormônio neurosecretor, liberador da tireotropina, pelo hipotálamo, sendo transportado pelas veias porta hipotalâmicas até a adeno-hipófise, onde estimula a secreção do hormônio tireoestimulante. Esse último estimula uma maior produção de tiroxina pela glândula tireóide. A elevação da concentração de tiroxina causa aumento do metabolismo celular por todo o corpo, constituindo um mecanismo de termogênese química (ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008; GUITON; HALL, 1997; BAËTA; SOUZA, 2010). Verificam-se elevadas concentrações de hormônios da tireóide circulante em leitões submetidos a estresse por frio.

Quando submetido a situações de temperaturas elevadas, termorreceptores periféricos são estimulados, transmitindo impulsos nervosos ao centro do apetite no hipotálamo, que por sua vez reduz o consumo de ração (HABBEB; MARAI; KAMAL,

1992), além disso, os suínos podem reduzir sua produção de calor pela alteração na atividade física (CURTIS, 1993).

2.3.4 Efeitos do estresse calórico

Todo fator externo e interno que provoca um estresse é denominado estressor (calor, frio, umidade, vento, fome, sede, infecções, dor, medo, ansiedade, isolamento, endoparasitos, ectoparasitos, poluição sonora e elevada densidade populacional). A interação entre estímulo estressor e resposta ao estímulo, seja motora ou endócrina, manifesta-se na forma de uma síndrome, chamada síndrome de adaptação geral, com a qual o organismo tenta evitar ou reduzir os efeitos do estressor. Os estressores ambientais podem, na extensão em que excedam as capacidades de defesa e compensação do homem ou dos animais, afetarem adversamente o desempenho, a saúde e o seu bem-estar (RODRIGUES et al., 2000).

O estresse térmico está relacionado aos fatores físicos que se impõem aos diferentes organismos e respostas observadas, devendo ser considerados elementos físicos do ambiente (fatores climáticos de interesse), da mesma forma que os fatores intrínsecos aos animais (SILVA, 2008).

Segundo Hannas (1999) para a obtenção de máxima eficiência produtiva e, portanto maiores retornos econômicos na suinocultura, deve-se evitar as adversidades do ambiente térmico sobre os animais, uma vez que, suas respostas fisiológicas estão em grande parte associadas ao atraso ou ao decréscimo na quantidade e qualidade do produto final. Porém, o desempenho zootécnico não se mostra afetado quando os mesmos são submetidos a variações cíclicas de temperatura da ordem de 5 a 8°C (DESHAZER; FEDDES, 1986), sendo que amplitudes superiores à mencionada podem ser prejudiciais ao desempenho de crescimento dos animais (NIENABER et al., 1987a).

Em situações de estresse prolongado, o efeito catabólico sobre os tecidos ósseo e conjuntivo e órgãos linfáticos, gera resultados negativos no balanço de nitrogênio, fazendo com que a síntese de proteínas e lipídeos, responsável pela formação e deposição de músculo e reposição de tecidos, dê lugar à degradação, até moléculas mais simples de açúcares, inibindo assim, o crescimento, além de reduzir a resistência orgânica a infecções.

Diversos autores (NIENABER et al., 1987a, 1996; BECKER et al., 1992; LOPEZ et al., 1991, 1994; NRC, 1981; NICHOLS et al., 1980; DESHAZER, 1982) mostram que em temperaturas acima de 25°C, para suínos em crescimento, o ganho de peso e a ingestão diária de alimento são prejudicadas, contudo, a conversão alimentar não é afetada significativamente, fazendo com que o animal demande mais tempo para atingir o peso ideal.

Nienaber et al. (1987b, 1996) reportaram que os efeitos da temperatura na composição de carcaça de suínos em crescimento, alimentados *ad libitum*, apresentaram como resultado um significante decréscimo no conteúdo de gordura e aumento no total de proteína.

Embora não existam trabalhos suficientes para se determinar a exata contribuição do ambiente na redução da produção, estudos sobre resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas (KIEFER et al., 2009), concluíram que o estresse por calor provoca distúrbios comportamentais, assim como, afetando negativamente o desempenho (consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar) e alterando a fisiologia (peso de órgãos, utilização de proteína e de energia e deposições diárias de proteína e de gordura na carcaça, frequência respiratória e as temperaturas retais e de superfície) dos suínos em fase de crescimento. Temperaturas ambientais de estresse por calor alteram a fisiologia dos suínos, geram distúrbios comportamentais e afetam negativamente o desempenho e as características quantitativas de carcaça dos suínos em fase de terminação (KIEFER et al., 2010).

2.3.5 Controle térmico ambiental

De acordo com Robinson (2008), em situações naturais os animais utilizam-se, também, de métodos comportamentais para adaptação às situações térmicas adversas, principalmente por calor, como buscar regiões de sombra, ficar na água e espojar-se na lama. Tais comportamentos não são possíveis para rebanhos criados em sistemas intensivos. Sendo o produtor cada vez mais responsável pelo bem-estar e pela sobrevivência dos animais, o mesmo deve tomar ações no sentido de suprir essa deficiência com alternativas tecnológicas criativas e eficazes na regulação térmica do rebanho.

O dimensionamento e controle de instalações para produção animal vêm sendo feito com base em valores pontuais de temperaturas críticas, em que o animal

começa a ser exposto ao estresse térmico por calor ou frio (CIGR, 2002). Percebe-se, contudo, que um projeto e controle mais eficientes, por meio de faixas de conforto, alerta e estresse térmico, além da abordagem via entalpia do ar ambiente é mais eficiente na caracterização térmica à qual os animais estão expostos, possibilitando um ajuste mais fino da situação térmica nas instalações.

2.4 Índice de conforto térmico – entalpia

Os índices bioclimáticos de conforto térmico quantificam e caracterizam as zonas de conforto adequadas às diferentes espécies e categorias de animais. Eles levam em consideração os fatores que caracterizam o ambiente térmico que engloba os animais, bem como, o estresse que o ambiente pode causar aos mesmos (BARBOSA FILHO et al., 2009).

Em meio às grandezas relacionadas à termodinâmica clássica, a Entalpia indica a quantidade de energia contida em um sistema, sendo este compreendido, no âmbito da ambiência animal, como a quantidade de energia contida na mistura ar e vapor de água que envolve os animais no ambiente de criação. Portanto, em casos de alteração de umidade relativa, para uma mesma temperatura, a energia envolvida nesse processo se altera, e conseqüentemente, a troca térmica que ocorre no ambiente também sofre alteração (MOSTAÇO; PECORARO; SILVA-MIRANDA, 2014).

Os autores Mostaço, Pecoraro e Silva-Miranda (2014), propõe a utilização do índice de conforto térmico entalpia (H) na avaliação de ambientes internos da criação de suínos, além de tabelas práticas de entalpia, tendo por objetivo a padronização e o auxílio na tomada de decisão em controle ambiental de instalações para suínos. Os mesmos autores utilizaram a eq. (1) para cálculo da entalpia específica do ar ($\text{kJ.kg ar seco}^{-1}$), inicialmente proposta por Albright (1990) sendo a mesma adaptada por Rodrigues et al., (2010), para que valores de temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica local possam ser incorporados diretamente na equação para o cálculo da Entalpia. Esta equação, que será utilizada para os propósitos deste trabalho, é apresentada a seguir:

$$h = 1,006.T_s + \frac{UR}{\rho_B} 10^{\frac{7,5.T_s}{237,3+T_s}} (71,28 + 0,052.T_s) \quad (1)$$

Em que: h = entalpia ($\text{kJ.kg ar seco}^{-1}$);
 T_s = temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$);
 UR = Umidade relativa do ar (%);
 ρ_B = Pressão Barométrica (mm Hg)

2.5 Temperatura retal

A temperatura retal pode ser utilizada como indicador prático da temperatura do núcleo corporal. Ela pode ser empregada como um bom indicador da condição de conforto ou estresse calórico dos animais, bem como avaliar o grau de adaptabilidade dos animais a um determinado ambiente ou condição, ou como indicador de doenças (BROWN-BRANDL et al., 2003). Mesmo que esta temperatura não corresponda, em todos os momentos, a uma média da temperatura do núcleo corporal, o mais aconselhável é padronizar este local do que medir a temperatura em locais diferentes. Além disso, a temperatura retal apresenta maior inércia em suas mudanças, atingindo o equilíbrio de forma mais lenta do que em outros locais, sendo um bom indicador do estado estacionário (ROBERTSHAW, 2006; ROBINSON, 2008).

Com a crescente preocupação em relação ao bem-estar animal, vários questionamentos são feitos acerca de métodos invasivos (ALVES et al., 2007). Partindo deste princípio, a mensuração da temperatura retal torna-se um método ineficaz, uma vez que para sua obtenção, é necessária a manipulação dos animais, causando a eles situações de elevado estresse.

Algumas alternativas têm sido propostas no desenvolvimento de técnicas que permitam a verificação e monitoramento da temperatura do núcleo corpóreo. Como exemplos, podem-se citar a utilização de sondas em aves (BROWN-BRANDL et al., 2003) e os sensores para monitoramento da temperatura interna de equinos (GREEN et al., 2008), em que essa última é considerada uma técnica que exige a manipulação dos animais, o que acaba caracterizando-a como invasiva.

Métodos alternativos e, por sua vez, menos onerosos, necessitam ser aperfeiçoados para a produção de suínos como, por exemplo, a predição de modelos relacionando a temperatura superficial com a retal, ou do núcleo corpóreo. Aplicando-se também a outros animais de produção, como por exemplo, Nascimento (2010) que determinou modelos de predição da temperatura superficial corpórea

média de frangos de corte, acompanhando diferentes regiões do corpo de frangos de duas linhagens comerciais, ao longo do ciclo de criação e em diferentes situações térmicas, conforto e estresse calórico. O autor verificou que todas as temperaturas das regiões corporais variaram apenas entre as diferentes situações térmicas ambientais, e o tempo de exposição ao estresse não influenciou a resposta das aves.

2.6 Regiões para medida de temperatura superficial em suínos

Na última década, a preocupação com o conforto térmico animal tem crescido, principalmente, quando associada às respostas fisiológicas e aos respectivos índices produtivos (SILVA, 1999). Para verificar se os animais estão ou não em conforto térmico, uma das variáveis a serem analisadas é a temperatura superficial dos animais. Para que esta análise seja feita de forma mais precisa é necessário saber quais são as melhores regiões, na superfície corporal do animal, para a medida de tais temperaturas. A seguir estão apresentadas algumas pesquisas que já abordaram esse assunto, bem como, alguns locais da superfície animal já estudados:

a) Nuca e Pernil

A temperatura da pele dos animais foi medida superficialmente por Carvalho et al. (2004), sem contato, com a pele previamente depilada, utilizando-se termômetro digital da marca Raytek, direcionado transversalmente às regiões da nuca, pernil dianteiro esquerdo e pernil traseiro esquerdo. A medida da temperatura da superfície da pele foi escolhida, por informar de modo rápido e prático, se os animais encontram-se fora da zona de conforto em uma amplitude na qual esteja prejudicando a sua produtividade. É sabido que a temperatura da pele sofre rápidas alterações, em razão da dissipação de calor, por convecção do fluxo sanguíneo, partindo do interior do núcleo corporal para a periferia, o que permite decisões imediatas, que impeçam uma diminuição no desempenho dos animais. Neste trabalho, os autores concluíram que houve influência da nebulização e ventilação forçada, nas instalações para suínos em fase de terminação, tendo uma melhoria no conforto térmico, temperatura da pele, porém, não houve melhoria no desempenho dos animais.

Mendes (2005), estudando o efeito da ventilação em salas de maternidade, coletou a temperatura de superfície de leitões em uma única região, no dorso dos animais; sendo que nas matrizes, as regiões de coleta foram: pernil e nuca, conforme metodologia proposta por Carvalho et al. (2004). Para a coleta da temperatura de pele dos leitões e matrizes utilizou-se o Termômetro Infravermelho da marca Omega, porém calibrado com a emissividade usual para animais de 0,97. Concluiu-se que a temperatura de pele das matrizes foi afetada significativamente pela condição de manejo da cortina adotado, o que não ocorreu com os leitões, apresentando as maiores médias de temperatura em relação às das matrizes.

Silva (2005), aferindo valores de temperatura superficial nas regiões da nuca, pernil traseiro e peitoral de porcas em lactação, com auxílio de termômetro infravermelho (Raytec, modelo Minitemp MT4), verificou que o resfriamento do piso da maternidade melhora o desempenho produtivo e reprodutivo da porca em lactação, bem como o desempenho de sua leitegada.

b) Nuca, Dorso e Posterior

Michels et al. (2010) utilizaram um termômetro infravermelho digital, sendo que, para as matrizes, a temperatura foi coletada em três regiões: nuca, dorso e posterior; já para os leitões, a região de coleta foi apenas o dorso. Como conclusões, observaram que o emprego do sistema de ventilação refrigerada, nas instalações para suínos na fase de maternidade, induziu uma melhoria no conforto (temperatura da pele) das matrizes, sem afetar os leitões, verificando ainda que esse sistema não melhorou o desempenho dos animais.

c) Nuca, Paleta e Pernil

Kiefer et al. (2009) mediram as temperaturas de superfície por meio de um termômetro a laser nas regiões da nuca, paleta e pernil, previamente depiladas, onde, puderam concluir que o estresse por calor causa distúrbios de comportamento, afetando negativamente o desempenho do animal como: consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar; alterando também a fisiologia, tais como: peso de órgãos, utilização de proteína e de energia, deposições diárias de proteína e de gordura na carcaça, frequência respiratória e as temperaturas retais e de superfície de suínos em fase de crescimento.

Manno et al. (2005) avaliaram temperaturas superficiais da pele nas regiões da nuca, paleta e pernil traseiro de suínos dos 15 aos 30 kg, por meio de termômetro de infravermelho, concluindo portanto, que a alta temperatura ambiente, gerou diminuição do consumo de ração, influenciando negativamente o ganho de peso, a conversão alimentar e a deposição de proteína, e ainda concluiu que o estresse calórico provocou aumento significativo na frequência respiratória de 59 para 106 movimentos.minuto⁻¹, na temperatura retal de 39,7 para 40,1°C, na temperatura da nuca de 36,4 para 39,8°C, na temperatura da paleta de 36,2 para 39,7°C e na temperatura do pernil de 35,9 para 39,6°C.

d) Cabeça, Paleta, Lombo, Pernil e Patas

Para avaliação da temperatura da pele, Nunes (2011) utilizou imagens termográficas em matrizes suínas, que possibilitaram a análise de cinco diferentes regiões da superfície corporal: Cabeça, Paleta, Lombo, Pernil e Patas traseiras. Como conclusões, o autor observou que, na criação de matrizes suínas, a utilização de cama teve um impacto negativo nas condições do microclima, ocasionando prejuízos termorregulatórios, comprovados pelas variáveis fisiológicas avaliadas.

e) Orelha

A temperatura da pele da orelha foi medida por Andersen et al. (2008), com auxílio do sistema de computador QSS2000, onde os suínos possuíam brincos com um sensor de temperatura coberto com material plástico, que conectava-se ao computador via *wireless*. Segundo esses autores, a temperatura de orelha foi utilizada devido ao fato de que as variações de temperatura são maiores nas extremidades corporais, podendo-se assumir que a temperatura da pele da orelha é classificada como uma boa medida da resposta termorregulatória em suínos. Esses autores concluíram que existe uma relação entre o comportamento do suíno e sua temperatura da pele da orelha, sendo esta influenciada pela temperatura ambiente e pelo comportamento dos suínos.

As regiões que se destacaram como mais utilizadas foram a nuca, a paleta e o pernil, porém, a existência de poucos trabalhos com a orelha, o lombo e as patas indicam a necessidade de se realizar mais trabalhos envolvendo tais pontos, para que, posteriormente, se possa avaliar quais são as regiões na superfície corporal que melhor representam a temperatura interna do animal.

2.7 Sensores na produção animal

Os sistemas de automação são aqueles que permitem monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico de forma rápida, eficiente e segura (FIALHO, 1999). Estando intimamente ligados às variáveis medidas ao longo do período de produção, necessitam ser alimentados de informações com um baixo nível de erros associados, baixa latência temporal em sua obtenção, além de serem projetados corretamente. Sendo assim, podem auxiliar na manutenção das condições de bem-estar animal, além da maximização dos índices produtivos, aliada à minimização de custos de produção.

Na automação da produção de suínos, o animal gera os sinais mais importantes do processo, atuando como um bio-sensor, necessitando ser medido de forma direta e contínua. Tais sinais podem indicar e quantificar parâmetros fisiológicos, comportamentais e/ou de produção, como temperatura do animal, peso vivo, consumo de alimentos e movimentação.

A Zootecnia de Precisão utiliza os sensores para realizar o monitoramento contínuo e simultâneo em grande quantidade de unidades, possibilitando a análise de tendências temporais, assim como de estatísticas individuais. As novas tecnologias são capazes de suprir esta demanda, inclusive em numerosos rebanhos de animais devido à evolução dos sensores e das técnicas de monitoramento como, por exemplo, o desenvolvimento da nano e micro eletrônica (FROST et al., 1997; BERCKMANS, 2004).

2.7.1 Tipos de sensores

Os sensores podem ser aplicados diretamente no animal, podendo-se citar exemplos como: pedômetros para monitoramento de cios em vacas leiteiras, micro sensores digitais de temperatura implantados na mucosa vaginal de novilhas leiteiras (ARCE et al., 2007); estudos de bioclimatologia animal utilizando termopares inseridos no reto de vacas leiteiras e termometria infravermelha para temperatura superficial (SOUZA JUNIOR et al., 2008); os sistemas de pesagem automática para frangos, galinhas poedeiras e perus; os de telemetria para medição do ritmo cardíaco, temperatura corporal e atividade, e os de quantificação da condutividade do leite e rendimento das vacas leiteiras; os sensores estão presentes até mesmo em estudos na área de fisiologia muscular (GOMES, 2001). Existem

ainda os *transponders*, possibilitando a geração de grande quantidade de informação comportamental, por meio do monitoramento digital diário, inserido em um sistema informatizado, possibilitando a gestão de grupos de animais em sistemas de produção comercial, resultando assim, em uma melhor análise do contexto do bem-estar animal (PINHEIRO; PINHEIRO, 2009).

A medida de temperatura da pele dos animais vem sendo realizada basicamente por instrumentos como o pirômetro de infravermelho (WILLIAMS, 2009; SILVA, 2005) e sensores de contato (ANDERSEN et al., 2008; QUINIOU; NOBLET, 1999; NOBLET et al., 1989).

Diferente de outras formas de medir temperatura, como a aferição de temperatura retal, a temperatura externa da pele é uma variável que, dependendo do método utilizado para aferição, pode ser obtida sem o contato direto com os animais ou ainda sem a necessidade de invasão constante aos mesmos, como é o caso da temperatura retal. Neste sentido, existem os sensores de temperatura de pele, sendo pouco invasivos ao animal, na sua instalação e durante as medidas. Porém este tipo de sensor ainda sofre com as situações agressivas às quais fica submetido, duração de bateria e problemas com relação à fixação prolongada na pele do animal.

No futuro, os sensores e as técnicas de monitoramento de animais estarão amplamente disponíveis colocando o animal no centro da Zootecnia de Precisão (PINHEIRO; PINHEIRO, 2009). No entanto, atualmente a disponibilidade de sensores de baixo custo, robustos e confiáveis, aliada ao desconhecimento de melhores técnicas e locais para a instalação, continua a ser o principal problema a ser resolvido para que a Zootecnia de Precisão ganhe maior escala.

a) Sensor de Contato utilizando sistema de computador QSS2000

Andersen et al. (2008), cujos resultados já foram anteriormente citados, utilizaram um sensor recoberto por material plástico, colocado em brinco sobre a pele da orelha do animal. O sensor tinha resolução de temperatura de 0,02°C (acurácia absoluta de $\pm 0,5^\circ\text{C}$); sendo os valores de temperatura enviados a cada 3 ou 5 minutos para o computador via wireless.

b) Sensor TMP100-Texas Instruments

Arce et al. (2007) adaptaram um sensor, o qual é um sistema de medida de temperatura microprocessado, para ser implantado na mucosa retal e vaginal de bovinos. Juntamente com o sensor, foi desenvolvido um programa de computador, para auxiliar em sua configuração e controle da aquisição dos dados. O sensor é composto de dois módulos, sendo o primeiro, uma estação de base fixa, e o segundo, a eletrônica de coleta embarcada no animal. Esse segundo módulo tem dimensões de 10 mm de altura, 30 mm de largura e 50 mm de comprimento. Como resultados os autores obtiveram que a temperatura medida pelo TMP100 responde corretamente quando comparada a um padrão, além disso, se mantém estável quando submetido às intempéries e dura no máximo 10 dias quando implantado na mucosa vaginal de bovinos.

c) Sensor Termopar

Foi utilizado por Gomes (2001) um sensor termopar (PT-100), conectado a um termômetro digital modelo IM-01 da marca CONTEMP, para medir a temperatura intramuscular, por implantação cirúrgica no músculo longo do tronco de cães, seguida da aplicação de frio e calor em regiões adjacentes da superfície da pele. Encontrando que a aplicação de frio e calor na superfície da pele produz modificações reais da temperatura em planos musculares subjacentes à região de aplicação.

Souza Junior et al. (2008) utilizou termopares PT-100 classe A, para aferir a temperatura retal de vacas holandesas expostas à radiação solar direta em região semi-árida. Utilizou ainda termômetro de infravermelho modelo TD-965 da marca Icel para aferir a temperatura da superfície do pelame. Como resultados, obteve que a radiação solar possui grande influência no estoque térmico, podendo comprometer a termorregulação, afetando, conseqüentemente, os aspectos produtivos dos animais, sendo a proteção contra radiação solar direta indispensável para vacas Holandesas manejadas a campo em uma região semi-árida.

Quiniou e Noblet (1999) utilizaram termômetro digital e sonda tipo-T, para aferir a temperatura retal, e uma sonda tipo-K para aferir a temperatura superficial da pele das costas na posição P2, na glândula mamária e no flanco de porcas em lactação. Esses autores relataram aumentos nas temperaturas superficiais das

porcas de 34,6 para 37,4°C com a elevação da temperatura ambiente de 18 para 29°C), assim como redução da ingestão de alimento.

d) Sensor no Túnel de Temperatura Cerebral

O túnel de temperatura do cérebro, descoberto pelo pesquisador Marcio Marc Abreu com estudos em humanos, é um canal que transmite a temperatura do cérebro para uma área da pele, sem camada de gordura, próxima aos olhos, e passível de ser medida via sensores de temperatura superficial de contato ou infravermelho (HADDADIN et al., 2005; ABREU et al., 2010).

Zambalde et. al, (2005), reuniu informações sobre pesquisas que têm trabalhado no sentido do desenvolvimento de sensores que meçam tal temperatura, na área dos olhos, de forma não invasiva, atuando na prevenção de doenças como febre aftosa. O equipamento para medir a temperatura é constituído por um sensor posicionado na região do Canal de Temperatura Cerebral (*Brain Temperature Tunnel* – BTT), com um fio conectado por um pacote microeletrônico na pálpebra do animal, com recursos de transmissão e processamento e uma fonte de energia (ABREU, 2007a, 2007b).. O sinal do pacote microeletrônico é preferencialmente transmitido através de ondas de rádio, podendo ser transmitido para uma coleira com GPS, permitindo a identificação de animais com temperaturas elevadas, juntamente com sua localização. Sempre que ocorrer um aumento na temperatura cerebral, detectada pelos sistemas ativos, o sinal referente à mesma ativará a coleira com GPS, fornecendo a localização do animal afetado.

e) Sensores Ingeríveis

Brune (1999) desenvolveu e patenteou um sensor de temperatura ingerível, em forma de pílula grande, usado para captar e transmitir informações nos animais ruminantes, inclusive medir temperatura destes animais.

Brown-Brandl et al. (2003) estudando a utilização de sistemas de telemetria em animais de produção utilizaram *dataloggers* com poder de transmissão de dados em bovinos, suínos e aves. Nos suínos, foram utilizados dois tipos de transmissores, um implantado na cavidade intraperitoneal, medindo 6 cm de comprimento por 2,5 cm de diâmetro, e um ingerível medindo 2,5 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro. O transmissor ingerível foi administrado com auxílio de um aplicador de bolus, mantendo a boca do suíno aberta com auxílio de fio de nylon e após a aplicação foi

administrado uma pequena quantidade de água. Não foi mencionado qual a idade ou peso dos suínos utilizados na pesquisa. Os autores concluem que os sistemas de telemetria são uma alternativa viável em relação a outros métodos de monitoramento da temperatura interna em situações experimentais. Entretanto, devido ao custo envolvido nas cirurgias e a necessidade de filtragem dos dados, deve-se considerar alguns pontos para garantir a eficiência do método. Onde é necessária intervenção cirúrgica, outros métodos de acompanhamento da temperatura interna devem ser considerados primeiro. Para medidas de curto prazo em suínos, menos de 48 h, o método apontado pelos autores como melhor opção é o de telemetria ingerível, enquanto que para medidas em longo prazo, a sonda timpânica ou o transmissor telemétrico implantável podem ser utilizados.

Berg e Carr (2006) estudaram os efeitos do clima, intensidade de manejo, densidade durante o transporte e tempo de espera para abate, na temperatura do trato digestivo e nível de hormônios de estresse em suínos adultos comerciais. Para isso utilizou iButtons®, cuja descrição é feita em item específico, ingeridos, que monitoraram a temperatura do trato digestivo durante os processos de transporte e espera no abatedouro, sendo recolhidos durante o abate. Como resposta, os suínos expostos a estresse térmico (22 a 35°C) apresentaram temperatura do trato digestivo elevada, além de altos níveis de cortisol sérico, durante a espera, em relação a suínos em temperatura de conforto (6 a 13°C) e estresse por frio (-9 a 0°C), durante tais períodos. Esses problemas foram potencializados quando os animais esperaram por longos períodos (3h) para o abate.

f) Tecnologia de Identificação por Rádio Frequência (RFID)

A tecnologia emergente RFID permite incorporar sensores em um chip de tamanho reduzido, criando um dispositivo sem fio de detecção, propondo-se o desenvolvimento de um sensor de temperatura versátil. Para ser capaz de executar o projeto de um sensor de temperatura implantável em um animal, é interessante a escolha de uma frequência de operação robusta, entre 100 kHz a 150 kHz. Em aplicações de saúde, o sensor geralmente requer uma faixa pequena de temperatura (~ 35 a 45°C) e maior precisão (~ 0,1°C) do que em aplicações gerais.

Um link de rádio frequência (RF), utilizando a técnica de retro espalhamento do RFID passivo transmite, sem fio, os dados para um dispositivo de leitura ao extrair alimentação da mesma "Onda de ar", permitindo que o dispositivo opere em

qualquer lugar e dure quase que para sempre. A comunicação entre a etiqueta RFID (ou *tag*) e o leitor é baseada em um protocolo simples. Para sondar a temperatura de um alvo, um leitor companheiro ou scanner envia um comando para a *tag*. Na *tag*, o demodulador detecta o envelope RF e converte este sinal envelope em dados digitais. O comando decodificador decodifica esses dados para determinar o tipo de comando. Se não é um, o circuito digital realiza apenas operação RFID básica, como ler ou escrever na memória da *tag*. Neste modo, o sensor de temperatura está inativo ou na modalidade "desligar". Se o sensor recebe o comando "ler a temperatura", converte a temperatura em dados de 16 bits de saída, representando um valor entre 60°C e 135°C. O sensor de temperatura pode precisamente detectar a temperatura de 40°C a 120°C. O tempo de medição tem duração de cerca de 0,51 segundos em 125 kHz (OPASJUMRUSKIT, K. *et. al*, 2006).

g) Utilização do iButton® na aferição de temperatura em seres vivos

O iButton é um *datalogger* de temperatura por contato, e vem sendo utilizado cada vez mais por fisiologistas de animais para medidas de temperatura a longo prazo. Tipicamente os iButtons são implantados cirurgicamente na cavidade intraperitoneal, onde eles medem a temperatura do núcleo corporal e gravam esses dados em memória embutida no próprio sensor, juntamente com o horário em que as medidas foram aferidas (LOVEGROVE, 2009). Realizou-se busca em literatura disponível, objetivando analisar as diferentes aplicações do iButton para medidas de temperatura em animais e seres humanos.

Em Musaranhos-Elefantes (Família: Macroscelididae, Gênero: *Elephantulus myurus*), implantaram-se cirurgicamente ThermoChron iButton® pré-calibrados nas cavidades intraperitoneais. Os iButtons não excederam 5,3% da massa corpórea dos animais. Eles foram programados para medir a temperatura corpórea uma vez a cada hora por um período de 85 dias (MZILIKAZI et al., 2002).

Uma pesquisa foi realizada por Davidson et al. (2003) de forma a encontrar um método efetivo e barato para estudos onde fossem necessários dados de temperatura do núcleo corporal em ratos. Os autores escolheram o iButton pelo seu baixo custo, pois chega a ser vendido por valores inferiores a US\$15,00 cada um, e requer apenas um kit de interface de US\$15,00 e um computador com uma porta serial (preços divulgados pelo autor no ano de 2003). Além disso, o iButton grava

temperaturas em uma memória interna, não sendo necessário um receptor ou um suporte específico. Sua bateria é composta de lítio, podendo durar até 10 anos sem a necessidade de manutenção, sendo o mesmo reutilizável em experimentos com animais. Neste experimento, depois de realizados dois pré-testes que avaliaram a eficiência do iButton, foram inseridos, no peritônio de um rato, dois iButtons para o acompanhamento da temperatura do núcleo corporal.

Os resultados sugeriram que os iButtons são uma alternativa viável em relação a outros sistemas telemétricos muito mais caros para algumas aplicações experimentais. Uma das vantagens encontradas no iButton, além do custo, é que ele não interfere na medida dos demais iButtons de outros animais, quando estes encontram-se próximos uns dos outros. Algumas desvantagens são: o tamanho da memória em estudos de alta densidade temporal de dados; o fato de não ser possível armazenar também dados sobre a locomoção dos animais; e somente ser possível retirar os dados após conectá-lo à base, e não em tempo real (DAVIDSON et al., 2003).

Em Tenrec-Ouriço-Menor (Família: Tenrecidae, Gênero: *Echinops telfairi*), o iButton foi implantado cirurgicamente no peritônio de 6 animais e foi programado para coletar temperaturas a cada 42 minutos durante 2 meses (LOVEGROVE; GÉNIN, 2008). Os mesmos autores perceberam que nem todos os iButtons permaneceram à prova d'água, devido ao fato de não terem sido encapsulados em cera antes do implante.

Em animais selvagens, o uso dos iButtons possui vantagem sobre os dispositivos telemétricos sensíveis à temperatura, que transmitem a informação da temperatura via ondas de rádio AM ou VHF, uma vez que os dados são estocados internamente e para o seu monitoramento não são necessários dispositivos de recepção. Logo, os iButtons são ideais para gravar temperaturas corporais de animais selvagens em diversos tipos de ambientes. Em alguns casos, os animais precisam ser equipados com transmissores, para facilitar a sua localização e serem recapturados. Nos casos em que o peso desse transmissor em conjunto com o iButton excede 5% do seu peso corporal, o animal não pode ser equipado com esse aparato, correndo o risco de não ser recapturado, porém esse risco é compensado pelo baixo custo do iButton e pela sua capacidade de ser programado para medir e armazenar dados por um período pré-determinado, fazendo com que os animais recapturados anos depois tenham os dados do iButton preservados. Para animais

com peso menor que 70g, a grande limitação é o seu peso e tamanho, devido ao fato do próprio iButton exceder 5% do peso corporal do animal (LOVEGROVE, 2009).

Seebacher et al. (2003a, 2003b) implantaram iButtons na cavidade peritoneal de 20 jacarés, para cada estação analisada (verão e inverno). Sendo recapturados 7 animais, que tiveram seus *dataloggers* removidos, em cada estação, onde os dados foram coletados a cada 10 ou 15 minutos. Os resultados desse trabalho indicaram que a aclimatização bioquímica é um fator importante para a termorregulação dos répteis, mas isso não é suficiente para as conclusões de base sobre a sua capacidade de termorregulação em padrões de comportamento. Concluíram também que os jacarés não dependem exclusivamente da regulação da temperatura corporal, porém eles também podem se aclimatar bioquimicamente a mudanças sazonais das condições ambientais.

Lichtenbelt et al. (2006) realizando estudos de uso do iButton como sensor de temperatura sem fio, mediram a temperatura superficial da pele em seis humanos, com taxa de amostragem de uma medida por minuto, sendo comparada com termopares calibrados (ULTRAKUST Electronic GmbH, Germany). Os iButtons foram fixados na pele com auxílio de fita adesiva (Leukoplast, BSN medical GmbH and Co. KG, Hamburg, Germany). Os resultados mostraram que a diferença entre a temperatura medida pelo iButton e pelo termopar foi maior quando o gradiente de temperatura entre o ambiente e a pele era grande, além disso, a diferença de temperatura entre os dois aparelhos foi maior logo após a mudança das condições de temperatura do ambiente. O mesmo autor ressalta ainda que o uso de iButtons têm sido descritos em estudos de ciclo circadiano, estudos do sono e cirurgias cardíacas, sendo a aplicação dos iButtons vantajosa na aferição de temperaturas da superfície da pele, em situações nas quais instrumentos com fio são pouco práticos e respostas rápidas não são necessárias. Algumas das desvantagens são os atrasos nas medidas quando comparados a termopares, devido à inércia térmica dos materiais de construção do sensor, e no fato de serem *dataloggers*, necessitando de descarga dos dados, não servindo como sensores de tempo real.

Hasselberg et al. (2011), em estudo sobre o ciclo circadiano do sono em humanos, verificou que o uso do sensor iButton resultou em uma medida confiável e válida da temperatura corpórea, sendo que sua aplicação na pele de humanos mostrou-se como confortável e suportável sem reações adversas significantes.

A existência de trabalhos que utilizem o iButton como forma de aferição da temperatura superficial da pele ainda é restrita a trabalhos com seres humanos, porém este dispositivo apresenta vantagens relevantes no uso em pesquisas com animais. O conjunto desses dois fatores indica a possibilidade e a necessidade do desenvolvimento de pesquisas, no sentido da utilização do iButton como forma de aferição da temperatura superficial de animais de produção, sendo esta uma forma não invasiva para análise da temperatura.

Contudo, ainda existem poucos sensores de contato, não invasivos, utilizados para aferição da temperatura animal, indicando a necessidade de realização de trabalhos no sentido de desenvolvimento de sensores, aperfeiçoamento ou adaptação de sensores e sistemas já existentes, além da necessidade de realização de trabalhos acerca da fixação ou implantação de tais sensores na superfície da pele dos diferentes animais.

2.8 Modelos matemáticos e regressões lineares múltiplas

Um modelo matemático pode ser caracterizado por conjunto de símbolos e relações matemáticas que explica um fenômeno em questão ou um problema de situação real (BIEMBENGUT, 1997). Diversos modelos matemáticos são desenvolvidos para prever o desempenho térmico e produtivo de animais, em situações de produção, relacionado ao micro-clima da instalação (BRIDGES; GATES, 2009).

Para a ambiência animal existem diversos campos de atuação da modelagem matemática. Os principais e mais estudados são os modelos para prever a transferência de calor e massa entre animal e ambiente (GEBREMEDHIN; WU, 2000; YANAGI JUNIOR et al., 2001; AERTS; BERCKMANS, 2004), aperfeiçoamento de sistemas de climatização e predição da transferência de calor em ambientes de produção intensiva (GATES et al., 1991; GATES et al., 1992; SINGLETARY et al., 1996; SIMMONS; LOTT, 1996; MEDEIROS, 1997; TURNPENNY et al., 2000; CARVALHO et al. 2008; SILVA, E. et al. 2009; SILVA, M. et al. 2009).

A condição de conforto do animal pode ser avaliada partindo-se de simulações computacionais feitas a partir de modelos previamente validados, tendo como entradas as variáveis relacionadas ao animal, clima, instalação e manejo. Esta ferramenta tem sido utilizada com êxito em experimentos que envolvem grande

número de tratamentos e variáveis de entrada, ou variáveis resposta, possibilitando o estudo de sistemas complexos (YANAGI JUNIOR, 2006).

Um exemplo de modelagem matemática é a regressão linear múltipla. Ela envolve três ou mais variáveis, também chamadas de estimadores. Nela têm-se uma única variável dependente e duas, ou mais, variáveis independentes (explanatórias).

Por utilizar variáveis independentes adicionais, colabora na capacidade de predição, em relação à regressão linear simples. Pode se dizer ainda, que reduz o coeficiente do intercepto, o qual em uma regressão significa a parte da variável dependente explicada por outras variáveis, que não a considerada no modelo.

É aconselhável incluir as outras variáveis capazes de afetar a variável dependente (Y) para efetuar uma análise de regressão múltipla, mesmo que apenas o efeito de uma das variáveis seja procurado. Isto se deve a duas razões: a redução dos resíduos estocásticos, uma vez que ao reduzir a variância residual (erro padrão da estimativa), aumenta-se a sensibilidade dos testes de significância; e de forma a eliminar a tendenciosidade, que seria possível ao se ignorar uma variável que afeta Y substancialmente.

Deve-se ressaltar que o ideal é que se obtenha o mais alto relacionamento explanatório com o mínimo de variáveis independentes, sobretudo devido ao custo na obtenção de dados para muitas variáveis, além da necessidade de observações adicionais para compensar a perda de graus de liberdade, decorrente da introdução de mais variáveis independentes (REGRESSÃO..., 2014).

2.9 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais é utilizada como um método de análise exploratória dos dados. Ela busca a obtenção de um pequeno número de combinações lineares (componentes principais), que retenham o máximo possível da informação contida no conjunto geral de variáveis originais. Na maioria dos casos, pode-se utilizar um pequeno número de componentes, no lugar das variáveis originais, por exemplo, em análises de regressões ou análises de agrupamentos. Os componentes são obtidos na ordem do mais explicativo para o menos explicativo. O número de componentes total é sempre igual ao número de variáveis. Entretanto, apenas alguns componentes são responsáveis por grande parte da explicação total (SANTOS; CROCCO; SIMÕES, 2002).

Este tipo de análise frequentemente revela as relações que não se suspeitava previamente, permitindo, então, interpretações que não seriam ordinariamente obtidas.

As análises de componentes principais podem ser tratadas como um caminho para se atingir um fim, ao invés do objetivo final, pois servem frequentemente como passos intermediários em investigações maiores. Por exemplo, componentes principais pode ser a porta de entrada para uma regressão múltipla ou análise de agrupamentos.

Uma das questões mais relevantes ao se trabalhar com componentes principais é saber até qual número de componentes deve-se trabalhar. Não existe resposta definitiva para essa questão. O que se deve considerar é a quantidade da variância total que é explicada, os tamanhos relativos dos autovalores (as variâncias das componentes amostrais), e as interpretações físico-subjetivas das componentes. Adicionalmente, uma componente associada com um autovalor próximo a zero e, portanto, tida como não importante, pode indicar uma dependência linear ignorada nos dados.

Um auxílio visual útil na determinação do número apropriado de componentes principais é um gráfico *scree-plot*. Este é um gráfico de λ_i versus i – a magnitude de um autovalor versus seu número, com os autovalores ordenados do maior para o menor. Para se determinar o número apropriado de componentes, procura-se por uma curvatura ou dobra no gráfico *scree-plot*. O número de componentes é considerado o ponto onde os autovalores remanescentes são relativamente pequenos e possuem tamanhos similares (JOHNSON; WICHERN, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em duas etapas. A etapa 1 foi definida como sendo um pré-experimento com um número reduzido de animais, para teste da metodologia inicialmente desenvolvida e a etapa 2, tratou-se do experimento principal, tendo como base os métodos adaptados a partir da etapa 1 e, assim sendo, aplicado para um maior número de animais.

3.1 Etapa 1: Pré-experimento

3.1.1 Localização do pré-experimento

O pré-experimento foi conduzido no período de 10 a 20 de Janeiro de 2012, nas dependências do Setor de Construções Rurais e Ambiente, do Departamento de Engenharia de Biosistemas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), no Município de Piracicaba, estado de São Paulo, Latitude: 22° 42' 30" Sul; Longitude: 47° 38' 00" Oeste; Altitude: 546 metros, com clima tropical de altitude (tipo Cwa segundo a classificação Köppen).

3.1.2 Características da instalação e animais

Os animais foram mantidos em câmara climática, durante o experimento, cujas paredes possuem isolamento térmico, bem como, um controle automático de temperatura e troca de ar (Figura 1a).

Foram utilizados dois leitões da raça Landrace x Large White, com 30 dias de idade provenientes de uma mesma ninhada e do mesmo sexo (fêmea), cedidos pelo Setor de Suinocultura da ESALQ/USP, sendo alojados na densidade de 0,80 m².animal⁻¹, com contenção em forma de cercado criado com madeira e tela metálica de galinheiro (Figuras 1b e 1c). Optou-se por utilizar como piso, placas de Espuma Vinílica Acetinada (E.V.A.), pelas suas propriedades de amortecimento, evitando que os animais desenvolvessem úlcera de decúbito, e pela facilidade na limpeza.

Os animais foram mantidos em temperatura de conforto a 25,5°C (MOSTAÇO; PECORARO; SILVA-MIRANDA, 2014) durante todo o período não-experimental, sendo alimentados com ração apropriada ao estágio de criação e ingestão de água “ad libitum” durante todo o período experimental (10 dias).

(a)

(b)

(c)

Figura 1 - (a) Câmara climática onde foi realizado o experimento, (b) croqui sem escala (medidas em metros) e (c) instalação para os animais dentro da câmara climática

3.1.3 Condições ambientais utilizadas

Estudou-se a correlação entre a temperatura retal dos animais com as medidas de temperatura superficial, frente às adversidades climáticas, sendo que, para tal, foram variadas as condições de temperatura no interior da câmara climática de 15°C a 34,5°C, de modo a atingir situações de estresse tanto por frio quanto por calor (MOSTAÇO; PECORARO; SILVA-MIRANDA, 2014), em oito estágios diferentes, distribuídos pela manhã (8h) e à tarde (14h) dos dias experimentais, com variações graduais de temperatura, para aclimação dos animais às mudanças climáticas. Entre os tratamentos de calor e frio, os animais permaneceram cinco dias em situação de conforto térmico, de forma a promover o “wash-out” de um tratamento para outro.

3.1.4 Delineamento estatístico

O delineamento estatístico aplicado foi o inteiramente casualizado, com um único fator, a temperatura ambiente, com oito níveis: 15,0; 17,0; 19,0; 20,0; 25,5; 30,0; 32,5; 34,5°C. A distribuição desses fatores ao longo do tempo está descrita na Tabela 3.

Foram realizadas medidas repetidas no tempo, com seis repetições das medidas para cada variável, em cada temperatura ambiente, inclusive para os iButtons, que registravam automaticamente.

Tabela 3 - Distribuição das etapas e fatores durante o período do pré-experimento

Etapas	Duração (dias)	Níveis de Temperatura (°C)
1 – Conforto	3	25,5
2 – Estresse por calor	1	30 - 32,5 - 34,5
3 – Conforto	5	25,5
4 – Estresse por frio	1	20 - 19 - 17 - 15

3.1.5 Variáveis analisadas

As variáveis estudadas foram: Temperatura retal (TR), Frequência respiratória (FR), Temperatura externa via iButton (Tb) e Termômetro de infravermelho (Tir). Para aferição da temperatura retal (TR) utilizou-se o termômetro clínico digital, enquanto a frequência respiratória (FR) foi obtida pela contagem direta durante 15

segundos, sendo ambas aferidas seis vezes para cada temperatura da câmara climática. As temperaturas superficiais externas foram registradas continuamente pelos sensores DS1921G ThermoChron iButton® - Maxim, fixados por esparadrapo e fita gomada, e seis vezes para cada temperatura da câmara registrada por termômetro de infravermelho da marca FLUKE® modelo 566, nas cinco diferentes regiões da superfície corporal (Figura 2), assim denominadas: (A) Cabeça, (B) Paleta, (C) Lombo, (D) Pernil e (E) Pata traseira, as quais sofreram prévia limpeza e retirada de pelos.

Figura 2 - Regiões da superfície corporal estudadas: cabeça (A), paleta (B), lombo (C), pernil (D) e pata traseira (E)

Houve a retirada de pelos, para se isolar o efeito do fator de variação da resistência e da inércia térmica da parte superficial do pelame animal, uma vez que não é um objetivo do presente estudo estudar tais impactos nas medidas de temperatura, sendo uma importante ramificação desse estudo para pesquisas futuras.

3.1.6 Equipamentos utilizados e sua instalação

A temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara foram registradas por termo-higrômetro e dois *dataloggers* marca LOGEN® modelo LS8856 (Figura 3a), os quais foram instalados em diferentes alturas, sendo que a umidade relativa manteve-se em torno de 70%.

Os dataloggers LOGEN® – LS8856 possuem intervalo de coleta programável; faixa de medição de -40 a +85°C e de 0 a 100% UR; Precisão de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ e $\pm 0,5\%\text{UR}$; Resolução de $0,1^\circ\text{C}$ e $0,1\%\text{UR}$.

A temperatura da superfície corporal foi aferida com auxílio de termômetro de infravermelho da marca FLUKE® modelo 566 (Figura 3b). O termômetro de infravermelho FLUKE® 566 possui faixa de medição de -40 a +650°C; Precisão quando $< 0^\circ\text{C}$: $\pm (1,0^\circ\text{C} + 0,1\%/1^\circ\text{C})$; quando $> 0^\circ\text{C}$: $\pm 1\%$ ou $\pm 1,0^\circ\text{C}$, o que resultar maior; Resolução de $0,1^\circ\text{C}$; emissividade ajustável, sendo adotado o valor de 0,98 conforme recomendação do fabricante para aferição da temperatura em tecidos biológicos.

Figura 3 - (a) Termo-higrômetro e *datalogger* para registro e acompanhamento das variáveis ambientais no interior da câmara climática e (b) Termômetro infravermelho FLUKE® 566 para aferição das temperaturas superficiais. Fonte: fluke.com

Utilizou-se para os fins da pesquisa, no acompanhamento da temperatura da superfície corporal, um *datalogger* de temperatura chamado Thermochron iButton® da fabricante Maxim Integrated™, modelo DS1921G. Sua aplicação é no registro de dados de temperatura e gestão de ativos. Possui, atualmente, um preço comercial de US\$ 25,50 para pedidos pequenos (de 1 a 24 unidades), chegando a US\$ 14,54 para pedidos acima de 1.000 unidades (preço praticado no ano de 2013).

Trata-se de um sistema robusto, autossuficiente por usar bateria, a qual possui duração de até 10 anos, dependendo do tipo de utilização, e que obtém os valores de temperatura e registra o resultado em uma memória protegida. Possui dimensões de $\varnothing 17,35 \times 5,89$ mm, pesa 3,3 g (Figuras 4a e 4b), seu termômetro

digital mede a temperatura com resolução de $0,5^{\circ}\text{C}$ e precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ na faixa de -30 a $+70^{\circ}\text{C}$. Possui um relógio em tempo real embutido (RTC) e temporizador com precisão de ± 2 minutos por mês entre 0 e 45°C . Pode se tornar à prova d'água, se colocado dentro da DS9107 Capsula iButton (3ATM).

A taxa de medida e de gravação é realizada a uma velocidade definida pelo utilizador, sendo que 2048 valores de temperatura podem ser armazenados, obtidos a intervalos equidistantes, variando de 1 a 255 minutos. Se a temperatura ultrapassa um certo valor da faixa, programável pelo utilizador, o DS1921G registra o momento em que isso ocorreu, bem como, o intervalo de tempo cuja temperatura ficou além do intervalo permitido, e se a temperatura encontrava-se acima ou abaixo da faixa estipulada. Um adicional de 512 bytes de memória de apoio SRAM (memória estática, de acesso aleatório, que mantém os dados armazenados desde que seja mantida sua alimentação) permitem armazenar informações referentes ao objeto ao qual o DS1921G está associado. Os dados são transferidos pela série 1-Wire® *protocol*, que requer apenas uma única ligação de dados e aterramento. Cada DS1921G vem de fábrica marcado a laser com um único código garantido, eletricamente legível, de 64 bits, que permite a rastreabilidade absoluta por não haver duas peças iguais. A carcaça em aço inoxidável é esterilizável, durável e altamente resistente a riscos ambientais, como sujeira, choque e umidade. Ainda Cumpre UL 913, 5ª ed., Rev. 1997-02-24; *Intrinsically Safe Apparatus*: Aprovado sob o conceito de entidade para uso na Classe I, Divisão 1, Locais Grupo A, B, C e D (maximintegrated.com).

(a)

(b)

Figura 4 - (a) Dimensões do DS1921G Thermochron iButton® e (b) tamanho relativo dos mesmos. Obs.: medidas em milímetros. Fonte: Fondriest Environmental

Existem outras opções de *Thermochrons* da própria fabricante (Maxim Integrated™), como por exemplo, o DS1922L, que possui melhor precisão e resolução para uma faixa similar de temperatura de trabalho, porém com um custo cerca de duas vezes maior que o DS1921G.

Inicialmente, com o objetivo de desenvolver uma metodologia viável para o registro de temperatura interna, foram realizados testes de ingestão dos sensores iButton, de forma a descobrir se era possível a sua ingestão e excreção naturais, por suínos em fase de creche. Evidenciou-se a impossibilidade dos animais engolirem os sensores, optando-se por trabalhá-los como sensores externos de temperatura da superfície corporal, gerando a necessidade de busca de materiais de boa aderência e durabilidade para fixação dos sensores na pele.

Para a fixação dos iButtons, foram testados diferentes tipos de fita, sendo as que apresentaram melhor aderência na pele dos animais foram o esparadrapo impermeável e a fita gomada, que foram utilizadas em conjunto. Ainda em relação à fixação dos sensores, observou-se que a presença deles no corpo de um leitão induzia ao comportamento natural do outro animal de fuçar, atrapalhando nas medidas realizadas pelos sensores, ou ainda retirando os mesmos da posição correta. Para solucionar tal problema utilizou-se uma meia elástica com amplas aberturas, que permitissem a passagem de ar e janelas para a medida de temperatura de infravermelho, consequentemente interferindo o mínimo possível nas trocas térmicas. Os sensores instalados no corpo dos leitões, bem como as fitas e as meias utilizadas encontram-se expostos na Figura 5.

Figura 5 - Colocação dos iButtons nos animais, detalhes da fita e meia utilizadas

Embora a inexistência de trabalhos que utilizem o iButton, como forma de aferição da temperatura da superfície corporal de animais de produção, tenha sido um fator motivador para o desenvolvimento da pesquisa, isso implica em uma dificuldade de comparação direta dos resultados obtidos com outras publicações.

3.1.7 Análise dos resultados obtidos

Após o período de medidas da etapa 1, procedeu-se com a descarga dos dados para um computador e posterior formatação e análise dos dados coletados, utilizando-se do *software* Microsoft Excel®.

Precedeu-se com análise visual dos dados por meio de gráficos, partindo-se para o estabelecimento de regressões lineares, com ajuste R^2 , relacionando as temperaturas da superfície corporal e a retal com o ambiente, e também as temperaturas da superfície corporal com a retal, sendo ainda calculados os coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis de temperatura superficial corporal e temperatura retal. Embora as medidas tenham sido coletadas de forma repetida no tempo, as análises de correlação e as regressões foram realizadas com os valores médios das repetições, não necessitando utilizar análises especificamente para medidas repetidas.

3.1.7.1 Correlação de Pearson (r)

Na busca de relações entre as variáveis estudadas, de forma a atender aos objetivos propostos, inicialmente utilizaram-se os coeficientes de correlação de Pearson (r) na identificação e quantificação de relações lineares entre as variáveis estudadas. Foi possível utilizar esse tipo de análise, uma vez que as seguintes condições foram satisfeitas: os dados são quantitativos, possuem distribuição normal, não existem *outliers* e existe independência entre as observações. A equação utilizada no cálculo foi a eq. (2).

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right) \quad (2)$$

Em que: r = Correlação de Pearson;
 n = número de indivíduos observados;
 x_i = valor da variável X para o indivíduo i;
 $\bar{X}$ = média da variável X;
 s_x = desvio padrão da variável X;
 y_i = valor da variável Y para o indivíduo i;
 $\bar{Y}$ = média da variável Y;
 s_y = desvio padrão da variável Y;

O coeficiente de correlação Pearson (r) tem valores na faixa de -1 a 1. Seu sinal indica se as variáveis são direta ou inversamente relacionadas linearmente e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Os valores extremos (-1 ou 1) indicam uma correlação perfeita, ou seja, uma variável pode ter seus valores determinados exatamente com os valores da outra. Por outro lado, uma correlação de valor zero, indica que não existe relação linear entre as variáveis (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009).

3.2 Etapa 2: Experimento principal

3.2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido no período de 27 de Junho a 06 de Julho de 2013, nas dependências do Setor de Construções Rurais e Ambiente, do Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz

de Queiroz" (ESALQ/USP), no Município de Piracicaba, estado de São Paulo, Latitude: 22° 42' 30" Sul; Longitude: 47° 38' 00" Oeste; Altitude: 546 metros, com clima tropical de altitude (tipo Cwa segundo a classificação Köppen).

3.2.2 Características da instalação e animais

O experimento principal foi conduzido mediante a metodologia adaptada a partir do pré-experimento, e aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais - CEUA da ESALQ (Anexo), sendo descrita a seguir.

Os animais foram mantidos, durante o experimento, em câmara climática cujas paredes possuem isolamento térmico bem como, um controle automático de temperatura e troca de ar (Figura 6a).

Foram utilizados cinco leitões da raça Landrace x Large White, com 30 dias de idade provenientes de uma mesma ninhada e do mesmo sexo (fêmea), cedidos pelo Setor de Suinocultura da ESALQ/USP, sendo alojados na densidade de $0,80 \text{ m}^2.\text{animal}^{-1}$, com contenção em forma de cercado individual criado com madeira e tela metálica de galinheiro (Figuras 6b e 6c). Optou-se por utilizar como piso, placas de Espuma Vinílica Acetinada (E.V.A.), pelas suas propriedades de amortecimento, evitando que os animais desenvolvessem úlcera de decúbito, e pela facilidade na limpeza diária.

Os animais foram mantidos em temperatura de conforto a $24,5^{\circ}\text{C}$ (MOSTAÇO; PECORARO; SILVA-MIRANDA, 2014) durante todo o período não-experimental, sendo alimentados com ração apropriada ao estágio de criação e ingestão de água "ad libitum" durante toda sua permanência na câmara (10 dias). Após a recepção dos animais os mesmos permaneceram os três dias iniciais em situação de conforto térmico para seu reconhecimento e adaptação ao local do experimento.

Figura 6 - (a) Câmara climática onde foi realizado o experimento, (b) croqui sem escala (medidas em metros) e (c) instalação para os animais dentro da câmara climática

3.2.3 Condições ambientais e metodologia de aferição

Estudou-se a correlação entre a temperatura retal e a frequência respiratória dos animais com as medidas de temperatura superficial, frente às adversidades climáticas, sendo que, para tal, foram variadas as condições de temperatura no interior da câmara climática de 14 °C a 35,5°C, de modo a atingir situações de estresse tanto por frio quanto por calor (MOSTAÇO; PECORARO; SILVA-MIRANDA, 2014).

As diferentes situações térmicas foram distribuídas em três dias de coleta de dados espaçados por períodos em situação de conforto térmico. O primeiro dia de coleta foi para situação de conforto térmico; seguido de um dia na situação de estresse por calor, composto por três estágios de calor (29,5; 32,5 e 35,5°C) com variações graduais de temperatura, para aclimação dos animais às mudanças climáticas; onde após, os animais permaneceram cinco dias em situação de conforto térmico, de forma a promover o “wash-out” de um tratamento para outro; seguido de um dia na situação de estresse por frio, composto por três estágios de frio (21,5; 17,5 e 14°C), também com variações graduais de temperatura.

Cada situação de temperatura e umidade relativa do ar programada na câmara era composta por 15 minutos iniciais para estabilização da câmara no ponto de interesse, seguido de uma hora de aclimação dos animais à nova situação térmica (sendo este tempo escolhido com base no pré-experimento, que apontou valores estabilizados de temperatura superficial e interna dos animais ao final da primeira hora). Após essa aclimação iniciavam-se os ciclos de medidas de 30 em 30 minutos, compostos pela contagem direta da frequência respiratória, aferição da temperatura retal e de superfície, na ordem descrita, uma vez que a frequência respiratória apresentaria valores afetados pela agitação devido ao manuseio para aferição das temperaturas interna e externas.

Para avaliação do microclima no interior da câmara, utilizou-se a entalpia específica do ar (ou H com unidade em kJ.kg de ar seco⁻¹) como índice de avaliação do ambiente térmico no qual os animais estavam inseridos, conforme proposto por Mostaço, Pecoraro e Silva-Miranda (2014), cuja equação eq. (1) foi apresentada em item específico na revisão bibliográfica.

3.2.4 Delineamento estatístico

O delineamento foi inteiramente casualizado, com um único fator, a entalpia ambiente, com sete níveis: 31,26; 39,56; 51,12; 59,24; 74,82; 82,96; 94,26 kJ.kg de ar seco⁻¹. A distribuição desses fatores ao longo do tempo está descrita na Tabela 4.

Foram realizadas medidas repetidas no tempo, com cinco repetições das medidas para cada variável, em cada temperatura ambiente, inclusive para os iButtons, que registravam automaticamente.

Tabela 4 - Distribuição das etapas e fatores durante o período do experimento principal

Etapas	Duração (dias)	Níveis de Temperatura (°C)	Níveis de Entalpia (kJ.kg de ar seco⁻¹)
1 – Conforto	3	24,5	59,24
2 – Estresse por calor	1	29,5 - 32,5 - 35,5	74,82 - 82,96 - 94,26
3 – Conforto	5	24,5	59,24
4 – Estresse por frio	1	21,5 - 17,5 - 14	51,12 - 39,56 - 31,26

3.2.5 Variáveis analisadas

As variáveis estudadas foram: Temperatura retal (TR), Frequência respiratória (FR), Temperatura externa via iButton (Tb) e Termômetro de infravermelho (Tir). Para aferição da temperatura retal (TR) utilizou-se o termômetro clínico digital, enquanto a frequência respiratória (FR) foi obtida pela contagem direta durante 15 segundos, sendo ambas aferidas cinco vezes para cada animal em cada temperatura da câmara. As temperaturas superficiais externas foram registradas continuamente pelos sensores DS1921G Thermochron iButton® - Maxim, fixados por fita Transpore^{MR} (devido à sua boa fixação e por permitir que a pele transpire), e cinco vezes para cada temperatura da câmara pelo termômetro de infravermelho da marca FLUKE® modelo 566, nas cinco diferentes regiões da superfície corporal (Figura 7), assim denominadas: (A) Cabeça, (B) Paleta, (C) Lombo, (D) Pernil e (E) Orelha, além da região (F) Timpânica, acompanhada com auxílio de um Termômetro Clínico Digital de Testa e Ouvido por Infravermelho da marca G-Tech e modelo T1000, as quais sofreram prévia limpeza e retirada de pelos.

Figura 7 - Regiões corporais estudadas: cabeça (A), paleta (B), lombo (C), pernil (D), orelha (E) e timpânica (F)

Em relação à etapa 1, houve a troca da região E, correspondente à pata traseira, dando lugar à temperatura na orelha (Figura 7), de acordo com Andersen *et al.* (2008), e ainda de acordo com os resultados da etapa 1, que apontaram as extremidades como os locais que apresentaram as piores correlações com a temperatura retal e do ambiente. Nesse sentido, optou-se também por utilizar a tecnologia de termometria infravermelha, já disponível no mercado para o acompanhamento da temperatura na região timpânica (F), conjuntamente às demais.

Além disto, as áreas aferidas com auxílio de termômetro infravermelho e iButton foram ambas posicionadas em um mesmo lado do animal, de forma a diminuir a influência do comportamento natural de permanecer em decúbito lateral nas temperaturas medidas, devido à diferenciação entre a temperatura da superfície corporal na região em contato com o chão e a região oposta, exposta ao ar ambiente.

3.2.6 Equipamentos utilizados e sua instalação

A temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara foram registradas por dois *dataloggers* da marca HOBO® modelo U10-003, instalados em lados opostos da câmara, de forma a verificar diferenças espaciais de microclima na câmara, sendo que a umidade relativa manteve-se em torno de 85%.

Os dataloggers HOBO® – U10-003 possuem intervalo de coleta programável; faixa de medição de -20° a $+70^{\circ}\text{C}$ e de 25 a 95% UR; Precisão de $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ (entre 0 e 40°C) e $\pm 3,5\%$ UR (entre 25 e 85% UR); Resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ e 0,07% UR.

A temperatura da superfície corporal foi aferida com auxílio de termômetro de infravermelho da marca FLUKE® modelo 566 e Thermochron iButton®, já descritos anteriormente na etapa 1. Os sensores instalados no corpo dos leitões, bem como a fita utilizada encontram-se expostos na Figura 8.

Figura 8 - Colocação dos iButtons nos animais, locais de instalação dos sensores e fita utilizada

A aferição da temperatura superficial com auxílio de termômetro infravermelho se deu por meio do posicionamento do equipamento a uma distância de 30 cm do alvo e de forma que o feixe de luz infravermelha incidisse perpendicularmente à superfície a ser medida. A Figura 9a mostra o procedimento de aferição da temperatura superficial na região do lombo do animal na Baía 5.

Acompanhou-se ainda a temperatura timpânica com auxílio de um Termômetro Clínico Digital de Testa e Ouvido por Infravermelho (marca G-Tech,

modelo T1000), durante todo o experimento, sendo essa temperatura medida em conjunto com as demais temperaturas de infravermelho, seguindo o cronograma descrito anteriormente. A Figura 9b mostra a realização de uma medida com o termômetro de temperatura timpânica.

Figura 9 - (a) Aferição de temperatura superficial com termômetro de infravermelho FLUKE® 566 e (b) aferição de temperatura timpânica com termômetro de infravermelho G-Tech

O Termômetro Clínico Digital de Testa e Ouvido por Infravermelho G-Tech T1000 possui faixa de medição de 10 a 50°C; Precisão de $\pm 0,2^\circ\text{C}$ na faixa de 35,5 a 42°C e $\pm 0,3^\circ\text{C}$ fora dessa faixa (quando utilizado na função ouvido); Resolução de 0,1°C; utiliza bateria de lítio CR2032 e armazena até 10 medições.

3.2.7 Análise dos resultados obtidos

Após o período de medidas da etapa 2, procedeu-se com a descarga dos dados para um computador, para sua formatação e análise, utilizando-se dos *softwares* Microsoft Excel® e Minitab®.

Inicialmente, precedeu-se com o método de análise exploratória dos dados, a análise de componentes principais, com auxílio do software estatístico Minitab®16. Em seguida, partiu-se para o estabelecimento de regressões múltiplas, com seus respectivos ajustes R^2 , utilizando esse mesmo *software*, as quais foram realizadas em dois modelos: um tendo como variável dependente a temperatura retal (TR) e outro a frequência respiratória (FR), tendo ambos, como variáveis independentes, as temperaturas superficiais (T_i e T_b) e a entalpia (H).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Etapa 1: Pré-experimento

4.1.1 Avaliação da utilização do iButton

Como resultado, evidenciou-se grande dificuldade por parte dos animais na ingestão do sensor iButton, uma vez que animais nesta faixa etária não estão acostumados ao manejo humano, expressando fortes vocalizações e, conseqüentemente, nestes momentos sua glote encontra-se fechada, além do ar estar sendo expelido, dificultando assim a ingestão do sensor. Surgiram algumas alternativas para gravações de temperatura do núcleo corporal em animais de laboratório, tais como a utilização de sondas, sedativos ou até procedimento cirúrgico para inserção do sensor no trato digestivo, ou ainda no peritônio, conforme realizado por Davidson et al. (2003). Porém, todas caminham em sentido contrário ao objetivo principal dessa pesquisa, que é de agir em prol do bem estar animal, além de serem impraticáveis em situações de produção. Sendo assim, optou-se por alterar a metodologia proposta para as análises de temperatura, utilizando os sensores iButton disponíveis, como sensores externos de temperatura da superfície corporal, analogamente ao já utilizado por Hasselberg et al. (2011) e Lichtenbelt et al. (2006) para estudos de ciclo circadiano de temperatura em humanos, gerando informações em conjunto com as demais formas de medida de temperatura externa, porém com intervalos de coleta muito menores.

4.1.2 Avaliação da influência da fixação dos iButtons nas medidas

Na busca de possíveis influências, tanto das fitas, quanto da meia utilizada, nos resultados das temperaturas medidas, foram feitas medidas em ambos os animais ao longo de todo o experimento, uma vez que apenas um animal foi instrumentado com os iButtons e possuía a meia elástica para auxílio na fixação, isto devido ao número restrito de sensores durante essa etapa. Os resultados de temperatura superficial via termômetro de infravermelho (Tir) e temperatura retal (TR), para os dois animais, com e sem meia, encontram-se nos gráficos da Figura 10, além das respectivas regressões lineares, com ajuste R^2 , relacionando as temperaturas superficiais e a retal com o ambiente.

Figura 10 - Correlação entre temperatura superficial via termômetro de infravermelho nas regiões estudadas (a) TirA, (b) TirB, (c) TirC, (d) TirD e (e) TirE e (f) da temperatura retal (TR) em relação à temperatura ambiente, para os animais com meia (m) e sem a meia (t)

Pela análise da Figura 10, pôde-se perceber que o uso da meia elástica não causou impactos nas medidas de temperatura realizadas, pois os valores dos coeficientes de inclinação e coeficientes de ajuste (R^2) resultantes das regressões lineares realizadas, foram similares entre os animais com meia (m) e sem a meia, ou testemunha (t), com exceção da região A, que apresentou as maiores discrepâncias entre os parâmetros supracitados, além de comportamento com grandes variações ao longo da temperatura ambiente, impactando inclusive no coeficientes de ajuste (R^2) observado para os animais com e sem meia. Outra região, que também

apresentou grandes amplitudes de variação ao longo da temperatura ambiente, foi a região E, fato sugerido pelos valores de R^2 menores dentre todas as regiões, indicando que a mesma apresentou menores correlações com a temperatura ambiente.

Esses resultados observados nas regiões de extremidade são indícios de que elas são mais susceptíveis às interferências externas do que as demais, uma vez que os animais utilizam tais extensões corporais na busca de áreas mais favoráveis à perda de calor, causando influencia nas temperaturas aferidas nas superfícies de tais regiões.

Outro fato a ser levado em consideração é que a leitoa que utilizava a meia apresentou temperaturas superficiais e retais menores em relação à leitoa que não a utilizava. Para o comportamento dessas variáveis, esperava-se o inverso, sendo então, sugestivo, de que as diferenças apresentadas, ocorreram pelo fato dos animais serem de tamanhos diferentes. A leitoa que apresentou os maiores valores de temperatura superficial e retal era também menor em tamanho, resultando em uma maior razão de área superficial/peso do animal. Em decorrência disso, este animal apresentou uma maior capacidade de troca de calor por unidade de peso, demandando uma maior taxa metabólica a fim de suprir um maior fluxo de calor para fora do corpo.

Foram ainda realizados testes prévios para detecção de possíveis influências das fitas nos valores de temperatura e atraso de resposta nas medidas dos iButtons. Mediante a fixação de um sensor na pele do antebraço de humano com auxílio das fitas supracitadas, e a simples colocação de outro sensor ao lado (Figura 11), foi possível verificar a influência das fitas nas medidas realizadas pelo iButton. Este teste foi realizado em humanos devido à necessidade de se ter um sensor apenas colocado sobre a superfície da pele, sem nenhum tipo de fixação e, portanto, nenhuma influência, tanto pelo microclima criado pelas fitas, quanto pela adição de material entre as superfícies do sensor e da pele como é o caso das colas, fato este impossível de ser realizado com os animais em constante movimentação.

Figura 11 - Instalação dos iButtons para teste de influência das fitas utilizadas nas medidas de temperatura superficial da pele

Na Figura 12, verifica-se a temperatura aferida pelo iButton fixado por fitas em relação ao simplesmente colocado sobre a superfície da pele.

Figura 12 - Curvas de temperatura aferidas pelo iButton em situações de fixação com e sem fitas

Foi possível observar que a diferença entre as temperaturas medidas foi na maior parte do tempo de 0,5°C, valor correspondente à resolução de medida do sensor de medida de temperatura do iButton, porém com valores sempre superiores para o sensor fixado por fita, fato este explicado pela diferença de temperatura entre a superfície corporal e a temperatura ambiente, onde o sensor simplesmente colocado sobre a pele possuía melhores condições de troca convectiva de calor com o ambiente ou menor resistência térmica pela ausência da fita, sendo possível inferir

que não houve influência significativa nas medidas de temperatura devido à presença das fitas. Outro fato importante foi a velocidade de resposta na interação sensor-pele, que foi mais rápida para a situação onde se fixou o iButton com as fitas, do que na situação de simples colocação do iButton sobre a pele, devido à uma certa força de compressão do sensor contra a pele, aplicada pelas fitas, fazendo com que a área de contato entre ambos fosse maior, e mantida constante ao longo do tempo, melhorando as trocas de calor por condução entre o sensor e a pele.

4.1.3 Correlação entre temperaturas da superfície corporal e retal

Foram calculados os coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis temperatura de superfície (medidas pelo iButton e termômetro de infravermelho) e temperatura retal (Tabela 5).

Tabela 5 - Correlações Pearson (r) entre temperaturas de superfície via iButton (T_b) e via termômetro de infravermelho (T_{ir}) e a temperatura retal (T_R)

Variáveis	Regiões				
	Cabeça	Paleta	Lombo	Pernil	Pata Traseira
T_b	0,82	0,81	0,83	0,79	0,54
T_{ir} c/ meia	0,74	0,72	0,69	0,71	0,63
T_{ir} s/ meia	0,59	0,80	0,90	0,87	0,87

As correlações mostraram as melhores regiões para instalação de sensores de contato, ou seja, aquelas que apresentaram maior correlação entre a medida de temperatura de superfície via iButton e termômetro de infravermelho com a temperatura retal. Dancey e Reidy (2006) apud Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), referem-se a seguinte classificação generalista: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado) e $r = 0,70$ até 1 (forte).

De acordo com as correlações, a melhor região para a instalação do iButton foi o lombo (C), seguida da cabeça (A), paleta (B) e pernil (D), sendo a pata traseira (E) a região menos indicada, provavelmente devido a maior susceptibilidade das regiões de extremidade às interferências externas. Já para a medida de temperatura via infravermelho, houve discrepâncias entre os dois animais, sendo que para a leitoa com a meia elástica a melhor região foi a cabeça (A), seguida da paleta (B), pernil (D) e lombo (C), sendo a pata traseira (E), também a região menos indicada,

enquanto que para a leitoa sem a meia elástica, a região que melhor acompanhou a temperatura retal, foi o lombo (C), seguido do pernil (D) e pata traseira (E), paleta (B), sendo a cabeça (A) a região menos indicada, ou de menor valor de correlação. É possível observar que a região do lombo (C) apresentou as maiores correlações tanto no caso do sensor iButton, quanto no caso do termômetro infravermelho sem meia. As regiões de alta correlação sofreram menor influência ambiental devido ao acesso restrito dos animais às mesmas, menos contato com superfícies úmidas ou de alta troca de calor ou por menor influência da movimentação dos animais.

Ao se realizar um paralelo entre as regressões lineares das temperaturas superficiais em função da temperatura ambiente, da Figura 10, e as correlações entre temperaturas superficiais e temperatura retal, apresentadas na Tabela 5, percebeu-se que ambas apontam as extremidades como as piores regiões devido à influência de trocas de calor variáveis no tempo, uma vez que os animais utilizam tais extensões corporais para buscar áreas mais favoráveis à perda de calor, influenciando, assim, as temperaturas aferidas nas superfícies de tais regiões.

4.1.4 Regressões lineares para as temperaturas da superfície corporal e retal

Para um melhor entendimento do comportamento da regulação térmica do animal, frente às adversidades climáticas, foram feitos os ajustes por regressão linear para as temperaturas da superfície corporal e temperatura retal, ambas em função da temperatura ambiente, apenas para o animal com meia, de forma a possibilitar a comparação entre as medidas via termômetro de infravermelho com as medidas do iButton nesse mesmo animal (Figuras 13 e 14).

Os valores de T_{ir} foram crescentes na faixa de temperatura ambiente estudada (15°C a $34,5^{\circ}\text{C}$), enquanto que os valores da T_R mantiveram-se constantes. Isto se deve aos processos termorregulatórios de manutenção da temperatura corpórea, que são ativados quando os termorreceptores presentes na pele e no SNC são estimulados por diferentes situações térmicas ambientais, desencadeando processos tais como: variação na frequência respiratória, modificando, assim, a taxa de trocas evaporativas; vasodilatação ou vasoconstrição periférica; variação na produção de calor interno com o uso de mecanismos regulados pela secreção do hormônio da tireóide, como tônus muscular; apetite e atividade voluntária.

Na Figura 13 encontram-se os ajustes por regressão linear para temperatura via termômetro de infravermelho (Tir) e TR em função da temperatura ambiente.

Figura 13 - Dispersão da temperatura superficial via termômetro de infravermelho nas regiões estudadas (a) TirA, (b) TirB, (c) TirC, (d) TirD, (e) TirE e temperatura retal em função da temperatura ambiente

Na Figura 14 encontram-se os ajustes por regressão linear para temperatura via iButton (Tb) e TR em função da temperatura ambiente, de forma análoga a temperatura via infravermelho.

Figura 14 - Dispersão da temperatura superficial via iButton nas regiões estudadas (a) TbA, (b) TbB, (c) TbC, (d) TbD, (e) TbE e temperatura retal em função da temperatura ambiente

Em resposta aos objetivos iniciais do projeto, realizaram-se as regressões lineares entre as variáveis de temperatura da superfície corporal e a TR. A Figura 15 contém a relação entre a TR e a Tir nas diferentes regiões estudadas, bem como a regressão linear resultante em cada caso e seu respectivo valor de ajuste R^2 .

Figura 15 - Dispersão entre temperatura superficial via termômetro infravermelho nas regiões estudadas (a) TirA, (b) TirB, (c) TirC, (d) TirD e (e) TirE e temperatura retal

Foi possível verificar que TR e Tir são diretamente relacionadas, porém com razão de crescimento da TR cerca de três vezes menor do que a Tir. É provável que os mecanismos termorregulatórios, sozinhos, não sejam suficientes para manter a temperatura interna constante frente ao microclima que foi imposto aos animais.

Analogamente à temperatura de infravermelho, realizaram-se as regressões lineares entre a TR e a temperatura via iButton, nas diferentes regiões estudadas, as quais encontram-se na Figura 16.

Figura 16 - Dispersão entre temperatura superficial via iButton nas regiões estudadas (a) TbA, (b) TbB, (c) TbC, (d) TbD e (e) TbE e temperatura retal

Os resultados para Tb são similares aos da TR em função da Tir, verifica-se que a TR também é diretamente relacionada a Tb, e suas variações possuem magnitude cerca de três vezes menor que esta última.

Para melhor visualização dos valores de R^2 , obtidos dos ajustes lineares das Figuras 13 a 16, esses foram reunidos na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de R^2 referentes ao ajuste linear dos gráficos de dispersão entre as variáveis temperatura de superfície via iButton (Tb) e via termômetro de infravermelho (Tir) e a temperatura retal (TR) e temperatura ambiente

Variáveis	Regiões									
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
	Temperatura do Ambiente					Temperatura Retal				
Temperatura via Infravermelho	0,92	0,95	0,98	0,96	0,73	0,54	0,52	0,47	0,49	0,33
Temperatura via iButton	0,84	0,92	0,94	0,89	0,69	0,61	0,60	0,66	0,54	0,21
Temperatura Retal			0,50					1,00		

Em relação à temperatura ambiente, a região do lombo (C) mostrou-se como a mais indicada para acompanhamento da temperatura, tanto via iButton, quanto via termômetro de infravermelho. Já para o acompanhamento da temperatura retal, quando a temperatura superficial foi aferida via termômetro de infravermelho, a região da cabeça (A) foi a mais indicada, enquanto que quando utilizado iButton para medida de temperatura, a região do lombo (C) foi a mais indicada. Em geral, as regiões de alta correlação sofreram menor influência ambiental devido ao acesso restrito dos animais às mesmas, menos contato com superfícies úmidas ou de alta troca de calor ou por menor influência da movimentação dos animais, corroborando com os resultados obtidos na análise das correlações de Pearson (r) entre as variáveis, porém resultando em valores menores, uma vez que são obtidas com uso de equações diferentes.

As extremidades, na maioria dos casos, são as menos indicadas por possuírem menores ajustes R^2 tanto com a variável temperatura retal, que indica a temperatura do núcleo corporal, quanto com a temperatura ambiente, que influencia a situação de conforto ou estresse térmico do animal, bem como seus processos termorregulatórios.

As medidas obtidas via iButton apresentaram maiores correlações com a temperatura interna (retal), por representarem a variação da temperatura superficial proveniente do interior do corpo do animal, e não a carga adquirida do meio externo como é o caso da temperatura de infravermelho em pele lisa exposta.

Já as medidas obtidas via termômetro infravermelho apresentaram maiores correlações com temperaturas externas do ambiente, por serem uma reflexão em área exposta diretamente às intempéries ambientais no sentido externo para o interno.

4.1.5 Frequência respiratória

Conjuntamente, registrou-se a frequência respiratória (FR) em todas as faixas de temperatura utilizadas na câmara, para os dois animais: com e sem meia (Figura 17), representando ainda, para melhor interpretação do comportamento da variável FR, os limites da zona de conforto térmico (ZCT) e temperatura crítica superior (TCS) de acordo com a Tabela 1.

Figura 17 - Curvas da variável frequência respiratória (FR) em função da temperatura ambiente, dos animais com a meia (m) e sem a meia (t)

Pela Figura 17, foi possível identificar um comportamento esperado para a variável FR ao longo da faixa de temperatura estudada, onde os animais apresentam uma taxa de aumento da FR dentro da ZCT e uma taxa maior de crescimento desta variável quando a temperatura ambiente se aproxima da TCS, demonstrando que os animais estavam certamente em estresse por calor a partir da TCS.

Outro comportamento identificado foi de que o animal menor, que apresentou temperatura interna mais alta, devido a uma maior taxa metabólica, apresentou também FR menor. Esse comportamento pode ser explicado devido a uma maior facilidade desse animal em perder calor, devido a sua maior razão de área superficial/peso, implicando assim, em menor necessidade de perda evaporativa de calor, pelo trato respiratório, em situações de estresse por calor, do que o outro animal.

4.1.6 Comportamento das variáveis em função da situação térmica ambiental

Observou-se um aumento na frequência respiratória de 137% na situação mais crítica, demonstrando que as trocas de calor sensíveis deram lugar às trocas de calor latente (evaporação pelo trato respiratório), com aumento na FR coerente ao retratado em literatura (BRIDI, 2012), enquanto as temperaturas superficiais aumentaram no máximo 17,8% para a temperatura via iButton e 15% para a temperatura via termômetro de infravermelho, sendo que a TR aumentou apenas 2,4% em situação mais crítica. Tais comportamentos eram de certa forma esperados, pois os suínos possuem dificuldade na troca de calor pela sudação devido ao fato das glândulas sudoríparas, na superfície da sua pele, serem bloqueadas por queratina, tornando as mesmas inativas, forçando-os recorrerem a diferentes alternativas para a troca de calor, como por exemplo, o aumento da FR, aumentando as trocas evaporativas; aumento das trocas condutivas mediante o contato com o piso e paredes e redução da carga trocada por radiação pelo aumento da distância entre animais.

Este estudo inicial tem sua importância fundamentada na determinação de região para instalação de sensores de temperatura de superfície, servindo de resposta inicial para um estudo mais amplo, relacionando diferentes métodos de medida de temperatura de superfície, de desenvolvimento de sensores mais

adequados às condições de produção e consequentemente projetos de sistemas de automação e controle do ambiente.

4.2 Etapa 2: Experimento principal

Com o objetivo proposto da pesquisa em identificar o local mais adequado da superfície corporal de suínos na fase de creche, para monitoramento da temperatura, que melhor represente a TR, e alternativamente a FR, para auxílio na tomada de decisão e automação do controle ambiental, lançou-se mão de ferramentas e métodos estatísticos mais refinados, de forma a obter o máximo de informação possível, e sem perder aspectos importantes dos processos termorregulatórios envolvidos.

4.2.1 Análise de componentes principais

Inicialmente, para uma exploração dos dados procedeu-se a análise de componentes principais, com auxílio do software estatístico Minitab®, envolvendo as seguintes variáveis de trabalho: entalpia (H); temperatura retal (TR); frequência respiratória (FR); temperaturas externas via termômetro de infravermelho (T_{in}) e temperaturas externas via iButton (T_{bn}), em que $n=\{A, B, C, D, E\}$, além da temperatura timpânica mediante termômetro de infravermelho (T_{iF}).

A análise de componentes principais auxilia na determinação das relações entre as variáveis em estudo pela redução da dimensionalidade dos dados, obtenção de combinações interpretáveis, além da descrição e entendimento da estrutura de correlação. O propósito dessa análise foi reduzir as 14 variáveis estudadas em apenas duas componentes principais, totalmente independentes entre si, que expliquem suas relações.

Os resultados apresentados pela análise de componentes principais na Figura 18 apontam para altas associações entre as variáveis de temperatura da superfície corporal (T_b e T_i) e entalpia do ar ambiente (H), e baixas associações entre essas mesmas variáveis e a temperatura retal (TR). Isso pode ser percebido, uma vez que as variáveis de temperatura da superfície corporal e entalpia ambiente encontram-se todas próximas ao eixo da primeira componente principal, neste caso o eixo horizontal, sugerindo que esta componente tenha mais influência da situação térmica do ambiente do que do animal. Já a TR encontra-se com a inclinação mais

distante da primeira componente, caminhando no sentido da segunda componente principal, indicando que essa última teria mais relação com o animal e seus mecanismos de termorregulação para controle da temperatura interna.

Figura 18 - Distribuição das duas primeiras componentes em função das 14 variáveis estudadas

Uma descoberta importante, realizada com auxílio da mesma análise, é a posição da frequência respiratória (FR) perante as demais variáveis. A FR localiza-se com inclinação intermediária entre a TR e as demais variáveis (temperaturas da superfície corporal e entalpia ambiente), tornando-se um indício de que é melhor trabalhar com correlações e modelos em que FR é tratada como parâmetro dependente, ao invés de TR conforme proposto inicialmente. Isto se deve a uma maior variação da FR em valores percentuais, mesmo que em temperaturas ligeiramente superiores à zona de conforto térmico, superando seus valores normais, conforme apresentados na Tabela 2, mostrando que, neste ponto, os animais já começam a acionar seus mecanismos termorregulatórios para manutenção da temperatura interna.

Tal descoberta motivou a se trabalhar com a FR paralelamente à TR em relação às análises realizadas a partir desse ponto.

A Tabela 2 qualifica a análise proposta, mostrando que as duas primeiras componentes, com maior poder de informação, são capazes de explicar 88% da

variabilidade total dos dados, significando grande consistência e veracidade nos resultados apresentados pelo gráfico da Figura 18. Sendo ainda que os ganhos pela adição de uma componente são pequenos frente ao impacto no percentual de explicação acumulada das relações entre variáveis que as mesmas geram, uma vez que os autovalores associados são próximos à zero.

Tabela 7 - Resultado da análise de componentes principais, variabilidade total explicada

Número de Componentes	1	2	3	4	5	6	7
Autovalor associado	11,437	1,000	0,292	0,260	0,211	0,165	0,146
Percentual associado	0,817	0,071	0,021	0,019	0,015	0,012	0,010
Percentual acumulado	0,817	0,888	0,909	0,928	0,943	0,955	0,965

Número de Componentes	8	9	10	11	12	13	14
Autovalor associado	0,122	0,080	0,070	0,064	0,057	0,051	0,045
Percentual associado	0,009	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003
Percentual acumulado	0,974	0,980	0,984	0,989	0,993	0,997	1,000

A partir destes dados gerou-se o *scree-plot* da Figura 19, onde é possível observar a curvatura ou dobra na segunda componente principal, além dos autovalores associados às componentes seguintes serem próximos à zero. Sendo indício de que o número de componentes a se considerar é duas.

Figura 19 - *Scree-plot* das 14 componentes principais

4.2.2 Regressões múltiplas para as variáveis estudadas

Em resposta aos objetivos iniciais da pesquisa, realizou-se a modelagem dos dados por meio de regressões múltiplas. As regressões foram realizadas tendo como variável dependente a temperatura retal (TR) e como variáveis independentes as temperaturas superficiais (Ti e Tb) e a entalpia (H). Essa última foi utilizada em conjunto às demais por trazer ganho significativo de informação para as regressões, além de ser uma variável de prática obtenção em campo, ou em um sistema de automação do controle ambiental, pois depende apenas da temperatura e da umidade relativa do ar.

As regressões, bem como seus valores de ajuste (R^2) associados foram obtidos independentemente para cada região da superfície corporal estudada e para cada tipo de instrumento de aferição. A Tabela 8 apresenta as equações de regressão múltipla para a temperatura retal em função da temperatura aferida via termômetro de infravermelho e entalpia do ar ambiente em $\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$.

Tabela 8 - Equações de regressão múltipla e seus valores de ajuste (R^2) para temperatura retal (TR, °C) em função das temperaturas via termômetro infravermelho (Ti, °C) e da entalpia (H, $\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$)

Equações de Regressão	R^2
$TR = 38,6 + 0,0163 H - 0,0058 TiA$	34,3%
$TR = 38,9 + 0,0174 H - 0,0166 TiB$	34,4%
$TR = 38,5 + 0,0163 H - 0,0026 TiC$	35,5%
$TR = 38,0 + 0,0148 H + 0,0126 TiD$	37,9%
$TR = 38,6 + 0,0179 H - 0,0108 TiE$	35,3%
$TR = 41,6 + 0,0213 H - 0,0941 TiF$	39,6%

As equações de regressão múltipla, para a temperatura retal, em função da temperatura aferida via iButton e entalpia do ar ambiente em $\text{kJ kg de ar seco}^{-1}$, encontram-se expostas, juntamente aos seus respectivos valores de ajuste R^2 , na Tabela 9.

Tabela 9 - Equações de regressão múltipla e seus valores de ajuste (R^2) para temperatura retal (TR, °C) em função das temperaturas via iButton (Tb, °C) e da entalpia (H, kJ.kg de ar seco⁻¹)

Equações de Regressão	R^2
TR = 37,9 + 0,0121 H + 0,0199 TbA	29,8%
TR = 39,7 + 0,0207 H - 0,0452 TbB	35,2%
TR = 34,6 + 0,00434 H + 0,128 TbC	36,0%
TR = 36,9 + 0,0106 H + 0,0516 TbD	36,3%
TR = 38,6 + 0,0216 H - 0,0178 TbE	38,5%

Em relação às regiões de medida, nos modelos para predição de TR, ocorreram diferentes comportamentos em relação aos métodos de medida (infravermelho e iButton), sendo que as regressões envolvendo temperatura via iButton foram melhores do que as via termômetro de infravermelho em três das cinco regiões.

Os melhores ajustes foram obtidos para a temperatura timpânica via termômetro de infravermelho (TiF) e região da orelha via iButton (TbE), corroborando com Andersen et al. (2008). Isto se deve, provavelmente, a uma menor susceptibilidade da região timpânica aos efeitos ambientais externos, e devido ao fato do iButton isolar a região da orelha dos efeitos externos.

Em acordo ao fato indicado pela análise de componentes principais, realizou-se, ainda, a modelagem dos dados por meio de regressões múltiplas tendo como variável dependente a frequência respiratória (FR) e como variáveis independentes as temperaturas superficiais (Ti e Tb) e a entalpia (H), da mesma forma que para a TR anteriormente, por resultar também em melhores ajustes dos modelos aos dados e possibilitar a comparação entre todas as regressões obtidas.

A Tabela 10 apresenta as equações de regressão múltipla, assim como seus respectivos valores de R^2 , para a frequência respiratória em função da temperatura aferida via termômetro de infravermelho e entalpia do ar ambiente em kJ.kg de ar seco⁻¹.

Tabela 10 - Equações de regressão múltipla e seus valores de ajuste (R^2) para frequência respiratória (FR, min^{-1}) em função das temperaturas via termômetro de infravermelho (T_i , $^{\circ}\text{C}$) e da entalpia (H, $\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$)

Equações de Regressão	R^2
FR = 27,9 + 2,46 H - 3,00 T_iA	68,4%
FR = 146 + 2,73 H - 6,78 T_iB	69,7%
FR = 145 + 2,58 H - 6,37 T_iC	69,5%
FR = 53,6 + 2,46 H - 3,65 T_iD	69,2%
FR = 0,2 + 2,46 H - 2,22 T_iE	69,1%
FR = 297 + 2,62 H - 10,1 T_iF	73,7%

As equações de regressão múltipla, para a FR, em função da temperatura aferida via iButton e entalpia do ar ambiente em $\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$, encontram-se expostas, juntamente aos seus respectivos valores de ajuste R^2 , na Tabela 11.

Tabela 11 - Equações de regressão múltipla e seus valores de ajuste (R^2) para frequência respiratória (FR, min^{-1}) em função das temperaturas via iButton (T_b , $^{\circ}\text{C}$) e da entalpia (H, $\text{kJ.kg de ar seco}^{-1}$)

Equações de Regressão	R^2
FR = - 10,3 + 2,14 H - 1,32 T_bA	64,7%
FR = 167 + 2,92 H - 7,69 T_bB	71,5%
FR = 44,9 + 2,47 H - 3,22 T_bC	73,2%
FR = - 87,1 + 1,88 H + 1,39 T_bD	67,1%
FR = - 15,3 + 2,84 H - 2,63 T_bE	69,6%

Como já esperado pelos resultados da análise de componentes principais (Figuras 18 e 19 e Tabela 7), os modelos para predição de FR apresentaram melhores ajustes (R^2) do que os modelos para predição de TR.

Nos modelos para predição de FR, ocorreram os mesmos comportamentos em relação aos métodos de medida, havendo diferença apenas em relação ao melhor modelo para predição de FR em função de temperatura da superfície corporal via iButton, onde o melhor local foi o lombo (região C).

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos nesta etapa, foram gerados os gráficos de TR e FR em função da entalpia, bem como plotadas as regressões múltiplas para a região que apresentou melhor ajuste R^2 , que foi a TiF em ambos os casos (Figura 20).

Figura 20 - Dispersão entre (a) TR e entalpia e (b) FR e entalpia, com resultados da regressão múltipla para TiF e H

Os valores preditos com o uso de equação obtida por regressão múltipla para TiF, conforme apresentado nos gráficos da Figura 20, situaram-se sempre dentro da faixa de variação da TR e FR reais observadas, demonstrando consistência e exatidão nos valores preditos. Na Figura 20a, fica clara a pequena variação da TR média ao longo das diferentes situações térmicas, em torno de 3%, enquanto a FR, apresentada pela Figura 20b, chega a apresentar variações da ordem de 300%.

É possível identificar, na Figura 20b, a existência de um ponto de virada na curva de FR em função da entalpia ambiente, uma vez que a mesma apresenta mudanças nos valores de média e variância, isto ocorre a partir de 59,24 kJ.kg de ar seco⁻¹. Tal ponto pode ser descrito como a entrada na situação térmica de desconforto ambiental por calor, com o acionamento dos mecanismos termorregulatórios do animal.

Realizou-se ainda, gráficos de superfície de resposta para as regressões múltiplas obtidas para a região TiF, com o auxílio do *software* MATLAB® R2013a (Figura 21), para uma melhor visualização do comportamento das variáveis resposta frente às regressões múltiplas.

Figura 21 - Gráficos de superfície de resposta para (a) TR e (b) FR, ambos em função de TiF e H

Os gráficos de superfície de resposta apresentados na Figura 21 facilitam a compreensão do comportamento de TR e FR em função das variáveis independentes TiF e H. Sendo possível observar, além dos comportamentos já verificados nas análises realizadas, a mudança de situação térmica a partir de 59,24 kJ.kg de ar seco⁻¹, evidenciada pela mudança de coloração na superfície resposta de FR, analogamente à dispersão da Figura 20b. Isso indica que a apresentação de gráficos de superfície de resposta pode trazer ganhos no sentido do entendimento dos comportamentos entre variáveis, além de sugerir a geração de uma superfície resposta da situação de conforto térmico dos animais em trabalhos futuros.

Outro fator a ser considerado é a praticidade em situação de campo para instalação e manutenção de sensores de contato, ou ainda a aferição via termômetros de infravermelho, no que diz respeito ao local escolhido como a melhor opção para monitoramento das condições térmicas dos animais.

Portanto, a região do corpo do suíno em fase de creche que se mostrou como a melhor opção para acompanhamento tanto da temperatura retal quanto da frequência respiratória, via coleta da temperatura pelo termômetro de infravermelho foi a timpânica (TiF). Isso devido a uma menor susceptibilidade da região timpânica aos efeitos ambientais externos, além de maior praticidade na obtenção de medidas e possibilidade de instalação de um sensor residente, interno na orelha do animal, que permaneça registrando a temperatura timpânica, sem grandes influências do ambiente externo, sendo ainda mais difícil do animal retirá-lo ao se roçar.

Ao utilizar sensores de contato para obtenção da temperatura da superfície corporal, a melhor opção é a orelha (TbE) para predição de temperatura retal, devido ao fato do iButton isolar a região da orelha dos efeitos externos, e a região do lombo (TbC) para predição de frequência respiratória, uma vez que esta região sofreu menor influência ambiental, devido ao acesso restrito dos animais, menos contato com superfícies úmidas ou de alta troca de calor, além de menor influência da movimentação dos animais.

Os resultados obtidos com as diferentes análises abrem, ainda, caminho para utilizar a FR como “degrau” entre as temperaturas da superfície corporal e a TR, partindo-se para modelos com funções em cadeia. Sendo essa abordagem explorada em desdobramentos futuros deste mesmo trabalho.

Essa pesquisa servirá de base para pesquisas futuras, tanto no sentido de projeto de sistemas de controle ambiental para instalações, quanto no desenvolvimento de sensores de contato e técnicas de aferição e monitoramento contínuo de variáveis fisiológicas de suínos. Além de definir uma metodologia viável para o levantamento de relações fisiológicas entre temperatura interna e externa de suínos, podendo ser aplicada para diferentes idades, genéticas e sistemas de criação. Possibilitando a criação de um banco de dados de modelos que abranjam todo o período de vida dos animais dentro dos sistemas de criação, facilitando a automação durante todo o processo.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

- a) Foi possível correlacionar as temperaturas da superfície corporal com temperatura retal e frequência respiratória e propor modelos de regressão linear múltipla para obtenção destas últimas, partindo-se das temperaturas da superfície corporal e entalpia ambiente;
- b) A região do corpo do suíno, em fase de creche, que se mostrou como a melhor opção para acompanhamento tanto da temperatura retal, quanto da frequência respiratória, via coleta da temperatura pelo termômetro de infravermelho, foi a timpânica (TiF), devido a uma menor susceptibilidade da região timpânica aos efeitos ambientais externos, maior praticidade na obtenção de medidas e possibilidade de instalação de um sensor residente; e
- c) Ao utilizar sensores de temperatura da superfície corporal, a melhor opção foi a região da orelha (TbE) para predição de temperatura retal, provavelmente devido ao fato do iButton isolar a região da orelha dos efeitos externos, enquanto que a região do lombo (TbC) foi a melhor opção para predição de frequência respiratória, sendo esta uma região que sofreu menor influência ambiental, devido ao acesso restrito dos animais, menos contato com superfícies úmidas ou de alta troca de calor e menor influência da movimentação dos animais.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M.M. **Apparatus and method for measuring biologic parameters**. United States Patent Application Publication, pub. Nº US 7,187,960 B2. 6 mar. 2007a.
- _____. **Apparatus and method for measuring biologic parameters**. United States Patent Application Publication, pub. Nº US 2007/0219434 A1. 20 set. 2007b.
- ABREU, M.M.; HADDADIN, A.S.; HOTT, M.; ASSIS, A.; SILVERMAN, D.G. Consistency of brain temperature tunnel measurements in different environmental temperature. In: AMERICAN SOCIETY OF ANESTHESIOLOGISTS ANNUAL MEETING, A673, 2010, San Diego, CA. **Proceedings...** Park Ridge, IL: ASA, 2010. Disponível em: <<http://www.asaabstracts.com/strands/asaabstracts/abstract.htm?jsessionid=9E7E39D75132AFDC8DD6A61516DB933C?year=2010&index=8&absnum=1991>>. Acesso em: 7 jan. 2014.
- AERTS, J.M.; BERCKMANS, D. A virtual chicken for climate control design: static and dynamic simulations of heat losses. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.47, n.5, p.1765-1772, 2004.
- ALVES, S.P.; SILVA, I.J.O.; PIEDADE, S.M.S. Avaliação do bem-estar de poedeiras comerciais: efeitos dos sistemas de criação e do ambiente bioclimático sobre o desempenho das aves e a qualidade de ovos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, n. 5, v. 36, p. 1388-1394. 2007.
- ANDERSEN, H.M.; JØRGENSEN, E.; DYBKJÆR, L.; JØRGENSEN, B. The ear skin temperature as an indicator of the thermal comfort of pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, NL, n. 113, p. 43-56, 2008.
- ARCE, A.I.C.; SILVA, A.C. de S.; SCHALCH, F.J.; TITTO, E.A.L.; COSTA, E.J.X. Desenvolvimento de um sistema microcontrolado de monitoração da temperatura e avaliação do implante do elemento sensor digital em bovinos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n.3. p. 417-123, 2007.
- ASHRAE. Handbook of fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. **Relatório ABIPECS 2012**. São Paulo, 2012. 8p. Disponível em: <http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/relatorios-associados/ABIPECS_relatorio_2012_pt.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2013.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 19972010. 246269 p.
- BARNETT J.L.; HEMSWORTH, P.H.; CRONIN, G.M., JONGMAN, E.C., HUTSON, G.D. A review of the welfare issues for sows and piglets in relation to housing. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.52. p. 1-28. Jan. 2001.
- BARROS, P.C.; OLIVEIRA, V.; CHAMBÓ, E.D.; SOUZA, L.C. Aspectos práticos da termorregulação em suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, Artigo 114, v. 7, n.3, p. 1248-1253. 2010.

BECKER, B.A.; KNIGHT, C.D.; BUONOMO, F.C.; JESSE, G.W.; HEDRICK, H.B.; BAILE, C.A. 1992. Effect of a hot environment on performance, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites of pigs treated with porcine somatotropin. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, v.70, n.9, p.2732-2740. Sep. 1992.

BERCKMANS, D. Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. In: ISAH CONFERENCE ON ANIMAL PRODUCTION IN EUROPE: THE WAY FORWARD IN A CHANGING WORLD, 2004. Saint-Malo, France. **Proceedings...** Saint-Malo, France, Oct.11–13, 2004, v. 1, p. 27-31.

BERG, E.P.; CARR, C.C. Effect of Seasonal Environment, On-Farm Handling Intensity, Transport Stocking Density, and Time in Lairage on Digestive Tract Temperature and Stress Hormone Level of Market Pigs. **Pork Checkoff**, Des Moines, 2006, 16p.

BERTHON, D.; HERPIN, P.; LE DIVIDCH, J. Shivering thermogenesis in the neonatal pig. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 6. p.414-418, 1994.

BIEMBENGUT, M. S. **Qualidade no ensino de Matemática na engenharia: uma proposta metodológica e curricular**. 1997. 305p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BLACK, J. L., MULLAN, B. P., LORSCHY, M. L., GILES, L. R. Lactation in the sow during heat stress. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 153-170, May 1993.

BLOEMHOF, S.; VAN DER WAAIJ, E. H.; MERKS, J. W. M.; KNOL, E. F. Sow line differences in heat stress tolerance expressed in reproductive performance traits. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, n.12, p.3330-3337. Dec. 2008.

BRIDGES, T.C.; GATES, R.S. Modeling of Animal Bioenergetics for environmental management applications. In DESHAZER, J.A. (Ed.). **Livestock Energetics and Thermal Environmental Management**. St. Joseph: ASABE, 2009. p.151-179.

BRIDI, A.M. **Adaptação e Aclimação Animal**. Disponível em: <http://www.uel.br/pessoal/ambриди/Bioclimatologia_arquivos/AdaptacaoeAclimatacaoAnimal.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2012.

BROOM, D.M. Animal welfare: concepts and measurement. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 69, n. 10, p. 4167-4175, Oct. 1991.

BROOM, D.M. Animal welfare: its scientific measurement and current relevance to animal husbandry in Europe. In: PHILLIPS, C.; PIGGINS, D. (Ed.). **Farm animals and environment**. Wallingford: CAB International: 1992. chap. 14, p. 245-253.

BROWN-BRANDL, T.M.; YANAGI, T.Jr.; XIN, H.; GATES, R.S.; BUCKLIN, R.A.; ROSS, G.S. A new telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 19, n. 5, p. 583-589, 2003.

BRUCE, J.M.; CLARK, J.J. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. **Animal Production**, Bletchley, v. 28, n. 3, p. 353-369, 1979.

BRUNE, S.A. United States Patent Application Publication, pub. Nº 5984875. Nov. 20, 1999.

CARVALHO, L.E.; OLIVEIRA, S.M.P.; TURCO, S.H.N. Utilização da Nebulização e Ventilação Forçada sobre o Desempenho e a Temperatura da Pele de Suínos na Fase de Terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.6, p.1486-1491, 2004.

CARVALHO, V.F.; YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R. S.; DAMASCENO, F. A.; MORAES, S. R. P. Mathematical Model for Thermal Environment and Broiler Chickens Performance Prediction in Acclimatized Housings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM LIVESTOCK ENVIRONMENT, 8., 2008, Iguassu Falls. **Proceedings...** Iguassu Falls: ASABE, 2008. 8 p. 2008.

CENTNER, T.J. Limitations on the Confinement of Food Animals in the United States. **Journal of agricultural and environmental ethics**, Dordrecht, v. 23, n. 5, p. 469-486, Oct. 2010.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP. **Indicadores do Suíno Vivo CEPEA/ESALQ**. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/suino/>>. Acesso em 27 nov. 2013.

CHRISTON, R. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 66, p. 3112-3123, 1988.

CIGR. Commission Internationale du Génie Rural. **Climatization of animal houses**. 2nd Report of Working Group-Revision. Ghent, Belgium: Centre for Climatization of Animal Houses – Advisory Services, Faculty of Agricultural Sciences, State University of Ghent. 2nd ed. 147 p. 1992.

CIGR. Commission Internationale du Génie Rural. **Climatization of animal houses: Heat and moisture production at animal and house levels**. 4th Report of Working Group. 45 p. 2002.

CLOSE, W.H.; MOUNT, L.E. The effects of plane of nutrition and environmental temperature on the energy metabolism of the growing pig. 1. Heat loss and critical temperature. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 40, n. 3, p. 413-421, 1978.

DAVIDSON, A. J.; AUJARD, F.; LONDON, B.; MENAKER, M.; BLOCK, G. D. ThermoChron iButtons: An Inexpensive Method for Long-Term Recording of Core Body Temperature in Untethered Animals. **Journal of Biological Rhythms**, New York, v. 18 n. 5, p. 430-432, 2003.

DELLMEIER, G.R. Motivation in Relation to the Welfare of Enclosed Livestock. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 22, n.2, p. 129-138, Feb. 1989.

DESHAZER, J.A. **Livestock energetics and thermal environmental management**. St. Joseph, Mich.: ASABE. 2009. 212 p.

DESHAZER, J.A. Specification for environmental control in swine production. In: SYMPOSIUM IN MANAGEMENT OF FOOD PRODUCING ANIMALS, v. 2., 1982, West Lafayette. **Proceedings...** West Lafayette: Purdue University, 1982. p. 512.

DESHAZER, J.A.; FEDDES, J.J.R. Séminaire CIGR sur le logement du porc, du lapin e des peites espèces aviaires. Rennes, France, v. 1, n. 1, p.99-101, 1986.

DUNCAN, I.J.H. Science-based assessment of animal welfare: farm animals. **Reveu scientifique et technique (Internacional Office of the epizootics)**, Paris, v.24, p. 483-492, 2005.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Westport: AVI, 1982. 325p.

FAO. **Statistical Yearbook 2013**: World food and agriculture. Rome, 2013. 289p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2013.

FAWC. Farm Animal Welfare Council. **Five freedoms**. 2009. Disponível em: <<http://www.fawc.org.uk/freedoms.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2013.

FERREIRA, R.A. Efeitos do clima sobre a nutrição de suínos. In: ENCONTROS TÉCNICOS ABRAVES, 11., 2000, Chapecó. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2000. 15p.

FIALHO, F.B. Modernização no controle da produção de suínos: zootecnia de precisão. In: SILVA, I.J.O. **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 131-148.

FIGUEIREDO FILHO, D.B.; SILVA JÚNIOR, J.A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FONDRIEST ENVIRONMENTAL. NexSens DS1921G micro-Temperature Logger. Disponível em <http://www.fondriest.com/products/nexsens_ds1921g.htm>. Acesso em: 19 ago. 2011.

FRASER, A. F. Toward a global perspective on farm animal welfare. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 113, p. 330-339, Oct. 2008.

FRASER, A.F.; BROOM, D.M. **Farm animal behaviour and welfare**. 3rd. ed. Wallingford: CABI Publishing, 1990. 437p.

FROST, A.R.; SCHOFIELD, C.P.; BEAULAH, S.A.; MOTTRAM, T.T.; LINES, J.A.; WATHES, C.M. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 17, p. 139-159. 1997.

GATES, R.S.; OVERHULTS, D.G.; BOTTCHEER, R.W.; ZHANG, S.H. Field calibration of a transient model for broiler misting. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 5, p. 1623-1631, 1992.

GATES, R.S.; USRY, J. L.; NIENABER. J. A.; TURNER, L. W.; BRIDGES, T. C. Optimal misting method for cooling livestock housing. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 5, p. 2199-2206, 1991.

GEBREMEDHIN, K.G.; WU, B. A model of evaporative cooling of wet skin surface and fur layer. ASAE Paper No. 004114, ASAE, St. Joseph. 2000.

GOMES, E.D.F.G. **Variação da temperatura intramuscular durante e após a aplicação de frio superficial**. 2001. 66p. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Instituto de Química de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2001.

GREEN, A.R.; GATES, R.S.; LAWRENCE, L.M.; WHEELER, E. F. Continuous recording reliability analysis of three monitoring systems for horse monitoring temperature. **Computers and Electronics in Agriculture**, Davis, v. 61, p. 88-95, 2008.

GUITION, A.C.; HALL, J.E. **Tratado de fisiologia médica**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 1014p.

HABBEB, A.A.M.; MARAI, I.F.; KAMAL, T.H. Heat stress. In: PHILLIPS, C.; PIGGINS, D. (Ed.). **Farm animals and the environment**. Wallingford: CAB International, 1992. p. 27-48.

HADDADIN, A.S.; ABREU, M.M.; SILVERMAN, D.G.; LUTHER, M.; HINES, R.L. Noninvasive assessment of intracranial temperature via the medial canthal-brain temperature tunnel. In: AMERICAN SOCIETY OF ANESTHESIOLOGISTS ANNUAL MEETING, 103:A38, 2005, Atlanta, GA. **Proceedings...** Park Ridge, IL: ASA, 2005. Disponível em: <<http://www.asaabstracts.com/strands/asaabstracts/abstract.htm?jsessionid=C3638852BDD62EEDB549491112517A13?year=2005&index=4&absnum=1662>>. Acesso em: 7 jan. 2014.

HANNAS, M.I. Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: SILVA, I.J. (Ed.). **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. cap. 1, p. 1-33.

HANNAS, M.I.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L. Efeito da temperatura ambiente sobre parâmetros fisiológicos e hormonais de leitões dos 15 aos 30 kg. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. 226p.

HASSELBERG, M.J.; McMAHON, J.; PARKER, K. The validity, reliability, and utility of the iButton® for measurement of body temperature circadian rhythms in sleep/wake research. **Sleep Medicine**, New York, v. 14, n. 1, p. 5-11. 2011.

HOUP, K.A. Fisiologia do comportamento. In: REECE, W.O. (Ed.). **Dukes, fisiologia dos animais domésticos**. Revisão técnica de Newton da Cruz Rocha; Tradução de Cid Figueiredo, Idilia Ribeiro Vanzellotti, Ronaldo Frias Zanon. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. cap. 54, p. 887-896.

HURNIK, J.F. Behaviour. In: PHILLIPS, C.; PIGGINS, D. (Ed.). **Farm animals and environment**. CAB International: Wallingford. 1992. chap. 13, p. 235-244.

INGRAM, D.L.; MOUNT, L.E. The metabolic rates of young pigs living at high ambient temperatures. **Research in Veterinary Science**, London, v.6, p. 300-306, 1965.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 6th. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice hall, 2007, 773p.

KIEFER, C.; MOURA, M.S.; SILVA, E.A.; SANTOS, A.P.; SILVA, C.M.; LUZ, M.F.; NANTES, C.L. Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.11, n.2, p. 496-504, 2010.

KIEFER, C; MEIGNEN, B.C.G.; SANCHES, J.F.; CARRIJO, A.S. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.58, n.221, p. 55-64, 2009.

LASSEN, J.; SANDØE, P.; FORKMAN, B. Happy pigs are dirty! – conflicting perspectives on animal welfare. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 103, p.221-230, Sept. 2006.

LICHTENBELT, W.D.M.; DAANEN, H.A.M.; WOUTERS, L.; FRONCZEK, R.; RAYMANN, R.J.E.M.; SEVERENS, N.M.W.; SOMEREN, E.J.W.V. Evaluation of wireless determination of skin temperature using iButtons. **Physiology & Behavior**, Elmsford, v. 88, p. 489-497, 2006.

LOPEZ, J.; GOODBAND, R.D.; ALLEE, G.L.; JESSE, G.W.; NELSEN, J.L.; TOKACH, M.D.; SPIERS, D.; BECKER, B.A. The effects of diets formulated on an ideal protein basis on growth performance, carcass characteristics, and thermal balance of finishing gilts housed in a hot, diurnal environment. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.72, n.2, p.367-379, Feb. 1994.

LOPEZ, J.; JESSE, G.W.; BECKER, B.A.; ELLERSIECK, M.R. Effect of temperature on the performance of finishing swine: 1. Effects of a hot, diurnal temperature on average daily gain, feed intake, and feed efficiency. **Journal of Animal Science**. Champaign, v.69, p.1843-1849, May 1991.

LOVEGROVE, B.G.; GÉNIN, F. Torpor and hibernation in a basal placental mammal, the Lesser Hedgehog Tenrec *Echinops telfairi*. **Journal of Comparative Physiology B**, New York, v. 178, p.691–698, 2008.

LOVEGROVE, B.G.; Modification and miniaturization of Thermochron iButtons. **Journal of Comparative Physiology B**, New York, v. 179, p. 451–458, 2009.

MANNO, M.C.; OLIVEIRA, R.F.M. de; DONZELE, J.L.; FERREIRA, A.S.; OLIVEIRA, W.P.; LIMA, K.R.S.; VAZ, R.G.M.V. Efeito da Temperatura Ambiente sobre o Desempenho de Suínos dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.6, p.1963-1970, 2005.

MANNO, M.C.; OLIVEIRA, R.F.M. de; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, W.P. de; VAZ, R.G.M.V.; SILVA, B.A.N.; SARAIVA, E.P.; LIMA, K.R. de S. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, p.471- 477, 2006.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **AGROSTAT**: Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

MARCHANT-FORDE, J.N. Introduction to the Welfare of Pigs. In: _____. (Ed.). **The welfare of pigs**. Springer, 2009. chap. 1. p.1-12.

- MEDEIROS, C.M. **Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte**. 1997. 115p. Tese (Mestrado em Eng. Agrícola - Construções Rurais e Ambiente) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- MENDES, A.S. **Efeito do manejo da ventilação natural no ambiente de salas de maternidade para suínos**. 2005. 89p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- MICHELIS, J.; MENDES, A.S.; PAIXÃO, S.J.; RESTELATTO, R.; MAROSTEGA, J.; POSSENTI, J.C. Efeito dos sistemas de climatização na fase de maternidade de suínos. In: IV SEMINÁRIO: SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA - CIÊNCIAS AGRÁRIAS, ANIMAIS E FLORESTAIS, 4., Dois Vizinhos, 2010.
- MOLENTO, C. **Senciência Animal**. Disponível em: <<http://www.labea.ufpr.br/PUBLICACOES/Arquivos/Pginas%20Iniciais%202%20Senciencia.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2013.
- MOSTAÇO, G.M.; PECORARO, C.A.; SILVA-MIRANDA, K.O. Uso da entalpia como índice de conforto térmico na suinocultura: desenvolvimento e reprodução. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2014, No Prelo.
- MUIRHEAD, M.; ALEXANDER, T. **Managing pig health and the treatment of disease**. A reference for the farm. Sheffield: 5MEnterprises, 1997. 608p.
- MZILIKAZI, N.; LOVEGROVE, B. G.; RIBBLE, D. O. Exogenous Passive Heating during Torpor Arousal in Free-Ranging Rock Elephant Shrews, *Elephantulus myurus*. **Oecologia**, Berlin, v. 133, n. 3, p. 307-314, 2002.
- NASCIMENTO, S.T. **Determinação do balanço de calor em frangos de corte por meio das temperaturas corporais**. 2010. 147p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- NICHOLS, D.A.; AMES, D.R.; HINES, R.H. Effect of temperature on performance of finishing swine. In: SWINE DAY, 1980, Manhattan. **Kansas State University Report of Progress**. Manhattan: Kansas State University, 1980. p. 14-16.
- NIENABER, J.A.; HAHN, G.L.; MCDONALD, T.P.; KORTHALS, R.L. Feeding patterns and swine performance in hot environment. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.39, n.1, p.195-202, 1996.
- NIENABER, J.A.; HAHN, G.L.; YEN, Y.T. Thermal environment effects on growing-finishing swine. Part I - Growth, feed intake and heat production. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 30, n. 6, p. 1772-1775, 1987a.
- NIENABER, J.A.; HAHN, G.L.; YEN, Y.T. Thermal environment effects on growing-finishing swine. Part II - Carcass composition and organ weights. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 3, n. 6, p. 1776-1779, 1987b.

NOBLET, J.; DOURMAD, J.Y.; LE DIVIDICH, J.; DUBOIS, S. Effect of Ambient Temperature and Addition of Straw or Alfalfa in the Diet on Energy Metabolism in Pregnant Sows. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 21, p. 309-324, 1989.

NRC. **Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals**. Washington, DC: National Academy Press, 1981.

NUNES, M.L.A. **Bem-estar de matrizes suínas em gestação**: Estimativa da condição de conforto térmico, análise comportamental e produtiva no alojamento coletivo com uso de cama. 2011. 153p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OLIVEIRA, P.A.V. de. Qualidade do ambiente no crescimento de leitões. In: SILVA, I.J. (Ed.). **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. cap. 6, p. 131-148.

OPASJUMRUSKIT, K.; THANTHIPWAN, T.; SATHUSEN, O.; SIRINAMARATTANA, P.; GADMANEE, P.; POOTARAPAN, E.; WONGKOMET, N.; THANACHAYANONT, A.; THAMSIRIANUNT, M. Self-Powered wireless temperature sensors exploit RFID technology. **Pervasive Computing**, p.54-61, 2006.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento - Departamento de Economia Rural. **Suinocultura**: Análise da Conjuntura Agropecuária. Curitiba, 2013. 16 p. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/SuinoCultura_2012_2013.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2013.

PECORARO, C.A.; MOSTAÇO, G.M.; SILVA-MIRANDA, K.O. Uso da entalpia como índice de conforto térmico na suinocultura: matrizes e leitões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2014, No Prelo.

PENZ JR., A.M. Nutrição de reprodutores em época de calor. Anais do V Mini-Simpósio do Colégio Brasileiro de Nutrição Animal. Campinas, SP, 1991. p. 83-95.

PERDOMO, C.C. **Avaliação de sistemas de ventilação sobre o condicionamento ambiental e desempenho de suínos na maternidade**. 1995. 239p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

PINHEIRO, C.; PINHEIRO, A. **Zootecnia de Precisão**. Lisboa: AJAP, 2009. 98 p. Disponível em: <http://agrinov.ajap.pt/manuais/Manual_Zootecnia_de_Precisao.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2013.

QUINIOU, N.; NOBLET, J. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.77, n. 8, p.2124-2134, Ago. 1999.

REGRESSÃO linear múltipla. São Paulo: Erudito - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo - FEA/USP. Disponível em: <http://www.erudito.fea.usp.br/PortalFEA/Repositorio/445/Documentos/Regress%C3%A3o%20M%C3%BAltipla_Dummy.doc>. Acesso em: 2 jan. 2014.

ROBERTSHAW, D. Regulação da temperatura e o ambiente térmico. In: REECE, W.O. (Ed.). **Dukes, fisiologia dos animais domésticos**. Revisão técnica de Newton da Cruz Rocha; Tradução de Cid Figueiredo, Idília Ribeiro Vanzellotti, Ronaldo Frias Zanon. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. cap. 55, p. 897-908.

ROBINSON, N.E. Termorregulação. In: CUNNINGHAM, J.G. (Ed.). **Tratado de fisiologia veterinária**. Tradução de Aldacilene Souza da Silva... [et al.]. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. cap. 53, p. 647-658.

RODRIGUES, E.H.V.; ARAÚJO, R.C.L.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de Construções - Coleção Construções Rurais**. Seropédica-RJ: Editora Universidade Rural, 2000. v.1. 203p.

RODRIGUES, V.C.; SILVA, I.J.O.; VIEIRA, F.M.C.; NASCIMENTO, S.T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 55, n.3, p.455-459. May 2011.

ROLLER, W.L.; STOMBAUGH, D.P. The influence of environmental factors on the reproduction of livestock. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM LIVESTOCK ENVIRONMENT, 1976, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: ASAE, 1976. v.1, p.31-50.

SAINSBURY, D.W.B. Climatic Environment and pig performance, In: COLE, D.J.A. (Ed.). **Pig Production**. London: Butterworths, 1972, p.91-105.

SANTOS, F.; CROCCO, M.; SIMÕES, R. Arranjos produtivos locais informais: Uma análise de componentes principais para Nova Serrana e Ubá – Minas Gerais. In: SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 10., 2002. Belo Horizonte: Anais...Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2002, 28p.

SEEBACHER, F.; ELSEY, R.M.; TROSCLAIR III, P.L. Body Temperature Null Distributions in Reptiles with Nonzero Heat Capacity: Seasonal Thermoregulation in the American Alligator (*Alligator mississippiensis*). **Physiological and Biochemical Zoology**, Chicago, v. 76, n. 3, p. 348-359, 2003a.

SEEBACHER, F.; GUDERLEY, H.; ELSEY, R.M.; TROSCLAIR III, P.L. Seasonal acclimatisation of muscle metabolic enzymes in a reptile (*Alligator mississippiensis*). **The Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 206, p.1193-1200, 2003b.

SILVA, B.A.N. **Efeito do resfriamento do piso da maternidade sobre o desempenho produtivo e reprodutivo de porcas em lactação no verão**. 2005. 56 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SILVA, E.; YANAGI JUNIOR, T.; BRAGA JUNIOR, R.A.; LOPES, M.A.; DAMASCENO, F.A.; SILVA, G.C.A. Desenvolvimento e validação de um modelo matemático para o cálculo da área superficial de frangos de corte. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.1-7, 2009.

SILVA, I.J.O. Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 4., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Gessuli, 1999. p.108-121.

- SILVA, M.; EXADAKTYLOS, V.; FERRARI, S.; GUARINO, M.; AERTS, J.; BERCKMANS, D. The influence of respiratory disease on the energy envelope dynamics of pig cough sounds. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 69, p. 80-85, 2009.
- SILVA, R.G. **Biofísica Ambiental: Os animais e seu ambiente**. Jaboticabal: FUNEP, 2008, 393p.
- SIMMONS, J.D.; LOTT, B.D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.12, n.4, p.497-500, 1996.
- SIMON, E; PIERAU, F.K.; TAYLOR, D.C.M. Central and peripheral thermal control of effectors in homeothermic temperature regulation. **Physiological Reviews**, Baltimore, v. 66, p. 235-300, 1986.
- SINGLETARY, I. B.; BOTTCHEER, R. W.; BAUGHMAN, G. R. Characterizing effects of temperature and humidity on misting evaporative efficiency. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.39, n.5, p.1801-809, 1996.
- SORENSEN, P.H. Influencia del ambiente climatico en la production del cerdo. In: MORGAN, J.T. **Nutricion de aves y cerdos**. Zaragoza: Acribia, 1964, p. 97-116.
- SOUSA, P. **Suínos e climas quentes: como promover o bem-estar aos animais? - Conforto térmico e bem estar na suinocultura**. Lavras: UFLA, 2004. 69p.
- SOUZA JUNIOR, J.B.F. de; DOMINGOS, H.G.T.; SILVA, R.B. da; MAIA, A.S.C. Estoque térmico em vacas holandesas manejadas em ambiente tropical numa região semi-árida. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008. Lavras. **Anais...** UFLA, 2008, 3p.
- TURNPENNY, J.R.; WATHES, C.M.; CLARK, J.A.; McARTHUR, A.J. Thermal balance of livestock 2. Applications of a parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 101, p. 29-52, 2000.
- USDA. United States Department of Agriculture – Foreign Agricultural Service. **Livestock and Poultry: World markets and trade**. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2013.
- WIDMAIER, E.P.; RAFF, H.; STRANG, K.T. Regulation of organic metabolism and energy balance. In: _____. **Vander's Human physiology: The Mechanisms of Body Function**. 12th ed. New York: McGraw-Hill, 2011. chap. 16, p. 554-587.
- WILLIAMS, A.M. **Effects of heat stress on reproduction and productivity of primiparous sows and their piglets' performance**. 2009. 122 p. Dissertação (Mestrado em Animal Sciences) - University of Missouri-Columbia, 2009.
- YANAGI JUNIOR, T. Inovações tecnológicas na bioclimatologia animal visando aumento da produção animal: relação bem estar animal x clima. 2006. **Artigo em Hipertexto**. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/ITBA/Index.htm>. Acesso em: 22 ago. 2011.

YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R. S. Thermal discomfort index for laying hens. St.Joseph: ASAE, 2001. 13p. (ASAE Paper: 01-4064).

ZAMBALDE, A.L.; SILVA, F. de C.; ALVES, R.M.; SOUZA, M.M.; LOPES, M.A. Nanotecnologia aplicada à agropecuária: descrição dos casos “língua eletrônica” e “tempalert”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRINFORMÁTICA, SBI-AGRO, 5., 2005. Londrina. **Anais...** Londrina , 2005, 8p.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

FERREIRA, R.A. **Avaliação da redução da proteína bruta da ração com suplementação de aminoácidos para suínos dos 15 aos 60 kg mantidos em diferentes ambientes térmicos.** 2001. 67 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

PERDOMO, C.C. Conforto ambiental e produtividade de suínos. Anais do Simpósio Latino-Americano de Nutrição de Suínos. 1994. CBNA, São Paulo, SP. p. 19-26.

PERDOMO, C.C. Considerações sobre o condicionamento ambiental na produção de suínos. In: BIAGI, J.D.; CYRINO, J.E.P.; MENTEN, J.F.M.; MIYADA, V.S. (Ed.). **In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO ANIMAL E TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE RAÇÕES.** 1998. Campinas, SP. **Anais...** Campinas, 1998, p. 147-154.

PIFFER, I.A.; PERDOMO, C.C.; SOBESTIANSKY, J. Efeito de fatores ambientais na ocorrência de doenças. In: SOBESTIANSKY, J.; WENTZ, I.; SILVEIRA, P.R.S.; SESTI, L.A.C. **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde de rebanho.** Concórdia: Embrapa-CNPSa, 1998. p.257-274,

WEISSENBOCK, N.M.; WEISS, C.M.; SCHWAMMER, H.M.; KRATOCHVIL, H. Thermal windows on the body surface of African elephants (*Loxodonta africana*) studied by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v.35, p. 182-188, 2010.

ANEXO

ANEXO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"

Av. Pádua Dias, 11 Caixa Postal 9 Piracicaba/SP 13418-900
Departamento de Zootecnia
Fones: Chefe/Secretaria (19) 3429-4134 e 3429-4247 - FAX (19) 3429-4215
www.zootecnia.esalq.usp.br

COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS – CEUA

PROTOCOLO N. 2013-2

PARECER

O projeto "Comparação de diferentes métodos de medida de temperatura superficial em suínos na fase de creche" que tem como responsável a Profa. Késia Oliveira da Silva Miranda, foi examinado pela CEUA desta Escola em reunião de 3 de junho de 2013.

Com base no protocolo experimental apresentado, a CEUA entende que os procedimentos serão realizados de forma a não ferir os princípios éticos na experimentação com animais

Piracicaba, 20 de junho de 2013

Prof. José Fernando Machado Menten
Coordenador da CEUA