



RODRIGO FORTUNATO DE OLIVEIRA

**ESTRESSE POR CALOR EM SUÍNOS MACHOS
CASTRADOS**

LAVRAS – MG

2016

RODRIGO FORTUNATO DE OLIVEIRA

ESTRESSE POR CALOR EM SUÍNOS MACHOS CASTRADOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Não-ruminantes para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Rony Antonio Ferreira

LAVRAS – MG

2016

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Oliveira, Rodrigo Fortunato de.

Estresse por calor em suínos machos castrados / Rodrigo
Fortunato de Oliveira. – Lavras : UFLA, 2016.

125 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador(a): Rony Antonio Ferreira.

Bibliografia.

1. Aclimação. 2. Consumo. 3. Estresse térmico. 4. Lógica
fuzzy. 5. Suínos. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

RODRIGO FORTUNATO DE OLIVEIRA

ESTRESSE POR CALOR EM SUÍNOS MACHOS CASTRADOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Não-ruminantes para obtenção do título de Mestre.

APROVADA, em 01 de fevereiro de 2015

Dr. Alexandre de Oliveira Teixeira UFSJ

Dr. Márvio Lobão Teixeira de Abreu UFLA

Dr. Tadayuki Yanagi Junior UFLA

Dr. Rony Antonio Ferreira

Orientador

LAVRAS – MG

2016

Luto por você, caio por você, sangro por você. Ergo-me por você, respiro e penso por você. Você está por traz de cada passo meu, me acompanhando na tristeza e na alegria, sofrendo e sangrando a cada derrota, mas sempre estendendo a mão para que eu não caia em definitivo. Você é o anjo que acompanha meus passos e sem você minha vida não faria sentido. Lutar sem objetivo deve ser desesperador, por isso me sinto abençoado por ter um bom motivo para lutar; lutar pela minha família e pelas pessoas que depositam confiança em mim. Isso me motiva e me aponta um norte, pois a cada queda eu me levanto, às vezes confuso, mas nunca me esqueço que meu maior motivo para ficar de pé é você. Amo a todos da minha família, e família eu digo não só a de sangue, mas a de coração também. Agradecerei a todos, se Deus quiser pessoalmente, e sei da dedicação que têm por mim, mas a minha pós-graduação, o meu mestrado queria dedicar a você, que sofreu tanto nesse tempo, mãe querida.

Sei que a dívida que tenho por ti é grande. Também sei que jamais poderia pagá-la em uma só vida, portanto lhe ofereço uma eternidade de servidão pelo amor. Sempre vou te acompanhar em pensamento por mais que estejas longe. Você sempre estará em meu coração mantendo-o aquecido com o seu amor fora do comum, seu carinho e preocupação.

Dedico esta dissertação a minha mãe, Ana Lúcia Pereira de Oliveira, cujo amor que sente por mim só pôde ser comparado com a imensa dedicação e força de vontade que ajudaram a me manter firme nos momentos difíceis. Amo-te demais, que eu possa te dar orgulho sempre. Fique com Deus, de seu filho que tanto te ama...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, minha proteção através das orações.

À Universidade Federal de Lavras e ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao meu orientador, Rony Antonio Ferreira, por ter me guiado por todo o período de mestrado e pelos ensinamentos fornecidos.

Aos meus co-orientadores, Marvio Lobão Teixeira de Abreu e Vinícius de Sousa Cantarelli, pela dedicação, amizade, apoio e valiosa colaboração durante todas as etapas deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Professor Alexandre de Oliveira Teixeira e Professor Tadayuki Yanagi Junior, pelas críticas e sugestões na finalização desta etapa.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia, Helio Rodrigues, Binho e Borginho, pelo apoio, conversas e colaboração nas diversas etapas de condução do experimento e bons momentos de convívio.

À minha família, principalmente meu irmão Harrison Fortunato de Oliveira e meu pai João Vilácio Fortunato de Oliveira, que nunca deixaram de acreditar no meu potencial, ficando sempre ao meu lado na tristeza e na alegria. Amo muito vocês.

Aos meus “irmãos” Rennan Herculano Rufino Moreira e Sérgio Turra Sobrane Filho, que sem a amizade deles jamais conseguiria.

Aos meus companheiros de trabalho que muito me ajudaram, Mateus Pies Gionbelli, Bruna Pontara Vilas Boas Ribeiro, Maíra Resende, Rhuan Filipe Chaves, Letícia Mendonça, Sudário Roberto, Cesar Augusto Pospissil Garbossa e Hebert Silveira.

Aos meus amigos do laboratório de engenharia agrícola - DEG que muito ajudaram em meu experimento, Lucas Henrique Pedrozo Abreu e Dian Lorençoni.

Ao Núcleo de Estudos em Suinocultura (NESUI) e a todos os integrantes, pela grande força que me deram nesse período de mestrado.

À todos os integrantes da república Pé no Brejo, em especial ao Henrique Sigiliano, Giovanni Romeu, Leonardo Passos, Munir Féres, Eric Ribeiro e Hugo Silva, pela convivência, aprendizados, alegrias e tristezas durante todo o meu período de mestrado. Obrigado e que nossa amizade dure por muito mais tempo.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado e a AnimalNutri pelo financiamento do projeto.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

“Temos de fazer o melhor que podemos.
Esta é a nossa sagrada responsabilidade
humana.”

Albert Einstein

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos do estresse agudo e crônico por calor sobre o desempenho e a fisiologia de suínos e desenvolver um modelo *fuzzy* para predição da frequência respiratória e temperatura retal. Para o estresse agudo foram utilizados 24 suínos alojados em duas câmaras climatizadas. Em uma delas os animais estavam em conforto (22°C) e em outra, estresse por calor (34°C). Em cada câmara foram alojados 12 suínos sendo a parcela experimental representada por dois animais na baia, totalizando seis repetições. O experimento teve duração de 48 horas. As condições ambientais das câmaras e os parâmetros fisiológicos de frequência respiratória, temperaturas corporais e superficiais foram monitoradas no início e a cada quatro horas. Houve redução do desempenho nas primeiras 24, entre 24 e 48 e nas 48 horas experimentais. Os animais expostos ao calor aumentaram a frequência respiratória e as temperaturas superficiais. Suínos em estresse agudo por calor apresentaram variação da temperatura corporal em função do tempo e responderam de forma bifásica quanto à aclimatação, comprometendo o desempenho. Para o estudo do estresse crônico, foram utilizados 36 suínos durante 71 dias. Os animais foram distribuídos em delineamento de blocos casualizados, constituindo três tratamentos com seis repetições e dois animais por unidade experimental. Os tratamentos foram: HS (animais no calor), TN (animais em conforto térmico) e PFTN (animais em conforto térmico com alimentação pareada ao HS). Foram obtidos dados de desempenho, parâmetros fisiológicos, comportamento e composição da carcaça dos suínos. Houve redução do desempenho dos animais submetidos ao calor, devido à temperatura intensa e a redução do consumo. O calor promoveu aumento da frequência respiratória, das temperaturas

superficiais e retal. A restrição do consumo promoveu o aumento do n° de linfócitos. Os suínos mantidos no HS permaneceram mais tempo em ócio e menos tempo comendo e fuçando. O calor promoveu menor peso de carcaça quente e comprometeu o desempenho, a fisiologia e o comportamento dos animais. Os resultados dos parâmetros fisiológicos e de imagens termográficas do estresse agudo e crônico por calor foram utilizados para um modelo *fuzzy*. Utilizou-se como variáveis de entrada: temperatura do ar e superficial e, como variáveis de saída: frequência respiratória e temperatura retal. O método de inferência utilizado foi o de Mamdani e a técnica de defuzzificação usada, foi a do Centro de Gravidade. Nos resultados do modelo, quando comparados com os dados experimentais, evidencia-se eficiência satisfatória na determinação da frequência respiratória e da temperatura retal, nas quais os valores de R2 calculados foram respectivamente 0,997 e 0,951 para o estresse agudo e 0,993 e 0,964 para o estresse crônico por calor.

Palavras-chave: aclimação, ambiência, consumo, estresse térmico, hipertermia, lógica fuzzy

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effects of acute and chronic heat stress on performance and physiology of pigs and to develop a fuzzy model for predicting respiratory rate and body temperature. For acute stress it was used 24 pigs housed in two climate chambers. In one of the chambers animals were in a comfortable temperature (22°C) and in the other, in heat stress (34 °C). In each chamber were housed 12 pigs with an experimental plot represented by two animals at bay totaling six repetitions. The experiment lasted 48 hours. The environmental conditions of the chambers, respiratory rate, body and top surface temperatures were monitored on the beginning and at every four hours. There was a reduced performance in the first 24, 24 and 48 and 48 experimental hours. The animals exposed to heat had increased respiratory rate and surface temperatures. Pigs in acute heat stress showed variation in body temperature as a function of time and answered in a biphasic manner regarding acclimatization, thus compromising performance. For the study of chronic stress, 36 pigs were used for 71 days. The animals were distributed in a randomized block design, with three treatments and six replicates with two animals per experimental unit. The treatments were: HS (animals in the heat), TN (animal thermal comfort) and PFTN (animal thermal comfort pair feeding with HS). Performance data, physiological parameters, behavioral and swine carcass composition were obtained. There was a reduction in the performance of the animals subjected to heat due to intense temperature and consumption reduction. The heat promoted increased respiratory rate, surface and rectal temperatures. Restricting the consumption promoted an increase in lymphocytes. Pigs kept in HS spent more time on leisure and less time eating and digging. The heat promoted less hot carcass weight and impaired the performance, physiology and behavior of animals. The results of physiological parameters and thermographic images of acute and chronic heat stress

were used for a fuzzy model. It was used as input variables: air and surface temperature and as output variables: respiration and rectal temperature. The inference method used was the Mamdani and the defuzzification technique was the center of gravity. Results of the model when compared with the experimental data showed an evident satisfactory efficiency in the determination of the respiratory rate and rectal temperature, in which the calculated R² values were 0.997 and 0.951 for acute stress and 0.993 and 0.964 for stress chronic heat.

Keywords: acclimation, ambience, consumption, fuzzy logic, heat stress, hyperthermia

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE		
1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Ambiente térmico.....	16
2.2	Estresse agudo ou crônico por calor.....	18
2.3	Termorregulação em suínos.....	19
2.4	Comportamento.....	22
2.5	Parâmetros fisiológicos.....	23
2.5.1	Frequência respiratória.....	24
2.5.2	Temperatura da pele.....	26
2.5.3	Temperatura retal.....	26
2.6	Desempenho produtivo.....	27
2.7	Características de carcaça e peso dos órgãos.....	29
2.8	Efeito do calor a nível celular e molecular.....	31
2.9	Inteligência artificial.....	33
3	CONSIDERAÇÃO FINAL.....	35
	REFERÊNCIAS	36
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS		
	ARTIGO 1 Estresse agudo por calor compromete o desempenho de suínos em crescimento.....	44
	ARTIGO 2 Efeito da temperatura do ar sobre o comportamento, fisiologia e desempenho de suínos nas fases de crescimento e terminação.....	69
	ARTIGO 3 Predição da frequência respiratória e temperatura retal de suínos em estresse por calor utilizando sistema fuzzy.....	100

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura brasileira, a exemplo de outras cadeias produtivas do agronegócio, tornou-se nas últimas décadas uma atividade altamente dinâmica, em virtude de mudanças nos hábitos dos consumidores, que estão cada vez mais exigentes em relação ao produto que consomem. Não obstante a este fato, estimativas da Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (2009) revelam que até 2050 a demanda de alimentos tende a duplicar, porém em virtude de limitações territoriais, o aumento da produção por si só não será capaz de suprir tamanha demanda, tornando assim necessário o emprego de novas tecnologias capazes de promover incremento em produtividade.

Nas criações brasileiras, na maior parte do ano, os suínos estão sujeitos aos efeitos negativos do estresse por calor devido a sua alta termogênese. Associado a este fato, concepções arquitetônicas das instalações promovem elevadas temperaturas, muitas vezes acima da crítica superior para os animais. Este calor promove redução no desempenho, devido a diminuição no consumo e ao custo energético associado à dissipação do calor extra termorregulatório. Neste ambiente, os suínos de alta taxa de deposição de carne magra são os mais prejudicados em função da termogênese advinda da deposição de proteína na carcaça.

Atento a este novo panorama, o complexo agroindustrial da carne suína passou a investir em tecnologias nas mais diversas áreas do segmento, tendo como foco pesquisas nas áreas de ambiência, manejo e nutrição, como forma de proporcionar ao consumidor final um produto em quantidade e, sobretudo de qualidade, mas que, no entanto, não comprometa o bem-estar dos animais, evitando assim que se torne uma barreira ao sistema produtivo.

Os suínos, como endotérmicos que são, devem ser capazes de ajustar sua temperatura corporal, dissipando o excedente produzido via metabolismo ou ganho do ambiente. Quando são mantidos na zona de conforto térmico, a produção de calor é menor e a maior proporção da energia ingerida pode ser direcionada para melhorar seu desempenho produtivo e reprodutivo. Por outro lado, animais alojados em condições térmicas hostis, necessitam gastar energia para aquecer ou resfriar o corpo, tendo como consequência, piora no desempenho.

Nesse contexto, muitas alternativas foram propostas para utilizar ferramentas que envolvam ajustes nutricionais para mitigar efeitos do estresse por calor em suínos. Na maior parte das opções disponíveis, o processo gira em torno da redução do incremento calórico das formulações, de modo a reduzir a carga de calor produzida pelo animal e, conseqüentemente, a ser dissipada para o ambiente.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos do estresse agudo por calor, sobre o desempenho e parâmetros fisiológicos de suínos em crescimento, os efeitos do estresse crônico por calor, sobre o desempenho, características de carcaça e parâmetros fisiológicos de suínos nas fases de crescimento e terminação, além de desenvolver um modelo *fuzzy* para predição da temperatura retal de suínos submetidos a estresse agudo e crônico por calor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ambiente térmico

O estresse térmico ocorre na maioria das criações de suínos no Brasil, uma vez que a genética dos animais é formada por raças adaptadas a clima temperados. A introdução desses novos genótipos aumenta a preocupação com o ambiente térmico onde os suínos vivem, pois essas linhagens modernas apresentam maior deposição de carne que tem sido associada à maior produção de calor metabólico tornando-as mais sensíveis ao calor tropical (WHITE et al., 2008).

Suínos mais pesados são mais susceptíveis ao estresse por calor, por apresentarem alta ingestão de energia e com uma menor capacidade de dissipar o calor. Outros fatores relacionados às características dos animais como genótipo, sexo ou condições de criação como alimentação e habitação, também podem influenciar o efeito do ambiente térmico sobre o desempenho animal. A diminuição na taxa de crescimento relacionado com o estresse térmico é resultado do declínio na ingestão de alimentos, embora pequena melhora na conversão alimentar em alta temperatura tem sido relatada por alguns autores (COLLIN et al., 2001c; RENAUDEAU et al., 2011).

As exigências nutricionais dos animais podem ser influenciadas pela fase de desenvolvimento do animal, pelo nível de consumo de ração, pela concentração de nutrientes da dieta e pelo ambiente térmico ao qual o animal é submetido (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1998). Tem se constatado que as altas temperaturas são associadas à redução do desempenho devido à diminuição do consumo de alimento e ao custo energético associado à

dissipação do calor, e os suínos que apresentam elevadas taxas de deposição de proteína corporal são os mais prejudicados pelo calor (PAIANO et al., 2007).

Collin et al. (2001a), Kerr et al. (2003) e Manno et al. (2006), observaram redução no ganho de peso diário e na eficiência alimentar com o aumento da temperatura ambiente. Tem-se constatado ainda que suínos mais leves possam responder de forma diferenciada quando submetidos ao mesmo ambiente adverso em relação aos suínos mais pesados (MANNO et al., 2006). Todavia, suínos em fase de crescimento modificam seu comportamento, as respostas fisiológicas e o desempenho, quando submetidos a temperaturas ambientais elevadas (KIEFER et al., 2009). Os mesmos autores observaram que os animais permaneceram a maior parte do tempo na posição deitado e dormindo e conseqüentemente houve a redução da atividade física exploratória dos suínos, quando submetidos ao ambiente com temperatura ambiental elevada.

Sabendo-se da importância do ambiente térmico na criação de suínos, a caracterização térmica da instalação torna-se indispensável nos sistemas de produção. Com este objetivo, a utilização de índices bioclimatológicos na suinocultura permite maior precisão na caracterização bioclimática e também melhor comparação ambiental com animais mantidos em diferentes regiões (FERREIRA, 2011). De acordo com Damasceno et al. (2010), estes índices são utilizados para quantificar e qualificar conforto e desconforto térmico animal, que por sua vez, pode estar relacionado às respostas fisiológicas e desempenho produtivo dos animais, sendo um método de avaliação indireto e relativamente prático. Orlando et al. (2007b) descrevem como faixa ideal de temperatura no conforto térmico para suínos na fase de crescimento, de 16 a 24° C. De acordo com Kiefer et al. (2010), a temperatura proposta como ideal para suínos em terminação é de 18 a 23°C. A umidade relativa média do ar recomendada para a criação de suínos é de 70 a 80%, conforme apresentado por Tolon (2010).

Índices derivados de medições meteorológicas foram revistos por Hahn et al. (2009). Esses índices variam de uma simples medição de temperatura ambiente a um índice que leva em consideração os efeitos da temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento. Segundo Ferreira (2011), os valores de ITGU próximos de 80 podem caracterizar o efeito do estresse por calor em suínos na fase de terminação. Estudos conduzidos com suínos mantidos em condições de calor apresentaram valores semelhantes de ITGU conforme descrito por Ferreira et al. (2007) e Orlando et al. (2007b), sendo ambos em torno de 83, caracterizando estresse por calor para suínos. Outros valores de ITGU foram observados por Ferreira et al. (2007), Kiefer et al. (2005), Orlando et al. (2007b) e Tavares et al. (2000), sendo respectivamente 81,1; 82,8; 82,2 e 82,9 caracterizando o estresse por calor para suínos em fase de terminação.

2.2 Estresse agudo ou crônico por calor

As respostas termorregulatórias dos suínos em longo prazo, no que tange à aclimação ao calor são acompanhadas de desempenho reduzido. Essas respostas ocorrem durante toda vida do animal e incluem na redução da taxa metabólica, alterações nos sistemas cardiovascular e respiratório, alteração na resposta vasomotora, mudanças no comportamento e resposta na morfologia geral do animal. No entanto, Renaudeau et al. (2010) mostraram que o tempo para a total aquisição da aclimação térmica leva várias semanas e varia de acordo com a magnitude do desafio de temperatura.

Dados sobre os efeitos do clima quente na saúde de suínos são escassos. Usando um modelo de baia suja para estimular o sistema imune em suínos, foi relatado uma deterioração do estado sanitário, em clima tropical, enfatiza o

efeito negativo da estação quente no consumo de ração e desempenho produtivo (RENAUDEAU, 2008a).

Da mesma forma, os resultados encontrados na literatura sobre alterações do perfil plasmático de triiodotironina (T_3) em diversas espécies domésticas, submetidas ao estresse por calor agudo ou crônico, têm sido pouco conclusivos. Algumas pesquisas realizadas com animais domésticos (RENAUDEAU et al., 2003; STARLING et al., 2005) submetidos ao estresse por calor têm relatado decréscimo das concentrações plasmáticas de T_3 , enquanto outras não conseguiram mostrar qualquer alteração hormonal (COLLIN et al., 2002). Storti et al. (2013) coletaram amostras sanguíneas no início e final das fases de crescimento e terminação em suínos de linhagem comercial, verificando que os valores de T_3 em suínos no início da fase de crescimento ($1,85 \pm 0,75$), são maiores que na terminação ($1,32 \pm 0,76$; 8). Também verificaram que os hormônios tireoideanos estão associados com o peso inicial e final, espessura de toucinho na última lombar, pH45min e pH24h de suínos em crescimento-terminação.

2.3 Termorregulação em suínos

A temperatura é um dos principais componentes ambientais do sistema produtivo dos suínos. Diante da variação de temperaturas, os suínos podem utilizar de mecanismos fisiológicos e comportamentais, coordenados pelo sistema nervoso central, para manter constante sua temperatura corporal. Esses mecanismos visam manter o balanço de energia, por meio de ajustes na taxa de produção de calor (termogênese) e dissipação de calor (termólise) corporal (ABREU et al., 2002).

Os suínos, como animais homeotérmicos, possuem um sistema de controle da homeostase, que é acionado quando o ambiente externo apresenta situações desfavoráveis (FERREIRA, 2000). Essas situações são percebidas pelos termorreceptores periféricos e analisadas por mecanismos neurais, que tomam a decisão adequada e ativam os agentes específicos (FERREIRA, 2000). De acordo com Abreu et al. (2002), pelo fato de os suínos possuírem poucas glândulas sudoríparas funcionais, a principal forma de dissipar o calor latente é através do trato respiratório.

Os suínos produzem calor como resultado do processo de manutenção e produção. A eficiência da produção somente é possível se a produção de calor proveniente dos processos metabólicos de manutenção e produção for mínima e se as condições de alojamento e temperatura ambiental não interferirem nesse processo (ORLANDO et al., 2001). A faixa de temperatura na qual há um nível fixo de consumo de alimento, a produção de calor é mínima e constante, é definida como zona termoneutra ou zona de conforto térmico (ZTN). Os limites inferiores e superiores da ZTN são chamados temperatura crítica inferior (TCI) e temperatura crítica superior (TCS), respectivamente. Abaixo da TCI a perda de calor sensível é predominante, enquanto acima da TCI a dissipação de calor evaporativa, passa a ser a mais importante à medida que a temperatura aumenta.

Segundo Ferreira (2005), do ponto de vista fisiológico e etológico, o suíno é uma espécie sensível às diversidades climáticas brasileiras, com predominâncias de dias quentes e que os índices de ambientes térmicos permitem uma avaliação da situação ambiental na suinocultura e comparação de dados zootécnicos de diferentes regiões do país.

A preocupação com o ambiente proporcionado aos suínos e sua capacidade termorreguladora vem assumindo importância cada vez maior, principalmente em regiões quentes. Assim, a termorregulação no suíno é

alcançada através de mecanismos, como: alteração do consumo alimentar, alteração do fluxo sanguíneo entre os tecidos, mudança na atividade física, alteração da frequência respiratória, etc... Segundo Brown-Brandl et al. (2004) as novas linhagens de suínos estão mais susceptíveis ao estresse por calor, em virtude do calor adicional produzido para o maior crescimento, apresentado pelas novas linhagens.

Segundo Ferreira (2000), os hormônios produzidos pela hipófise são agentes químicos no processo de termorregulação. A partir desses agentes, podem ser iniciadas as respostas fisiológicas e também alteradas as taxas de ocorrência a determinadas reações. Os hormônios são carreados pelo sangue para todo o corpo, o que facilita a termorregulação. Resultados de pesquisas nos mostram que é alterada a atividade da tireóide quando os animais são expostos a temperaturas acima e abaixo das recomendadas, o ambiente quente diminui o metabolismo e as temperaturas frias aumentam, em várias espécies. Alguns estudos com monogástricos têm mostrado que a motilidade do trato gastrointestinal é reduzida pelo hipotireoidismo e aumentada pela administração de hormônios da tireóide. Tal fato evidencia que a mudança na atividade da tireóide, por causa da exposição do animal às diferentes temperaturas ambientais, pode estar associada à mudança da motilidade intestinal, o que influencia a taxa de passagem da digestão e resulta em alteração na digestibilidade dos nutrientes da ração (FERREIRA, 2000).

O centro nervoso dos suínos é extremamente sensível a mudanças na temperatura do sangue que passa através deles e aos impulsos nervosos que chegam da superfície do corpo em contato com o ar ou alguns objetos, cuja temperatura seja capaz de influenciá-los (SOUZA, 2002).

2.4 Comportamento

Com crescente preocupação nos meios técnico-científico, motivados pela cobrança do mercado consumidor, o tema bem-estar animal, tem se destacado no complexo agroindustrial da carne suína, sendo considerado, juntamente com as questões ambientais e a segurança alimentar, os três maiores desafios da agricultura moderna.

Machado Filho et al. (2000), descreveram que a ausência de bem-estar animal e sofrimento não podem ser confundidos com crueldade animal, uma vez que a crueldade animal é deliberada, sádica, inútil e desnecessária influição de dor, sofrimento e negligência desnecessária aos animais.

O grau de satisfação do animal com seu ambiente é algo de difícil mensuração, mas a manifestação de certos comportamentos se constitui em evidências de desconforto físico e mental. Segundo Broom et al. (2004), o bem-estar animal pode ser evidenciado através de comportamentos anormais, tais como estereotípias, automutilação, canibalismo e comportamento excessivamente agressivos podem indicar que o indivíduo em questão, encontra-se em condições de baixo grau de bem-estar.

Os indicadores comportamentais são baseados especialmente na ocorrência de comportamentos anômalos ou agressivos e de comportamentos que se afastam do comportamento no ambiente natural (MACHADO FILHO et al. 2000). Como por exemplo, a motivação para comer. Em fêmeas suínas sem comida leva à mordedura de barras, o que expressa monotonia ou fome (estar nutrida não é igual a estar saciada).

Outro tipo de comportamento foi verificado por Kiefer et al. (2009), onde suínos mantidos em ambiente de alta temperatura apresentaram mais tempo deitados próximo ao bebedouro, onde a ingestão de água foi maior,

reduziram o consumo e tiveram menor atividade em pé, que conseqüentemente influenciou o desempenho dos animais.

2.5 Parâmetros fisiológicos

A adaptação fisiológica ao calor pode ser conceituada como um processo de ajustamento do próprio animal ao ambiente. O aumento da freqüência respiratória, aumento da temperatura da pele, da temperatura retal (corporal) e dos batimentos cardíacos, cumprem um importante papel na termorregulação dos suínos (BARROS et al., 2010).

Os suínos não contam com a taxa de sudação por possuírem uma capa de tecido adiposo subcutâneo e suas glândulas sudoríparas serem queratinizadas, mas fazem vasodilatação periférica que auxiliam na dissipação do calor através de calor sensível por convecção. Em situações de estresse por calor, os suínos encontram bastante dificuldade ao se adaptar ao ambiente, pois possuem um metabolismo elevado, não possuem um sistema termorregulador eficiente, o que impossibilita a sudorese. Assim, o suíno encontra maior dificuldade em se adaptar aos ambientes com temperaturas elevadas (RODRIGUES et al., 2010).

Além das adaptações fisiológicas citadas anteriormente, outro componente que também é utilizado para indicação do estado de estresse dos animais é o peso dos órgãos. A redução do peso dos órgãos causada pela temperatura elevada constitui, provavelmente, um ajuste fisiológico dos animais na tentativa de reduzir a produção de calor endógeno (ORLANDO et al., 2007).

2.5.1 Frequência respiratória (FR)

O primeiro sinal visível de animais submetidos a estresse por calor é o aumento da frequência respiratória. Nos suínos, a dissipação do calor por evaporação fica mais limitada às perdas respiratórias do que a cutâneas. Quando a temperatura ambiente se aproxima de 30°C, para tentar manter sua temperatura corporal interna constante, o suíno diminui a produção de calor corporal, aumenta a frequência respiratória para que possa perder mais calor por evaporação (COLLIN et al., 2001b).

A FR normal dos suínos em conforto oscila entre 15 a 25 movimentos por minuto (RADOSTITS et al., 2002). Em situação de estresse por calor, ocorre aumento da frequência respiratória para acentuar a dissipação de calor por evaporação. Quando a FR excede 40 movimentos por minuto, é indicativo de estresse por calor (ROZEBOOM; SEE; FLOWERS, 2000).

O aumento da frequência respiratória, devido a resposta fisiológica ao estresse por calor, resulta em perdas excessivas de dióxido de carbono (CO₂). Assim, a pressão parcial de CO₂ (pCO₂) diminui, levando à queda na concentração de ácido carbônico (H₂CO₃) e hidrogênio(H⁺). Em resposta, os rins aumentam a excreção de HCO₃⁻ e reduzem a excreção de H⁺ na tentativa de manter o equilíbrio ácido-base. Com isso, a maioria das atividades do metabolismo intermediário fica comprometida e, enquanto não houver o retorno do equilíbrio homeostático, o desempenho é prejudicado.

O distúrbio ácido-base primário é indicado pela determinação do pH do sangue e dos componentes respiratório (pCO₂) e metabólico (HCO₃). Os valores normais de pH do sangue dos suínos encontram-se entre os limites de pH (7,35 e 7,45) e os extremos compatíveis com a vida, são dados por pH de 6,8 e 7,8 (BORGES et al., 2003).

A manutenção do equilíbrio ácido-base é de importância fundamental para os processos fisiológicos e bioquímicos do organismo, considerando-se que as enzimas celulares, as trocas eletrolíticas e a manutenção do estado estrutural das proteínas do organismo são diretamente afetadas por pequenas variações no pH sanguíneo. Os sistemas tampão são os responsáveis pela manutenção desse pH dentro de valores compatíveis com a sobrevivência, sendo os principais tampões o tampão bicarbonato/ácido carbônico ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$), responsável por 75% da capacidade tamponante do plasma sanguíneo (MACARI et al., 2004).

O sódio (Na^+), o potássio (K^+) e o cloro (Cl^-) são íons fundamentais na manutenção da pressão osmótica e equilíbrio ácido-base dos líquidos corporais.

O K^+ é o principal cátion do fluido intracelular, enquanto que o Na^+ e o Cl^- são os principais íons do fluido extracelular. Em condições ótimas, os conteúdos de água e eletrólitos são mantidos dentro de limites estreitos. Mas a perda de eletrólitos (Na^+ ou K^+), sem alteração no conteúdo de água do corpo, reduz a osmolalidade destes fluídos. O K^+ está envolvido em muitos processos metabólicos, incluindo o antagonismo arginina-lisina, condução nervosa, excitação, contração muscular, síntese de proteínas teciduais, manutenção da homeostasia intracelular, reações enzimáticas, balanço osmótico e equilíbrio ácido-base (BORGES et al, 2003).

Os níveis de Na^+ , K^+ e Cl^- do plasma são afetados pelo estresse por calor. A concentração de K^+ e Na^+ diminui à medida que a temperatura aumenta, enquanto que o Cl^- aumenta, o que provoca uma redução na excreção de H^+ e na reabsorção de HCO_3^- pelos rins. Isto poderia contribuir com uma acidificação do sangue, e esta parece ser uma resposta apropriada à alcalose. Os níveis séricos de K^+ também são influenciados pelo calor, sendo a excreção influenciada por fatores hormonais (aldosterona, hormônio antidiurético - ADH e deoxicorticosterona), pelo equilíbrio ácido-base e pelo balanço de cátions. A

diminuição dos níveis plasmáticos de K^+ durante episódios de estresse por calor é atribuída a um aumento na excreção deste íon durante o estresse crônico e um aumento do K^+ intracelular comumente encontrado durante o estresse agudo (BORGES et al., 2003).

2.5.2 Temperatura da pele

No estresse por calor, a pele dos suínos tem a sua temperatura elevada devido a um aumento do sangue periférico em um esforço, para aumentar a dissipação sensível de calor para o ambiente (WILLIAMS, 2009). Neste sentido, mudanças na temperatura da pele resultantes de respostas vasomotoras são mais intensas nas extremidades que nas regiões centrais do corpo (ANDERSEN et al., 2008).

Nunes et al. (2014), observaram efeito do uso de cama de maravalha em aspectos bioclimáticos da criação de porcas gestantes. Fêmeas gestantes alojadas em baias com cama de maravalha aumentaram de 33,95 para 34,47°C a sua temperatura superficial, comparado com os animais alojados sem cama de maravalha.

2.5.3 Temperatura retal

A temperatura corporal (retal) é o resultado entre a energia térmica produzida e a dissipada. Um aumento desta última significa que o animal, não está conseguindo dissipar calor suficientemente (SANTOS et al., 2006). O aumento na TR indica que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes para manter a homeotermia (FERREIRA, 2002), por isso, a

temperatura retal é usada, frequentemente, como índice de adaptação fisiológica ao ambiente quente.

Geralmente, a temperatura retal nos suínos situa-se entre 38,5 e 39°C, apresentando variações dentro das diferentes categorias (SOUSA, 2004). Para os suínos, quando sua temperatura retal atinge 44,4°C, eles podem morrer por hipertermia.

Kiefer et al. (2010) observaram efeito do ambiente térmico sobre a temperatura retal dos suínos. Animais submetidos a estresse por calor, em temperatura de 31,8°C e umidade relativa do ar de 72,6% apresentaram temperatura retal superior em relação aos submetidos ao ambiente de conforto térmico (22°C e 70% UR).

2.6 Desempenho produtivo

No Brasil, as médias de temperaturas máximas e mínimas do ar estão, normalmente, acima do limite de temperatura crítica superior para as categorias de crescimento e terminação, tendo como consequência a diminuição do desempenho dos animais. Pouco adianta adquirir animais geneticamente melhorados, fornecer alimentação de alta qualidade se o ambiente não estiver adequado para o animal exercer o seu potencial genético produtivo. Diversas pesquisas mostram que o desempenho do suíno é prejudicado em temperaturas acima de 23°C (FERREIRA, 2011; QUINIOU et al., 2001; RENAUDEAU et al., 2008b, 2010).

O ambiente térmico influencia o consumo de ração, a taxa de eficiência e o ganho de peso dos animais, provocando assim, modificação na composição de sua carcaça (RODRIGUES et al., 2012). A redução de consumo de ração pelo animal é uma forma de reduzir o calor gerado nos processos de digestão,

absorção e metabolismo dos nutrientes, também conhecido como incremento calórico. Manno et al. (2006), estudando os efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 a 60 kg, verificaram que o consumo de ração pelos animais sob estresse por calor (32°C) foi 12% inferior ao daqueles em conforto térmico (22°C), recebendo ração a vontade.

A diminuição na taxa de crescimento relacionado ao estresse por calor parece estar relacionada diretamente ao declínio na ingestão de alimentos, embora possa ocorrer pequena melhora na conversão alimentar, como relatado em alguns estudos (COLLIN et al., 2001c; RENAUDEAU et al., 2011). Uma diminuição no consumo de alimentos pode influenciar o desempenho, mesmo que os animais não apresentem piora na conversão alimentar (FERREIRA, 2011).

Em condições de estresse por calor ambiental, os suínos tendem a perder a eficiência de utilização da energia devido à ativação termorregulatória (QUINIOU et al., 2000). Essa resposta, se comparada à termoneutralidade, reduz a taxa de crescimento e a eficiência de utilização do alimento. Quiniou et al. (2000), observaram uma relação direta entre temperatura do ar, consumo de ração e peso vivo em suínos nas fases de crescimento e terminação, trabalhando de maneira cíclica durante o período experimental com temperaturas de 12, 14, 16, 19, 22, 25, 27 e 29°C e concluíram que os suínos mais pesados são mais sensíveis à temperaturas elevadas.

Kerr et al. (2003), em um trabalho onde suínos em crescimento foram alojados em dois ambientes, 23 e 33°C, observaram que os animais alojados em ambiente de 33°C tiveram redução de 14,2 % no consumo de ração diário e 20,6 % no ganho de peso diário, resultando em piora na conversão alimentar, em relação àqueles alojados a 23°C. Tavares et al. (2000) avaliaram a influência da temperatura sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg e constataram que

os animais alojados a temperatura ambiente de 32°C apresentaram redução de 13,1 % e 13,4 % do consumo de energia digestível e proteína diários respectivamente, sendo este fato decorrente do menor consumo de ração por estes animais, quando comparados aos alojados em ambiente de 22°C. Os mesmos autores observaram piora da conversão alimentar (2,46 x 2,58) dos animais submetidos ao calor. Resultados semelhantes também foram observados por Kiefer et al. (2009, 2010).

2.7 Características de carcaça e peso dos órgãos

As alterações no desempenho dos animais podem influenciar as características de carcaça. Suínos submetidos a estresse térmico sofrem alteração nas taxas de deposição proteica e lipídica (QUINIOU et al., 2000).

Estudos para prever a quantidade de carne nas carcaças têm sido conduzidos por vários pesquisadores, a partir dos quais se têm gerado equações de regressão em função do genótipo. Avaliando sistemas de classificação de carcaça, Pomar, Fortin e Marcoux (2001), propuseram que os modelos que usam espessura de toucinho em combinação com profundidade do músculo, sejam usados para prever o rendimento ou a percentagem de carne na carcaça.

Segundo Noblet et al. (2001) suínos que foram submetidos a estresse por calor, demonstram ter maior comprimento de carcaça comparado aos suínos mantidos em ambiente frio, devido aos mecanismos de adaptação que facilitam a dissipação de calor através do aumento da área de superfície corporal. De forma semelhante, Witte et al. (2000), observaram aumentos no comprimento de carcaça de suínos em terminação, criados em condições de calor comparados a suínos mantidos em condições termoneutras.

Kiefer et al. (2010), em um estudo conduzido com suínos em terminação mantidos no calor, verificaram que os animais apresentaram carcaças mais leves, de maior rendimento e com menor percentual de carne em relação aqueles mantidos em conforto. Entretanto, o calor promoveu redução no tamanho das carcaças com menor participação proporcional das vísceras (KIEFER et al., 2009), provavelmente, como forma alternativa do organismo de reduzir a produção de calor pelos tecidos que são metabolicamente ativos.

O efeito da temperatura ambiental sobre as características de carcaça pode ser influenciado pelo regime alimentar. Le Bellego, Milgen e Noblet (2002) verificaram que a redução de proteína bruta da dieta com a suplementação de aminoácidos aumentou a deposição de gordura na carcaça de suínos em terminação, mantidos em ambiente de alta temperatura. A redução do excesso de aminoácidos aumentou o conteúdo de energia líquida, em razão do menor incremento calórico e gasto energético para catabolismo. Assim, a energia poupada foi depositada na forma de gordura.

Entretanto, Orlando et al. (2007a) não constataram variações nas características de carcaça para suínos em terminação, mantidos em ambiente de alta temperatura quando se reduziu o teor de PB da dieta em 5,2 pontos percentuais com suplementação de aminoácidos essenciais.

Fatores nutricionais como a variação dos teores de proteína e a inclusão de óleos e/ou gorduras, são adotados com a finalidade de diminuir os efeitos do calor ambiente, devido ao seu menor incremento calórico (IC). Porém, nem sempre são alcançados melhores resultados de características de carcaça. Spencer et al. (2005), constataram que suínos mantidos no ambiente de calor que receberam dietas com inclusão de óleo de soja a 8 %, apresentaram maior espessura de toucinho em relação aos animais alimentados com dietas contendo 1 % de óleo de soja independente da redução do teor de PB.

Em uma revisão, Brown-Brandl et al. (2004) concluíram que a produção de calor dos suínos terminados modernos apresentaram um aumento de 18,1% (aproximadamente 1% ao ano) de 1984 a 2002. De acordo com Ball et al. (2008), para cada 2,8% de aumento no percentual de tecido magro, a produção de calor aumenta em torno de 18,7%. Essa produção de calor representa um impacto quando não há manejo adequado que possibilite aos animais dissiparem o calor excedente em períodos quentes, levando-os a promover mudanças na ingestão de alimentos, para redução do incremento calórico.

Quanto ao peso e tamanho dos órgãos, estes também fazem parte do conjunto de alterações fisiológicas provocadas pela adaptação dos animais a diferentes temperaturas de ambiente, estando estas características ligadas às modificações das exigências nutricionais dos animais. Tavares et al. (2000) verificaram redução do peso relativo do coração, pulmão, fígado em animais que se adaptam em temperaturas elevadas.

No entanto Ferreira et al. (2007) e Orlando et al. (2007) em pesquisa com suínos em crescimento mantidos em ambiente quente, consumindo rações com diferentes níveis de PB suplementadas com aminoácidos sintéticos, não observaram efeito significativo sobre o peso relativo do fígado, rins e estômago. Segundo estes autores, a redução no peso dos órgãos pode também estar associada ao plano nutricional no qual os animais são submetidos.

2.8 Efeito do calor a nível celular e molecular

O sistema sanguíneo é também sensível às mudanças de temperatura, constituindo um importante indicador das respostas fisiológicas dos animais a agentes estressores. Animais criados sob diferentes condições climáticas e de manejo podem apresentar evidentes variações quantitativas e morfológicas dos

elementos constituintes do hemograma como: eritrócitos, hematócrito, concentração de hemoglobina, volume globular médio, contagem total e diferencial de leucócitos (neutrófilos, linfócitos, eosinófilos, basófilos e monócitos) (BIRGEL JÚNIOR et al., 2001).

Outro meio de se avaliar o bem estar de suínos, seria a mensuração da relação neutrófilos/linfócitos no sangue dos animais. Como apresentado por Quiñonero et al. (2009), os corticosteroides são indicadores de estresse fisiológico mais eficientes em curto prazo, enquanto que a proporção neutrófilo/linfócito, é bom indicador de estresse em médio e longo prazo.

O estresse dos animais é um estímulo potente para a secreção do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) que, por sua vez, estimula a secreção de glicocorticóides pela glândula adrenal (HADLEY et al., 2007). O aumento da secreção de glicocorticóides pode promover a lise do tecido linfático e reduzir o número de linfócitos e de eosinófilos circulantes (DICKSON, 2006).

O estresse por calor promove aumento na temperatura corporal, estimulando a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), causando danos oxidativos (OZAWA et al., 2002). O dano oxidativo é um forte indicador do estado de saúde e bem-estar dos animais em relação ao envelhecimento, estresse, estado nutricional e doença. O estado catabólico provoca mobilização dos tecidos, aumento da produção de ROS, causando aumento do estresse oxidativo (BERCHIERI-RONCHI et al., 2011; BERNARDI et al., 2008).

O estresse por calor induz a expressão de genes, os quais fazem com que as células estressadas produzam grande quantidade de uma determinada classe de proteínas, que são chamadas de Heat Shock Proteins (HSP) ou proteínas de choque térmico. As proteínas de choque

térmico (HSP) ou também chamadas de chaperonas foram descobertas em experimentos, em que células foram submetidas a altas temperaturas (42°C para células que vivem a 37°C) (RODRIGUES et al., 2010). Essas proteínas foram encontradas no citossol, nas mitocôndrias e no retículo endoplasmático estando associadas a funções importantes, como impedir que várias proteínas malformadas ou desnaturadas pelo calor formem agregados, que além de inúteis, podem ser muito nocivas às próprias células (RODRIGUES et al., 2010).

As chaperonas, de acordo com seu tamanho e peso molecular, foram classificadas em vários grupos (HSP 40, 60, 70, 90 etc.), sendo que no calor, as encontradas em maior quantidade foram as HSP70 (MAYER et al., 2005). Este mecanismo explica o porquê de alguns indivíduos serem geneticamente propensos a desenvolver síndromes de estresse térmico em função da inabilidade de seu organismo em se proteger por meio da produção das proteínas de choque térmico (MCARDLE et al., 2003).

2.9 Inteligência artificial

Os sistemas de automação têm grande potencial de uso na agropecuária, utilizados na agricultura e zootecnia de precisão, para automatizar processos, monitorar com eficácia os sistemas, otimizar a produção e reduzir perdas. (PANDORFI et al., 2012). Um sistema bem elaborado pode responder a situações de adversidade de forma inteligente, com a incorporação de ferramentas computacionais, tais como lógica *fuzzy* e redes neurais artificiais,

que propiciam o melhor entendimento de determinada problemática de forma excelente (PANDORFI et al., 2012).

Segundo Pandorfi et al. (2012), a teoria *fuzzy* se baseia no princípio de que o pensamento humano é estruturado não em números, mas sim em classes de objetos, cuja transição entre pertencer ou não a um conjunto é gradual e não abrupta. A utilização da lógica *fuzzy* é especialmente adequada a problemas de natureza biológica, pois estes apresentam as seguintes características: o processo é definido de maneira vaga, imprecisa, incerta; há ocorrência de situações de difícil estimativa ou avaliação dos parâmetros que definem o processo; o sistema é não linear e variante no tempo; há ocorrência de situações nas quais é difícil o registro do valor das variáveis; as medidas podem ser pouco confiáveis.

Além disso, com a utilização de regras *fuzzy* e variáveis linguísticas, o sistema monitorado passa a desfrutar de um conjunto de possibilidades, a saber: simplificação do modelo do processo; melhor tratamento das imprecisões inerentes aos sensores utilizados; facilidade de especificação das regras de controle, em linguagem próxima à natural; satisfação de múltiplos objetivos de controle; facilidade de incorporação do conhecimento de especialistas humanos (PANDORFI et al., 2012).

O uso da teoria dos conjuntos fuzzy permitiu inferir dados ambientais resultantes do setor de gestação, com 24 matrizes primíparas, 12 fêmeas alojadas em baias individuais e 12 em baias coletivas, como estabelecido pela literatura por intermédio de base de regras, para a determinação do conforto térmico ambiental, aplicado à matrizes na fase de gestação (PANDORFI et al., 2007).

3 CONSIDERAÇÃO FINAL

De acordo com a literatura, o estresse por calor compromete o desempenho, a fisiologia e a saúde de suínos. Por isso, estudos que contemplem os efeitos do estresse por calor em suínos, poderão contribuir para indicar novas possibilidades de concepções arquitetônicas que possibilitem maior amortecimento térmico no interior das instalações, com vistas ao manejo mais adequado em situações de flutuações rápidas de temperatura ambiental, como se tem verificado no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. T. et al. Nutrição em climas quentes. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 1., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s. n.], 2002. p. 200-217.
- ANDERSEN, H. M. L. et al. The ear skin temperature as an indicator of the thermal comfort of pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 113, p. 43-56, 2008.
- BALL, R. O. et al. Nutrient requirements of prolific sows. **Advances in Pork Production**, Edmonton, v. 19, p. 223- 237, 2008.
- BARROS, P. C. et al. Aspectos práticos da termorregulação em suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa, MG, v. 7, n. 3, p. 1248-1253, 2010.
- BERCHIERI-RONCHI, C. B. et al. Oxidative stress status of highly prolific sows during gestation and lactation. **Animal**, Cambridge, v. 5, n. 11, p. 1774-1779, 2011.
- BERNARDI, F. et al. Plasma nitric oxide, endothelin-1, arginase and superoxide dismutase in pre-eclamptic women. **Journal of Obstetrics and Gynaecology Research**, Chichester, v. 34, p. 957-963, 2008.
- BIRGEL JÚNIOR, E. H. et al. Valores de referência do eritrograma de bovinos da raça Jersey criados no Estado de São Paulo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 53, n. 2, p. 164-171, 2001.
- BORGES, S. A. et al. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 5, p. 975-981, 2003.
- BROOM, D. M. et al. Bem-estar animal: conceito e questões relacionadas: revisão. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 9, p. 1-11, 2004.
- BROWN-BRANDL, T. M. et al. Thermoregulatory profile of a newer genetic line of pigs. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 71, n. 23, p. 253-260, out. 2004.

COLLIN, A. et al. Effect of high temperature and feeding level on energy utilization in piglets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, p. 1849-1857, 2001a.

COLLIN, A. et al. Effects of high temperature on body temperature and hormonal adjustments in piglets. **Reproduction, Nutrition, Development**, Paris, v. 42, n. 1, p. 45-53, 2002.

COLLIN, A. et al. Effect of high temperature on feeding behavior and heat production in group-housed young pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 86, p. 63-70, 2001b.

COLLIN, A. et al. Modelling the effect of high, constant temperature on food intake in young growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, p. 519-527, 2001c.

DAMASCENO, F.A. et al. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 1031-1038, 2010.

DICKSON, W. M. Glândulas endócrinas. In: SWENSON, M. J.; REECE, W. O. (Ed.). **Dukes: fisiologia dos animais domésticos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. p. 597.

FERREIRA, R. A. Criação de suínos em clima quente. In: SEMANA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA, 2., e SEMANA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO SUDOESTE DA BAHIA, 2., 2002, Itapetinga. **Anais...** Itapetinga: UESB, 2002. v. 1, p. 73-101.

FERREIRA, R. A. **Efeitos do clima sobre a nutrição de suínos**. 2000. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/abravessc/pdf/Memorias_2000/1_Rony_Ferreira.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2015.

FERREIRA, R. A. et al. Redução da proteína bruta e suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados dos 30 aos 60 kg mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, p. 818-824, 2007.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. 2. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Rome, 2009. Disponível em: <www.fao.org.br>. Acesso em: 21 nov. 2015.

HADLEY, M. E. et al. **Endocrinology**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007.

HAHN, G. L. et al. Thermal indices and their applications for livestock environments. In: SHAZER, J. A. (Ed.). **Livestock energetics and thermal environmental management**. St Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. p. 113-130.

KIEFER, C. et al. Exigência de metionina mais cistina digestíveis para suínos machos castrados mantidos em ambiente de alta temperatura dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 104-111, 2005.

KIEFER, C. et al. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 221, p. 55-64, 2009.

KIEFER, C. et al. 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.

KERR, B. J. et al. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environment temperature on performance, body composition, organweights and total heat production of growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. 1998-2007, 2003.

LE BELLEGO, L.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Effect of high temperature and low-protein on the performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, n. 3, p. 691-701, 2002.

MACARI, M. et al. **Produção de frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2004.

MACHADO FILHO, L. C. P. et al. Bem-estar dos suínos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 5., 2000, São Paulo. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. v. 5, p. 70-82.

MANNO, M. C. et al. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 471-477, 2006.

MAYER, M. P. et al. Hsp70 chaperones: cellular functions and molecular mechanism. **Cellular and Molecular Life Science**, Cham, v. 62, p. 670-684, 2005.

MCARDLE, W. D. et al. Exercício e estresse térmico. In: MCARDLE, W. D. et al. **Fisiologia do exercício: energia nutrição e desempenho humano**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. p. 636-667.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Effect of environmental on the nutrition requirements of domestic animals**. Washington, 1998. 52 p.

NOBLET, J. et al. Effect of reduction of dietary protein level and fat addition on heat production and energy balance in growing pigs. **Animal Research**, Les Ulis, v. 50, p. 227-238, 2001.

NUNES, M. L. A. et al. Physiological evaluation of heat stress in gestating sows under different housing systems in bedding and concrete floor. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 1-7, 2014.

ORLANDO, U. A. D. et al. Níveis de proteína bruta da ração para leitões dos 30 aos 60 kg mantidas em ambiente de conforto térmico (21°C). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, p. 1760-1766, 2001.

ORLANDO, U. A. D. et al. Níveis de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em dietas para leitões dos 60 aos 100 kg mantidas em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 1069-1075, 2007a.

ORLANDO, U. A. D. et al. Níveis de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para leitões dos 30 aos 60 kg mantidas em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1573-1578, 2007b.

OZAWA, M. et al. Developmental competence and oxidative state of mouse zygotes heat-stressed maternally or in vitro. **Reproduction**, Cambridge, v. 124, p. 683-689, 2002.

PAIANO, D. et al. Comportamento de suínos alojados em baias de piso parcialmente ripado ou com lâmina d'água. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 29, n. 3, p. 345-351, 2007.

PANDORFI, H. et al. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 83-92, 2007.

PANDORFI, H. et al. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 2, p. 558-568, 2012.

POMAR, C.; FORTIN, A.; MARCOUX, M. Estimação do rendimento magro de carcaças suínas com base em diferentes metodologias para medir espessura de gordura e músculo. In: CONFERÊNCIA VIRTUAL INTERNACIONAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE SUÍNA, 1., 2001, Concórdia. **Anais...** Concórdia: Embrapa, 2001. p. 169.

QUINIOU, N. J. et al. Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 85, p. 97–106, 2001.

QUINIOU, N. J. et al. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 63, p. 245-253, 2000.

QUIÑONERO, J. et al. Physiological indicators of stress in gestating sows under different cooling systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1549-1552, 2009.

RADOSTITS, O. M. et al. **Exame clínico e diagnóstico em veterinária**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

RENAUDEAU, D. et al. A meta-analysis of the effect of high ambient temperature on growing–finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, p. 2220-2230, 2011.

RENAUDEAU, D. et al. Effect of ambient temperature on mammary gland metabolism in lactating sows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, p. 217-231, 2003.

RENAUDEAU, D. Effect of housing conditions (clean vs. dirty) on growth performance and feeding behavior in growing pigs in a tropical climate. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 41, p. 559-563, 2008a.

RENAUDEAU, D. et al. Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs. **Animal**, Cambridge, v. 2, p. 1619–1626, 2008b.

RENAUDEAU, D. et al. Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, p. 3715-3724, 2010.

RODRIGUES, N. E. B. et al. Adaptações fisiológicas de suínos sob estresse térmico. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa, MG, v. 7, n. 2, p. 1197-1211, 2010.

RODRIGUES, N. E. B. et al. Reduction in the protein level and addition of oil in diets for finishing pigs under different temperatures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 8, 1878-1883, 2012.

ROZEBOOM, K.; SEE, T.; FLOWERS, B. **Coping with seasonal infertility in the herd**: part I. 2000. Disponível em: < http://mark.asci.ncsu.edu/Swine_News/2000/sn_v2303.htm>. Acesso em: 24 nov. 2015.

SANTOS, J. R. S. et al. Respostas fisiológicas e gradientes térmicos de ovinos das raças Santa Inês, Morada Nova e de seus cruzamentos com a raça Dorper às condições do semi-árido nordestino. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 995-1001, 2006.

SOUZA, P. **Avaliação do índice de conforto térmico para matrizes suínas em gestação segundo as características do ambiente interno**. 2002. 117 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SOUZA, P. **Suínos e climas quentes**: como promover o bem-estar aos animais? - Conforto térmico e bem estar na suinocultura. Lavras: UFLA, 2004. 69 p.

SPENCER, J. D. et al. Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, n. 2, p. 243-254, Feb. 2005.

STARLING, J. M. C. et al. Variação estacional dos hormônios tireoideanos e do cortisol em ovinos em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, p. 2064-2069, 2005.

STORTI, A. A. et al. Níveis de hormônios tireoideanos circulantes, desempenho e qualidade de carcaça e carne de suínos em crescimento e terminação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 139-144, 2013.

TAVARES, S. L. S. et al. Influência da temperatura sobre o desempenho e os parâmetros fisiológicos de suínos machos castrados dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 199-205, 2000.

TOLON, Y. B. et al. Ambiência térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2010.

WHITTE, H. M. et al. Effects of temperature stress on growth performance and bacon quality in grow-finish pigs housed at two densities. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, p. 1789-1798, 2008.

WILLIAMS, A. M. **Effects of heat stress on reproduction and productivity of primiparous sows and their piglets performance**. 2009. 136 p. Thesis (Master of Science) - University of Missouri, Columbia, 2009.

WITTE, D. P. et al. Effect of dietary lysine level and environment temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, n. 5, p. 1272-1276, May 2000.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1 ESTRESSE AGUDO POR CALOR COMPROMETE O DESEMPENHO DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO

O artigo foi editorado com base nas normas da revista "Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition".

Estresse agudo por calor compromete o desempenho de suínos em crescimento

Resumo: Foram utilizados 24 suínos machos castrados com o objetivo de determinar o efeito da temperatura sobre as respostas termorreguladoras durante o estresse agudo por calor. Os animais foram alojados em duas câmaras climatizadas com controle de temperatura, umidade e ventilação. Em uma das câmaras, os animais estavam em conforto térmico para a categoria (22°C) e em outra, eles estavam em estresse por calor (34°C). Em cada câmara foram alojados 12 suínos, sendo a parcela experimental representada por dois animais na baia, totalizando seis repetições. O período experimental teve duração de 48 horas. Os animais receberam água e ração à vontade. As condições ambientais das câmaras climáticas e os parâmetros fisiológicos de frequência respiratória, temperaturas corporais e superficiais foram monitoradas no início e a cada quatro horas durante o período experimental. Houve redução de 10% no consumo de ração no primeiro dia, 11,8 % no segundo dia e 10,5% no período total. O ganho de peso dos animais mantidos em estresse por calor foi em média 47% menor nas primeiras 24 horas, refletindo em redução média de 28,6 % no peso final equivalente a 400 g por animal alojado. Os animais expostos ao ambiente quente apresentaram aumento ($P<0,01$) da frequência respiratória e nas temperaturas superficiais. No ambiente de conforto térmico, a temperatura retal não foi afetada pelo tempo de exposição ($P=0,26$). Suínos em estresse agudo por calor apresentaram aumento da temperatura corporal em função do tempo ($P=0,03$), esses suínos, respondem de forma bifásica, expressando uma resposta rápida e outra lenta de aclimatação. O estresse agudo por calor comprometeu o desempenho e a fisiologia de suínos em crescimento.

Palavras-chaves: aclimatação, ambiência, estresse térmico, hipertermia, suinocultura, temperatura.

Abstract: This study evaluated 24 male neutered pigs in order to determine the effect of temperature on thermoregulatory responses during acute heat stress. The animals were housed in two climatic chambers with controlled temperature, humidity and ventilation. In one chamber the animals were in thermal comfort for the category (22 ° C) and in another chamber they were under heat stress (34 ° C). In each chamber were housed 12 pigs with an experimental plot represented by two animals per bay totaling six repetitions. The experiment lasted 48 hours. The animals had water and feed ad libitum. The environmental conditions of the climatic chambers and respiratory rate, body and surface temperature physiological parameters were monitored in the beginning and every four hours during the trial period. There was 10% reduction in feed intake on the first day, 11.8% in the second day and 10.5% in the total period. The weight gain of the animals kept under heat stress was about 47% lower in the first 24 hours, resulting in an average reduction of 28.6% on the final weight, which represented 400 g per housed animal. The animals exposed to the hot environment had respiratory rate and surface temperatures increased ($P < 0.01$). In the thermal comfort chamber, the rectal temperature was not affected by the exposure time ($P = 0.26$). Pigs in acute heat stress showed an increase of body temperature depending on the time ($P = 0.03$). Pigs in acute heat stress respond in a biphasic manner, expressing a quick and a slow acclimatization response. Acute heat stress impaired the performance and physiology of growing pigs.

Keywords: acclimation, ambience, heat stress, hyperthermia, pig farming, temperature.

Introdução

Em regiões de clima tropical, na maior parte do ano, os suínos estão sujeitos aos efeitos negativos do estresse por calor, sendo as fases de crescimento e terminação as mais prejudicadas em razão de sua alta termogênese. As previsões de mudanças climáticas globais projetam aumento de temperatura ambiente com o passar dos anos (IPCC, 2007), devido a isso, os problemas do calor relacionados ao estresse na produção animal tendem ainda a aumentar no futuro.

Em suínos, o efeito do estresse por calor sobre o desempenho foi estudado por Huynh et al. (2005), mostrando que o consumo voluntário foi reduzido, diminuindo por sua vez, o ganho de peso dos animais. Manno et al. (2005), demonstraram também, efeitos prejudiciais do calor sobre o desempenho dos suínos decorrente, principalmente da redução do consumo de ração. A redução no consumo de ração de suínos, sob estresse por calor é mecanismo chave para manter o equilíbrio térmico, especialmente quando a temperatura ambiente está acima do limite superior da zona de conforto térmico. Este é o mecanismo mais eficaz para reduzir a termogênese (Collin et al., 2001).

Suínos estressados pelo calor ativam mecanismos para evitar ou mitigar os danos celulares e proteger os órgãos vitais (Kregel e Moseley, 1996). Entretanto, há evidências de um padrão bifásico de aclimatação ao calor. No primeiro período, o suíno passa por

uma fase de adaptação caracterizada por modificações rápidas, incluindo alterações no consumo de ração e nas frequências respiratória e cardíaca (Huynh et al., 2005, Renaudeau et al., 2010). O segundo período é caracterizado pelo aumento da temperatura retal nas primeiras 24 horas de exposição com diminuição gradativa nos dias posteriores (Morrison e Mount, 1971; Renaudeau et al., 2007). A partir deste período, a dissipação do calor pela respiração torna-se mais eficiente, associada à redução do consumo e do metabolismo.

Estas mudanças podem aumentar o uso de energia e de nutrientes para sobrevivência, em detrimento do desempenho. Os suínos quando mantidos na zona de conforto térmico, a produção de calor corporal é relativamente estável e maior proporção da energia ingerida é direcionada para seu desempenho produtivo. Por outro lado, quando alojados em condições térmicas inadequadas, necessitam gastar energia para aquecer ou resfriar o corpo, tendo como consequência, piora no desempenho (Ferreira, 2012).

Estudos que contemplem os efeitos do estresse agudo por calor sobre o desempenho de suínos poderão contribuir para indicar novas possibilidades de concepções arquitetônicas que possibilitem maior amortecimento térmico no interior das instalações, com vistas ao manejo mais adequado em situações de flutuações rápidas de temperatura ambiental, como se tem verificado atualmente. Assim, com este estudo, teve-se o objetivo de avaliar as respostas fisiológicas e de desempenho de suínos em crescimento mantidos sob estresse agudo por calor.

Material e Métodos

A utilização de animais do experimento foi aprovada pelo CEUA (Comitê de Ética de Utilização de Animais) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) com o protocolo número 059/14.

Foram utilizados vinte e quatro suínos machos castrados, de linhagem híbrida comercial, com peso inicial de $30,5 \pm 0,6$ kg e idade média de 77 ± 2 dias. Os animais foram alojados em duas câmaras climatizadas com controle de temperatura, umidade e ventilação. Cada câmara possuía seis baias experimentais com piso de concreto, área útil de 2,3 x 1,5m, dotadas de comedouro semi-automático e bebedouros do tipo chupeta com regulagem de altura.

Em cada câmara foram alojados 12 suínos (dois animais por baia), sendo a baia a unidade experimental ($n=6$). Os animais foram distribuídos em delineamento experimental de blocos casualizados, constituindo-se em dois tratamentos: (Tratamento 1 – termoneutralidade a 22°C , $n=6$) e (Tratamento 2 – estresse por calor a 34°C , $n=6$). O período de exposição do estresse térmico foi de 48 horas. O peso inicial foi usado como critério para a formação dos blocos.

As condições ambientais das câmaras climáticas foram monitoradas durante todo período experimental por termohigrômetro digital (Modelo 7666.02.0.00, Fabricante: Cotronic Technology Ltd - Incoterm, China, com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $\pm 5\%$ UR) com sensor interno e sensor externo acoplado a globo negro. Quatro (dois em cada câmara) equipamentos foram mantidos em diferentes pontos das unidades experimentais à meia

altura do corpo dos animais e as leituras foram utilizadas para calcular o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (**ITGU**) (Buffington et al., 1981).

A dieta experimental (Tabela 1) foi formulada a base de milho e farelo de soja, suplementada com vitaminas e minerais, para atender às exigências mínimas sugeridas pelas Tabelas Brasileiras editadas por Rostagno et al. (2011), considerando as recomendações para machos castrados de alto potencial genético com desempenho médio dos 30 a 50. Os animais receberam água e ração à vontade durante as 48 horas de período experimental e foram pesados no início, após 24 horas e 48 horas de experimento. A ração fornecida, as sobras e o desperdício foram pesados para cálculo do consumo de ração (**CR**).

Para avaliação de parâmetros fisiológicos foi aferida a frequência respiratória (**FR**), as temperaturas superficiais e retais (**TR**) dos suínos no início do experimento e a cada quatro horas. Para coleta de dados de **FR** foi realizada a contagem de movimentos do flanco de cada animal por 15 segundos, sendo o resultado multiplicado por quatro para a obtenção dos movimentos por minuto (mov.min^{-1}). Em sequência, foram mensuradas as temperaturas superficiais e a **TR**. As temperaturas superficiais foram monitoradas sem contato por meio de termômetro a laser (Modelo GM320, marca Benetech, China com precisão de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$) direcionado à paleta (**TPa**), ao pernil (**TPe**), à nuca (**TN**) e à base da orelha (**TO**). A **TR** foi aferida por meio de termômetro clínico digital com precisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Os dados de desempenho e de parâmetros fisiológicos (**FR**, **TR**, **TPa**, **TPe**, **TN** e **TO**) foram analisados por meio de um modelo misto, contendo o tratamento e hora como efeitos fixos e animal como efeito aleatório, utilizando-se a metodologia de

medidas repetidas no tempo (Littell, 1998). Quando o efeito de hora foi significativo, o ajuste de modelos de regressão aos dados foi testado. Testaram-se modelos lineares, não lineares, em estrutura simples ou como modelos segmentados (Fadel, 2004). Modelos de regressão de diferentes estruturas foram ajustados e a escolha do melhor modelo foi feita com base no Critério de Informação de Akaike (AIC; Akaike, 1974). A comparação do uso de modelos únicos ou segmentados foi feita com base no mean square error of prediction (MSEP; calculado de acordo com Tedeschi, 2006). Os procedimentos MIXED e NLMIXED do SAS (SAS System, Cary, NC, 2000) foram utilizados para ajuste de parâmetros dos modelos lineares e não lineares, respectivamente. Todas as análises foram realizadas adotando-se 5% como nível crítico de probabilidade de ocorrência do Erro Tipo I.

Resultados

Os valores de temperatura do ar (Tar), umidade relativa (UR) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) das salas climatizadas encontram-se na Tabela 2.

O estresse agudo por calor provocou diminuição **CR** (Tabela 3), no primeiro dia de alojamento ($P=0,06$) e no segundo dia ($P=0,05$), refletindo em diminuição no **CR** no período total ($P=0,03$). Houve redução de 10% no **CR** no primeiro dia, 11,8 % no segundo dia e 10,5% no período total.

O estresse agudo por calor também reduziu o ganho de peso (**GP**) (Tabela 3), nas primeiras 24 h de alojamento ($P=0,05$), o que refletiu na redução do **GP** total

($P=0,02$). O **GP** dos animais mantidos em estresse por calor foi em média 47% menor nas primeiras 24 h, refletindo em redução média de 28,6 % no peso final equivalente a 400 g por animal alojado ($P=0,02$).

Os animais expostos ao ambiente quente apresentaram aumento ($P<0,01$) da **FR** (Tabela 4). O calor também promoveu aumento da **TR** acima da faixa considerada normal para suínos (38,6 a 39,3°C) (Muirhead e Alexander, 1997). Houve ainda aumento das temperaturas superficiais em todos os pontos medidos (**TPa**, **TPe**, **TN** e **TO**). Suínos no calor apresentaram aumento da temperatura corporal em função do tempo ($P=0,03$).

A frequência respiratória (mov/min) ao longo das 48 horas de estudo teve comportamento sigmoide (Figura 1), com pontos máximos às 16 e 48 horas após o início do estudo. As temperaturas superficiais de **TPa**, **TPe**, **TN** e **TO** (Figura 2), apresentaram comportamento semelhante à **FR**, mas com pontos de máxima em momentos diferentes que foram 12 e 48 horas após o início do experimento.

O ajuste de modelos segmentados (Figura 3; Fadel, 2004) apresentou menor valor de MSEP, com aumento linear da temperatura retal de suínos em estresse por calor até máxima de 40,29 °C 6,56 horas (6 horas e 33 minutos) após o início do tratamento térmico, com posterior redução linear. Os parâmetros dos modelos lineares de aumento e redução da temperatura retal dos animais submetidos a estresse por calor (34°C) são descritos a seguir:

$$\text{Se tempo} < 6,56 \text{ horas, então } TR = 0,1333 \times \text{HORA} + 39,417$$

$$\text{Se tempo} \geq 6,56 \text{ horas, então } TR = -0,017 \times \text{HORA} + 40,403$$

De acordo com a taxa de aumento da temperatura ($0,13333^{\circ}\text{C}$ por hora), seriam necessárias 7,5 horas para elevação de 1°C nesta intensidade de estresse. Após o momento de máxima, há redução na TR estimada de $0,017^{\circ}\text{C}$ por hora sendo necessárias 58,8 horas para redução de 1°C .

Discussão

Após o alojamento dos animais verificou-se efeito prejudicial do calor sobre o consumo de ração (**CR**), entretanto, a magnitude do efeito foi mais evidenciada de 24 a 48 h após o alojamento ($P=0,05$) refletindo em redução no período total ($P=0,03$) (Tabela 3). Provavelmente, a menor massa corporal (30 kg) pode ter influenciado esta resposta, uma vez que animais de menor massa se aquecem mais rapidamente e a redução no **CR** é a primeira reação dos animais, como observado por Renaudeau et al. (2010). Assim, o animal reduz o **CR** para diminuir a termogênese e isto ocorreu em maior magnitude como adaptação de curto prazo, corroborado pelo resultado de **FR** observado.

A redução do **CR** observada em suínos submetidos a temperaturas ambientais acima de 27°C pode ser considerada como um mecanismo de defesa do organismo para redução da produção de calor resultante dos processos digestivos e metabólicos (Le Bellego et al., 2002). Os resultados listados na Tabela 3 estão de acordo com os obtidos por Renaudeau et al. (2010), que trabalharam com diferentes temperaturas na aclimação de suínos na fase de crescimento e evidenciaram resposta rápida de redução

no consumo de ração nos animais expostos a 28 (redução de 20,2 gramas), 32 (redução de 44,4 gramas) e 36°C (redução de 69,6 gramas) nas primeiras 48 horas, sendo os efeitos do calor após 24 horas de alojamento mais pronunciados, comparado aos animais expostos a 24°C.

A redução no **GP** foi consequência do menor **CR** observado. Entretanto, a proporção de redução no **GP** (28,6%) foi maior que aquela observada no **CR** (10,5%), provavelmente porque os animais utilizaram a energia dos alimentos ingeridos para realizar termorregulação, em detrimento de deposição de tecido corporal. A redução do ganho de peso verificada neste estudo confirma a hipótese de que animais mantidos em ambiente com temperatura acima da faixa de termoneutralidade utilizam ajustes comportamentais e fisiológicos para favorecer o balanço de calor, o que compromete o seu desempenho (Kiefer et al., 2005). No entanto, a intensidade de estresse (34°C) pode ter contribuído para exacerbar a diminuição do **GP** uma vez que em outros estudos, a redução no **GP** de animais no calor foi menos acentuada. Segundo Rhoads et al. (2013), quando a temperatura crítica superior é excedida, a energia e os nutrientes são desviados dos processos produtivos para crescimento animal, para a manutenção da homeotermia.

O aumento da temperatura retal ($P < 0,01$) dos animais mantido á temperatura do ar de 34°C (Tabela 3), pode ser explicado como sendo resultante da dificuldade encontrada pelos suínos em manter a homeotermia em temperaturas acima da zona de conforto térmico. É oportuno ressaltar que as elevações foram observadas logo nas primeiras quatro horas de exposição dos animais ao calor (Figura 3), semelhante ao ocorrido no trabalho realizado por Renaudeau et al. (2010) que avaliaram os parâmetros fisiológicos, três vezes ao dia, durante 20 dias e observaram que nas primeiras 24 horas

de exposição, houve aumento significativo da frequência respiratória e da temperatura retal nos animais mantidos a 28, 32 e 36°C.

De acordo com Manno et al. (2006), o aumento da frequência respiratória dos suínos criados sob temperaturas de estresse por calor, pode ser considerado um dos primeiros ajustes fisiológico para a manutenção da termorregulação.

O aumento ($P < 0,01$) da temperatura superficial (**TS**) observado nos suínos mantidos no calor pode ser justificado como consequência da elevação da temperatura ambiente, uma vez que as medições foram realizadas na superfície da pele. O incremento da carga de calor no ambiente pode ter promovido maior radiação térmica para a superfície dos animais que não foram eficientes em dissipá-lo, em razão de os mecanismos sensíveis se tornarem ineficientes em função do baixo gradiente térmico para termólise.

Em suínos na fase de crescimento, a pele é o principal órgão termorregulador, por onde se realizam as trocas de calor, sua temperatura é influenciada, fisiologicamente, pelo fluxo sanguíneo. Segundo Ashrae (2001), ao sentir desconforto térmico, o primeiro mecanismo fisiológico a ser ativado é a regulação vasomotora (vasodilatação ou vasoconstrição), reduzindo ou aumentando a resistência térmica da pele. Resultados semelhantes foram encontrados por Manno et al. (2006) que observaram maior temperatura superficial em suínos na fase de crescimento em situações de calor (32°C), em relação aos suínos mantidos em conforto (22°C).

Os resultados ilustrados nas Figuras 1 e 2 demonstram que os mecanismos de **FR** e **TS** foram suficientes para manter a homeotermia e apresentaram reação efetiva após 12 horas. As dissipações de calor corporal nos suínos se dão, mais efetivamente,

por meios não- evaporativos (condução, radiação e convecção). Apesar de os suínos apresentarem glândulas sudoríparas com estrutura morfológica bem desenvolvida, por serem queratinizadas, resultam em limitação de realizar sudorese, ficando a dissipação de calor por evaporação limitada à evaporação respiratória. O mecanismo evaporativo usado na respiração parece que foi mais efetivo que o mecanismo convectivo. Quando a temperatura ambiente se aproxima de 30°C, as trocas de calor sensíveis são reduzidas e começa a prevalecer a troca de calor latente (evaporação pelo trato respiratório), sendo responsável por até 60% da dissipação de calor do suíno, o que pode levar ao aumento na frequência respiratória em até 100%.

Mesmo que não há registros de observações comportamentais no presente estudo, pode-se supor que os animais seguiram um biorritmo próprio, não respondendo às variações naturais normais ao ciclo circadiano cortisol/melatonina logo após a entrada nas câmaras climáticas. Em situações normais de campo, quando a melatonina é secretada em horários diferentes do fisiológico, ocorre aumento da sonolência e diminuição da temperatura corporal (Lockley et al., 1997, Dijk et al., 1997 e Strassmann et al., 1991).

Os resultados de **TR** (Figura 3) demonstram que os animais apresentaram uma resposta rápida nas primeiras seis horas de exposição ao calor. Após esta fase rápida de estresse agudo, houve redução na **TR** independente da temperatura ambiental. De acordo com Horowitz (2001), a resposta termorreguladora durante o estresse agudo por calor é bifásica. No presente estudo, a **TR** foi considerada como sendo o critério mais significativo para avaliar a tolerância ao calor, porque indica a eficiência do animal na manutenção da homeotermia durante o estresse por calor. Os mecanismos que permitem

umentar a dissipação de calor não conseguiram compensar totalmente a carga de calor excessivo, o que pode explicar o rápido aumento da **TR** nas primeiras seis horas de exposição.

Com essa exposição, um importante meio de dissipação de calor para a manutenção da homeotermia torna-se mais eficiente pela termólise evaporativa respiratória, auxiliada pela diminuição do **CR** na fase de aclimatação ao calor em longo prazo. Este resultado está de acordo com Renaudeau et al. (2010), que verificaram uma resposta aguda de 24 horas, após isso, um declínio rápido até quatro dias de exposição ao calor nos animais mantidos em 28, 32 e 36°C. Os autores relataram que o estresse agudo é afetado pela intensidade do calor tendo uma alta relação com temperatura ambiente, conforme apresentado neste trabalho. Variações da **TR** durante o estresse agudo por calor foram descritas anteriormente em suínos (Morrison e Mount, 1971; Giles et al., 1991; Collin et al., 2002; Renaudeau et al., 2007).

O estresse agudo por calor a 34° C durante 48 horas alterou a fisiologia dos suínos, afetando negativamente seu desempenho em fase de crescimento. As respostas termorreguladoras ao longo de 48 horas de exposição ao calor (34°C) apresentam um padrão bifásico, caracterizada por uma fase inicial (fase de aclimatação ao calor de curto prazo) de 6,56 horas, seguida por uma fase de aclimatação ao calor em longo prazo.

Referências

Akaike, H. A., 1974: New look at the statistical model identification. *IEEE T Automat Contr v.AC-19* **6**, 716-723.

Ashrae, 2001: *Thermal comfort*, Fundamentals, Chap. 8, Atlanta.

Buffington, D.E.; Collazo Arocho, A.; Canton, G.H. Pitt, D., 1981: Black globe humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. *American Society of Agricultural Engineers* **24**, 711-714.

Collin, A.; Van Milgen J.; Dubois, S.; Noblet, J., 2001: Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pig. *British Journal of Nutrition* **86**, 63–70.

Collin, A.; Vaz, M. J.; Le Dividich, J., 2002: Effects of high temperature on body temperature and hormonal adjustments in piglets. *Reproduction Nutrition Development* **42**, 45–53.

Dijk, D. J.; Cajochen, C., 1997: Melatonin and the circadian regulation of sleep initiation, consolidation, structure, and the sleep EEG. *Journal Biology Rhythms* **12**, 627-635.

Fadel, J. G., 2004: Technical note: Estimating parameters of nonlinear segmented models. *Journal of Dairy Science* **87**, 169-173.

Ferreira, R.A., 2012: *Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos*, 2nd edn. Aprenda Fácil, Brasil.

Giles, L. R.; Black, J. L.; Batterham, E. S., 1991: Voluntary food intake in growing pigs at ambient temperatures above the zone of thermal comfort. *Pig Science Association in Manipulating Pig Production III*, Batterham, E. S., edn. Australias., Attwood, Victoria, Australia, 162–166.

Horowitz, M., 2001: Heat acclimation: Phenotypic plasticity and cues to the underlying molecular mechanisms. *Journal of Thermal Biology* **26**, 357–363.

Huynh, T. T. T.; Aarnink, A. J. A.; Gerrits, W. J. J.; Heetkamp, M. J. H.; Canh, T. T.; Spoolder, H. A. M.; Kemp, B.; Verstegen, M. W. A., 2005: Thermal behavior of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Applied Animal Behaviour Science* **91**, 1-16.

IPCC, ed. 2007. *Climate Change in 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Kiefer, C.; Ferreira, A.S.; Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Brustolini, P. C.; Silva, F. C. O., 2005: Exigência metionina mais cistina digestíveis para suínos machos castrados mantidos em ambiente de alta temperatura dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia* **34**, 104-111.

Kregel, K. C.; Moseley, P. L., 1996: Differential effects of exercise and heat stress on liver HSP 70 accumulation with aging. *Journal of Applied Physiology* **80**, 262-277.

LeBellego, I.; Van Milgen, J.; Noblet, J., 2002: Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* **80**, 691-701.

Littell, R. C.; Henry, P. R.; Ammerman, C. B., 1998: Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science* **76**, 1216-1231.

Lockley, S. W.; Skene, D. J.; Tabandeh, H.; Bird, A. C.; DeFrance, R.; Arendt, J., 1997: Relationship between napping and melatonin in the blind. *Journal Biology Rhythms* **12**, 16-25.

Manno, M. C.; Oliveira, R.F. M.; Donzele, J. L.; Ferreira, A. S.; Oliveira, W. P.; Lima, K. R. S.; Vaz, R. G. M. V., 2005: Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 15 aos 30 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia* **34**, 1963-1970.

Manno, M. C.; Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Oliveira, W. P.; Vieira Vaz, R. G. M.; Silva, B. A. N.; Saraiva, E. P.; Lima, K. R. S., 2006: Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia* **35**, 471-477.

Morrison, S. R.; Mount, L. E., 1971: Adaptation of growing pigs to changes in environmental temperature. *Animal Production* **13**, 51–57.

Muirhead, M.; Alexander, T., 1997: *Managing pig health and the treatment of disease: a reference for the farm*, Sheffield: 5MEnterprises.

Müller, P. B., 1982: *Bioclimatologia Aplicada aos Animais Domésticos*, 2nd edn. Posto Alegre: Sulina, Brasil.

Renaudeau, D.; Anais, C.; Tel, L.; Gourdine, J. L., 2010: Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. *Journal of Animal Science* **88**, 3715-3724.

Renaudeau, D.; Huc, E.; Noblet J., 2007. Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs. *Journal of Animal Science* **85**, 779–790.

Rhoads, R. P.; Baumgard, H.; Suagee, J. K., 2013. 2011 and 2012 Early careers achievement awards: metabolic priorities during heat stress with an emphasis on skeletal muscle. *Journal of Animal Science* **91**, 2492-2503.

Rostagno, H. S. (editor); Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. F.; Lopes, D. C.; Ferreira, A. S.; Barreto, S. L. T.; Euclides, R. F., 2011: *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos*. 3rd edn. Viçosa:UFV, Brasil.

SAS INSTITUTE. SAS user's guide. Version 9.0. Cary: SAS Institute, 2000. 544p.

Strassmann, R. J.; Qualls, C. R.; Lisansky, E. J.; Peake, G. T., 1991: Elevated rectal temperature produced by all-night bright light is reversed by melatonin infusion in men.

Journal Applied Physiology **71**, 2178-2182.

Tedeschi, L. O., 2006: Assessment of the adequacy of mathematical models.

Agricultural Systems **89**, 225-247.

Tabela 1 – Composição centesimal e química da ração experimental utilizada para suínos em crescimento

Ingredientes	Quantidade (kg)
Milho	71,793
Farelo de soja	22,622
Farelo de trigo	1,500
Óleo de soja	0,750
Fosfato Bicálcico	1,127
Cálcario	0,711
Sal	0,388
Suplemento Mineral*	0,250
Suplemento Vitamínico †	0,300
DL - Metionina (99%)	0,076
L – Lisina HCl(50,7%)	0,401
L - Treonina (98,5%)	0,065
L - Triptofano	0,007
BHT	0,010
Total	100,000
BED ‡	158
Composição calculada *	
Proteína bruta (%)	16,820
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3.230
Lisina digestível (%)	0,927
Metionina + cistina digestível (%)	0,547
Treonina digestível (%)	0,603
Triptofano digestível (%)	0,167
Fósforo disponível (%)	0,311
Sódio (%)	0,180
Cloro (%)	0,286
Potássio (%)	0,626
Cálcio (%)	0,630

* Composição, por kg de produto: cálcio, 98.800 mg; cobalto, 185 mg; cobre, 15,750 mg; ferro, 26.250 mg; iodo, 1.470 mg; manganês, 41.850 mg; zinco, 77.999 mg.

† Composição, por kg de produto: ácido fólico, 116,55 mg; ácido pantotênico, 2.333,5 mg; biotina, 5,28 mg; niacina, 5.600 mg; piridoxina, 175 mg; riboflavina, 933,3 mg; tiamina, 175 mg; Vit. A, 1.225.000 U.I.; Vit. D3, 315.000 U.I.; Vit. E, 1.400 mg; Vit. K3, 700 mg; Vit. B12, 6.825 mg; selênio, 105 mg; antioxidante: 1.500 mg.

‡ Balanço eletrolítico (número de Mogin).

* Composição calculada com base nas exigências de suínos machos castrados de alto potencial genético com desempenho médio, sugeridas pelas Tabelas Brasileiras editadas por ROSTAGNO, et al. (2011) pág.196.

Tabela 2: Temperatura do ar (T_{ar}), umidade relativa (UR) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) das salas climatizadas utilizadas experimento

Câmara	Parâmetro		
	T_{ar} (°C)	UR (%)	ITGU
Calor	$34,4 \pm 0,7$	$77,3 \pm 3,7$	$89,0 \pm 1,2$
Conforto	$22,4 \pm 0,1$	$81,6 \pm 2,9$	$70,0 \pm 1,3$

Tabela 3: Valores médios de consumo de ração e de ganho de peso de suínos na fase de crescimento mantidos em conforto (22°C) ou estresse por calor (34°C)

Variável (kg)	Conforto	Calor	EPM	P-valor *
Peso inicial	30.48	30.48	0,62	0,81
Peso 24h	32.13	31.37	0,62	0,06
Peso 48h	33.23	32.47	0,67	0,02
0-24h				
Consumo de ração	1.96	1.76	0,07	0,06
Ganho de peso	1.65	0.91	0,26	0,05
24-48h				
Consumo de ração	1.74	1.54	0,07	0,05
Ganho de peso	1.10	1.10	0,22	1,00
0-48h				
Consumo de ração	1.85	1.65	0,06	0,03
Ganho de peso	1.38	1.00	0,11	0,02

*Médias diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4: Valores médios de frequência respiratória, temperatura retal, temperatura na paleta, temperatura no pernil, temperatura na nuca, temperatura na base da orelha de suínos na fase de crescimento mantidos em conforto (22°C) ou estresse por calor (34°C)

Variáveis	Tratamentos		SEM	P – Valor		
	Conforto	Calor		Tratamento	Hora	Tratamento x hora
Frequência Respiratória (mov/min)	44,30	123,90	3,36	< 0,01	0,03	0,58
Temperatura retal (°C)	38,81	39,88	0,07	< 0,01	0,69	0,03
Temperatura na paleta (°C)	34,30	38,72	0,27	< 0,01	< 0,01	0,97
Temperatura no pernil (°C)	33,99	38,57	0,29	< 0,01	< 0,01	0,43
Temperatura na nuca (°C)	34,06	39,21	0,32	< 0,01	< 0,01	0,85
Temperatura na base da orelha (°C)	34,34	38,90	0,30	< 0,01	< 0,01	0,88

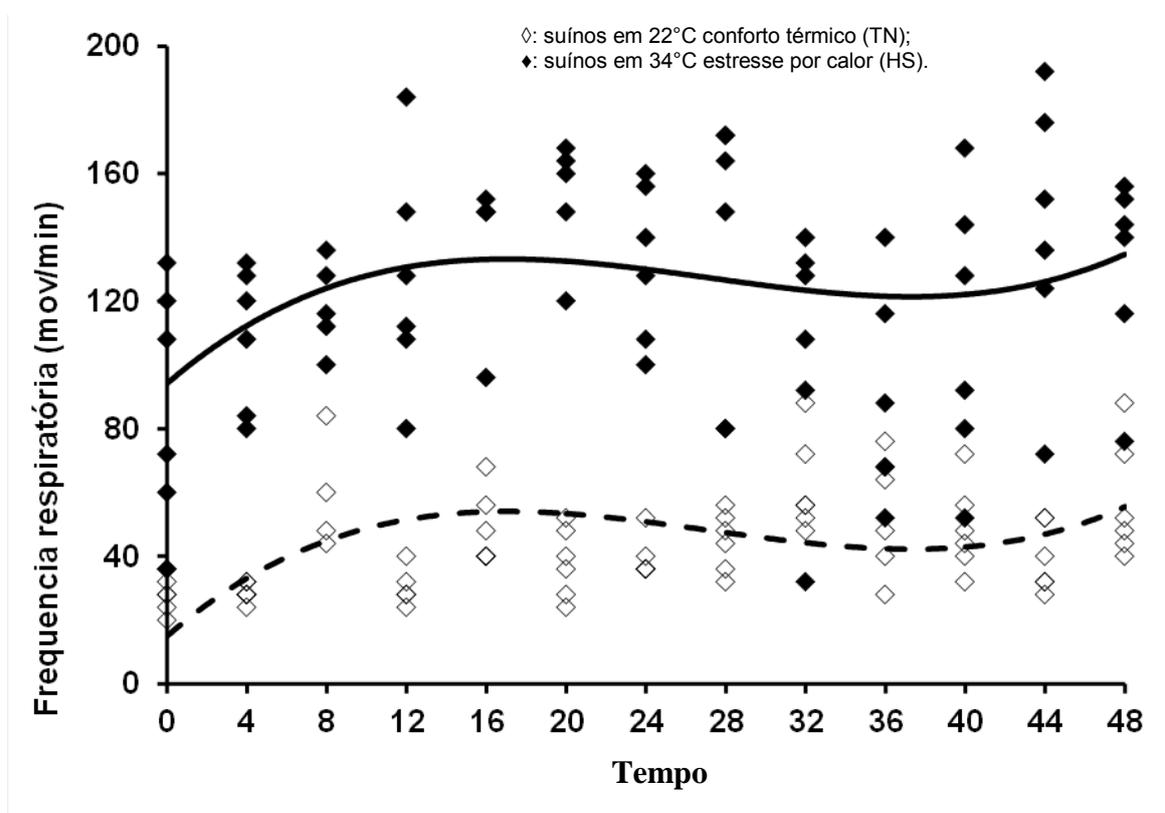


Figura 1: Comportamento da frequência respiratória (mov/min) ao longo do período de aclimação nas temperaturas experimentais de conforto térmico (22°C) e estresse por calor (34°C). Cada ponto representa a média dos quadrados mínimos de seis suínos em cada tratamento usando um modelo não-linear.

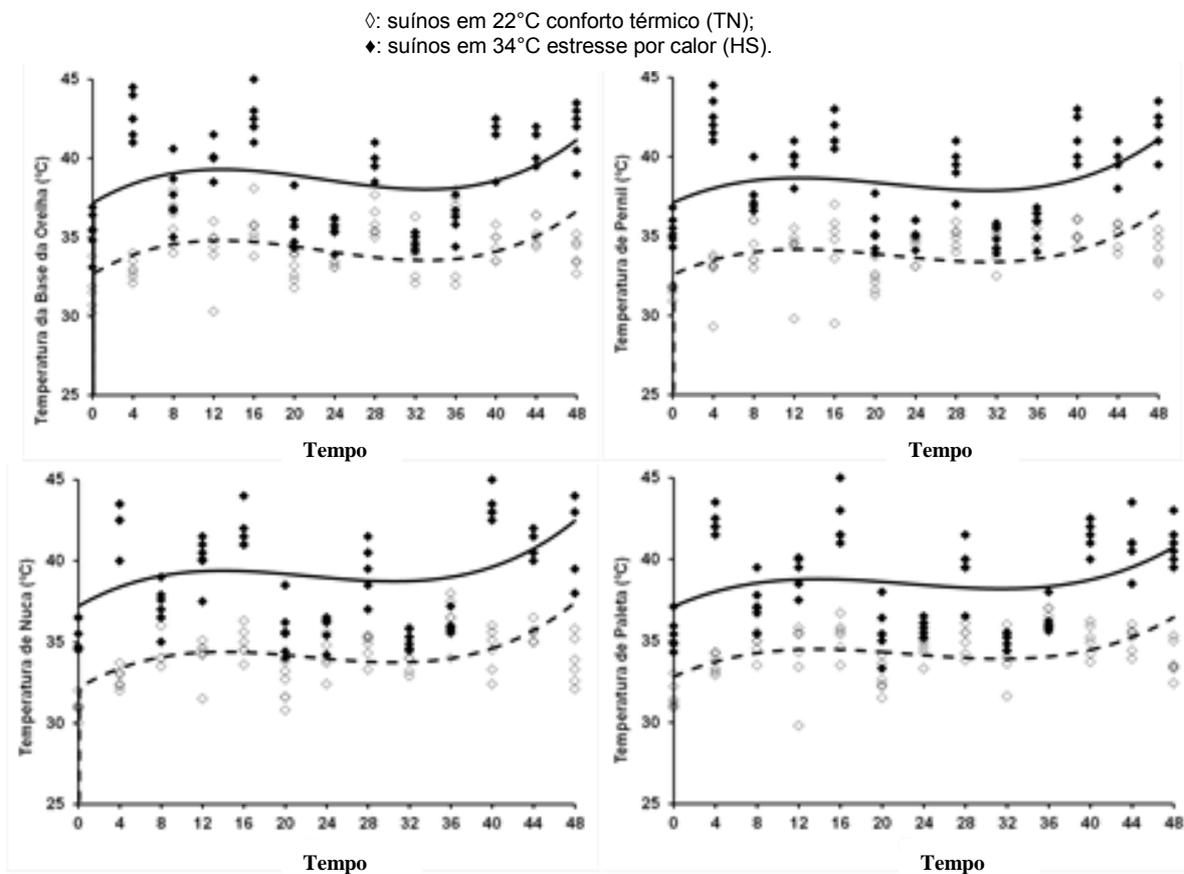


Figura 2: Comportamento das temperaturas superficiais ao longo do período de aclimação nas temperaturas experimentais de conforto térmico (22°C) e estresse por calor (34°C). Cada ponto representa a média dos quadrados mínimos de seis suínos em cada tratamento usando um modelo não-linear.

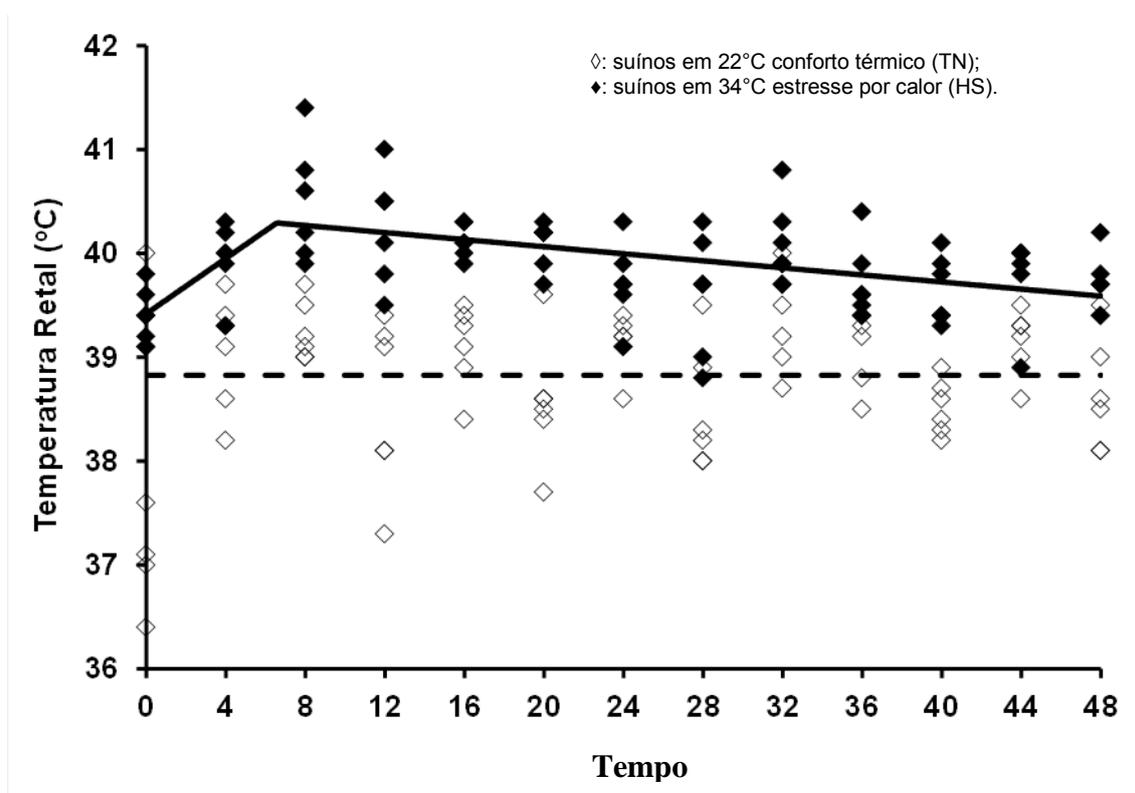


Figura 3: Comportamento da temperatura retal, ao longo do período de aclimação nas temperaturas experimentais de conforto térmico - TN (22°C) e estresse por calor - HS (34°C). Cada ponto representa a média dos quadrados mínimos de seis suínos em cada tratamento usando um modelo não-linear.

**ARTIGO 2 EFEITO DA TEMPERATURA DO AR SOBRE O
COMPORTAMENTO, FISIOLOGIA E DESEMPENHO DE SUÍNOS NAS
FASES DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO**

O artigo foi editorado com base nas normas da UFLA

Efeito da temperatura do ar sobre o comportamento, fisiologia e desempenho de suínos nas fases de crescimento e terminação

Resumo: Foram utilizados 36 suínos machos castrados com o objetivo de determinar a influência do ambiente térmico e da redução de consumo sobre o desempenho, parâmetros fisiológicos, comportamento e a composição da carcaça de suínos. Os animais foram alojados em duas câmaras climáticas. Em uma delas, os animais estavam em conforto térmico (22°C) e em outra, os suínos estavam em estresse por calor (34°C). Os animais foram distribuídos em delineamento de blocos casualizados, constituindo três tratamentos com seis repetições e dois animais por unidade experimental. Os tratamentos foram: HS - Animais no calor a 34°C, TN - Animais em conforto a 22°C e PFTN = Animais em conforto térmico a 22°C com alimentação pareada ao HS. Foram obtidos dados de desempenho, parâmetros fisiológicos, comportamento e da composição da carcaça dos suínos. Houve redução de 35,6% no consumo dos animais dos tratamentos HS e PFTN. O ganho de peso dos animais mantidos em HS e PFTN foram reduzidos nas respectivas proporções em 40,5% e 34,7%, refletindo em redução de 13,2% no peso final dos animais mantidos em PFTN. O calor promoveu aumento da frequência respiratória, das temperaturas superficiais e retal. A concentração de T_3 não foi afetada pelo calor, mas houve aumento do n° de linfócitos dos animais mantidos em PFTN. Os suínos mantidos no HS permaneceram mais tempo em ócio e menos tempo comendo e fuçando. Os animais mantidos em HS e PFTN apresentaram menor peso de carcaça quente, porém, não houve efeito sobre o rendimento de carcaça quente e peso relativo do coração, pulmão e baço. O estresse por calor comprometeu o desempenho, parâmetros fisiológicos e comportamento dos mesmos, e, os efeitos negativos da alta temperatura sobre os suínos não são exclusivos da redução do consumo.

Palavras-chave: ambiência, consumo, estresse por calor

Abstract: A total of 36 barrows were studied in order to determine the influence of the thermal environment and consumption reduction on performance, physiological parameters, behavior and composition of the pig carcass. The animals were housed in two climate chambers. In one chamber the animals were in thermal comfort (22°C) and in the other pigs were under heat stress (34 ° C). The animals were distributed in a randomized block design, consisting of three treatments with six replicates and two animals per experimental unit. The treatments were: HS - Animals in the heat to 34 ° C, TN - Animals in comfort at 22 ° C and PFTN = Animals on thermal comfort at 22 ° C pair feeding with HS. Performance data, physiological parameters, behavioral and swine carcass composition were obtained. There was a reduction of 35.6% in the animal's feed consumption in the HS and PFTN treatments. The weight gain of animals kept in HS and PFTN were reduced in 40.5% and 34.7% respectively, reflecting a reduction of 13.2% in the final weight of the animals kept in PFTN. The heat promoted increase in respiratory rate and surface and rectal temperatures. The T3 concentration was not affected by the heat, but there was an increase of lymphocytes of animals on PFTN. Pigs kept in HS spent more time on leisure and less time eating and digging. Animals kept in HS and PFTN showed less hot carcass weight, however, there was no effect on hot carcass yield and relative

weight of heart, lung and spleen. The heat stress impaired performance, physiological parameters and behavior of pigs and the negative effects of high temperature on pigs is not exclusive on reducing consumption.

Keywords: ambience, consumption, heat stress

Introdução

Nos últimos anos tem se verificado elevação das temperaturas ambientais em grande parte do Brasil, particularmente nas áreas de incremento da atividade suinícola, como a região Centro Oeste. As instalações nem sempre promovem condições térmicas adequadas e os animais ficam submetidos e sofrem por estarem sujeitos a estresse térmico devido a altas temperaturas, sendo necessário modificar sua fisiologia para manutenção da homeotermia. Este calor promove redução no desempenho devido a diminuição no consumo de ração e ao custo energético associado à dissipação do calor extra termorregulatório. Neste ambiente, os suínos de alta taxa de deposição de carne magra são os mais prejudicados em função da termogênese advinda da deposição de proteína na carcaça.

A introdução de genótipos para alta deposição muscular aumenta a preocupação com o ambiente térmico dos suínos, pois essas linhagens são mais sensíveis ao calor por apresentarem maior termogênese (White et al., 2008).

O ambiente térmico tem se mostrado determinante no resultado zootécnico por influenciar a fisiologia e o comportamento dos animais, podendo influenciar o desempenho dos mesmos. Portanto, maior atenção deve ser dada com relação ao ambiente e novas alternativas devem ser oferecidas aos

produtores, principalmente, auxiliar na tomada de decisões em ajustes nutricionais ou ajustes de concepção arquitetônica das instalações.

Diante do exposto, com o presente trabalho, teve-se como objetivo determinar a influência do ambiente térmico sobre o desempenho, parâmetros fisiológicos, comportamento e a composição da carcaça de suínos na fase de crescimento e terminação, bem como avaliar o efeito da redução do consumo de ração sobre a variação no desempenho de suínos.

Material e Métodos

A utilização de animais do experimento foi aprovada pelo CEUA (Comitê de Ética de Utilização de Animais) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) com o protocolo número 059/14.

O experimento foi conduzido entre os meses de outubro de 2014 a fevereiro de 2015, em câmaras climáticas do departamento de zootecnia (DZO) na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Foram utilizados 36 suínos híbridos comerciais machos castrados, de alto potencial genético, com peso inicial de $30,5 \pm 0,6$ kg e idade média de 77 ± 2 dias, alojados em duas câmaras climáticas com capacidade de controle de temperatura, umidade e ventilação. Cada câmara possui 12 baias experimentais com piso de concreto, área útil de 2,3 x 1,5m, dotadas de comedouros semi-automáticos e bebedouros do tipo chupeta. Em uma das câmaras, os animais estavam em conforto térmico para a categoria (22°C) e em outra, os suínos estavam em estresse térmico (34°C). Em cada câmara foram alojados 24 suínos, sendo a unidade experimental composta por dois animais na baia.

Assim, foram distribuídos em delineamento experimental de blocos casualizados, constituindo quatro tratamentos com seis repetições. O peso inicial dos animais foi utilizado como critério para formação dos blocos.

Os tratamentos foram:

HS = Animais em estresse térmico (34°C);

TN = Animais em conforto térmico (22°C)

PFTN = Animais em conforto térmico (22°C) com alimentação pareada ao consumo observado no HS.

Os suínos foram pesados e distribuídos nas respectivas unidades experimentais ao mesmo tempo. Entretanto, para possibilitar o pareamento, a coleta dos dados nos animais do PFTN foi iniciada 24 horas após o início do experimento de forma que todos permaneceram 71 dias em experimentação (43 dias em fase de crescimento e 28 dias em fase de terminação). O manejo de cálculo do consumo de ração do HS para ser fornecido ao PFTN no dia seguinte, foi repetido em todos os dias durante o experimento. Assim, diariamente foi mensurada a ração fornecida, sobras e desperdício em todas as unidades experimentais.

As dietas experimentais (Tabela 1) foram isoenergéticas e formuladas a base de milho e farelo de soja, suplementadas com vitaminas e minerais, para atenderem às exigências mínimas sugeridas pelas Tabelas Brasileiras editadas por Rostagno et al. (2011), considerando as recomendações para machos castrados de alto potencial genético com desempenho médio dos 30 a 50, 50 a 70 e de 70 aos 100 kg.

As condições ambientais das câmaras climáticas foram monitoradas durante todo período experimental por termohigrômetro digital (Modelo 7666.02.0.00, Fabricante: Cotronic Technology Ltd - Incoterm, China, com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$ e $\pm 5\%$ UR) com sensor interno e sensor externo acoplado a globo negro. Os equipamentos foram mantidos em diferentes pontos das unidades experimentais à meia altura do corpo dos animais e as leituras foram utilizadas para calcular o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) (BUFFINGTON et al., 1981).

Tabela 1. Composição centesimal e química das dietas experimentais

Ingredientes	Fases		
	Crescimento 1	Crescimento 2	Terminação 1
Milho	71,8040	75,1750	81,3134
Farelo de soja	22,6225	19,0000	11,8411
Farelo de trigo	1,5000	2,0000	2,5000
Óleo de soja	0,7500	0,6800	0,3875
Fosfato Bicálcico	1,1270	0,8100	0,7427
Calcário	0,7106	0,9613	0,5724
Sal	0,3880	0,3617	0,3300
Suplemento Mineral ¹	0,2500	0,2500	0,1500
Suplemento Vitamínico ²	0,3000	0,3000	0,3000
DL-Metionina 99	0,0756	0,0467	0,2268
L-Lisina 50,7	0,4005	0,3661	1,2012
L-Treonina 98,5	0,0646	0,0429	0,3316
L-Triptofano	0,0072	0,0063	0,1033
Total	100,000	100,000	100,000
BED ³	158	144	96
Composição calculada ⁴			
Proteína bruta (%)	16,820	15,430	13,830
EM (kcal/kg)	3230,000	3230,000	3230,000
Lisina dig. (%)	0,927	0,823	0,763
M + Cisdig. (%)	0,547	0,486	0,458
Treonina dig. (%)	0,603	0,535	0,511
Triptofanodig. (%)	0,167	0,148	0,137
Fósforo disp. (%)	0,311	0,250	0,231
Sódio (%)	0,180	0,170	0,166
Cloro (%)	0,286	0,270	0,251
Potássio (%)	0,626	0,573	0,371
Cálcio (%)	0,630	0,641	0,474

¹ Composição, por kg de produto: cálcio, 98.800 mg; cobalto, 185 mg; cobre, 15,750 mg; ferro, 26.250 mg; iodo, 1.470 mg; manganês, 41.850 mg; zinco, 77.999 mg.

² Composição, por kg de produto: ácido fólico, 116,55 mg; ácido pantotênico, 2.333,5 mg; biotina, 5,28 mg; niacina, 5.600 mg; piridoxina, 175 mg; riboflavina, 933,3 mg; tiamina, 175 mg; Vit. A, 1.225.000 U.I.; Vit. D₃, 315.000 U.I.; Vit. E, 1.400 mg; Vit. K₃, 700 mg; Vit. B₁₂, 6.825 mg; selênio, 105 mg; antioxidante: 1.500 mg.

³ Balanço eletrolítico (número de Mogin).

⁴ Composição calculada com base nas exigências de suínos machos castrados de alto potencial genético com desempenho médio, sugeridas pelas Tabelas Brasileiras editadas por Rostagno, et al. (2011) pág.196.

Para avaliação de parâmetros fisiológicos foi aferida a frequência respiratória, as temperaturas corporais e superficiais dos suínos, no início do experimento e a cada sete dias. Para coleta de dados de frequência respiratória,

foi realizada a contagem de movimentos do flanco de cada animal por 15 segundos, sendo o resultado multiplicado por quatro, para a obtenção dos movimentos por minuto (mov/min). Em sequência, foram mensuradas as temperaturas superficiais e, posteriormente, a temperatura retal. As temperaturas superficiais foram monitoradas sem contato por meio de termômetro a laser (Modelo GM320, marca Benetech, China com precisão de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$) direcionado à paleta (TPa), ao pernil (TPe), à nuca (TNu) e à base da orelha (TO). A temperatura retal (TR) foi aferida por meio de termômetro clínico digital com inserção no reto até a sua estabilização com precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

O comportamento dos animais foi observado em período nictemeral sob o uso de câmeras filmadoras com armazenamento das imagens em microcomputador para posterior leitura. As imagens foram capturadas durante 24 horas, em intervalo de sete dias, totalizando 10 dias de coletas.

As leituras comportamentais foram realizadas a cada minuto, em cada dia de coleta, totalizando 864000 avaliações, com paralização da imagem para observação do comportamento e anotação em um etograma comportamental, onde cada animal foi classificado em uma das categorias: fuçando, comendo, ócio, brigando, coçando, andando e bebendo. Os resultados foram utilizados para compor um histograma de frequência comportamental.

No final de cada fase (crescimento e terminação), após a pesagem dos animais foi colhida amostra de sangue de um animal de cada unidade experimental, escolhido aleatoriamente, sendo repetido a coleta do mesmo animal na fase seguinte, por meio de punção da veia jugular. O sangue coletado, após permanecer em descanso por cerca de 90 minutos para decantar, foi cetrifugado a 3.000 rpm pelo período de 10 minutos, para retirada do soro que foi armazenado em freezer a -20°C . Após este processo, foi realizada a determinação dos níveis séricos do hormônio triiodotironina total (T_3 total) por

meio de kits de determinação utilizando quimioluminescência, em equipamento AXES.

Uma alíquota do material foi utilizada para mensuração das concentrações de neutrófilos (N) e de linfócitos (L) para posterior cálculo da relação N/L e mensuração da bioquímica sanguínea para determinação dos níveis de glicose, uréia e creatinina, auxiliando na caracterização da situação de estresse por calor.

As rações fornecidas, as sobras e o desperdício foram considerados para determinação do consumo de ração médio diário (CRMD). Os animais foram pesados no início e ao final de cada fase de desenvolvimento, para determinação do ganho de peso médio diário (GPMD). A conversão alimentar (CA) foi obtida por meio da relação do CRMD com o GPMD. O consumo de lisina digestível (CLd) foi obtido considerando-se o CRMD e o teor de lisina presente na ração experimental. Com base no CLd, determinou-se a eficiência de utilização de lisina para ganho de peso (EULG) calculada, considerando-se o ganho de peso obtido por grama de lisina digestível, ingerida no período experimental.

Após a fase de terminação, foram obtidas a espessura de toucinho (ET), a profundidade de lombo (PL) e da área de olho de lombo (AOL) dos suínos com o uso de ultrassom, a partir de um ponto de leitura por meio do equipamento ALOKA modelo SSD-500 e transdutor linear de 3,5 MHz modelo UST 5011 de acurácia de 92,1%, segundo a metodologia de Souza (2011). As medidas foram tomadas a 6,5 cm da linha dorso-lombar na parte esquerda do animal, na altura da última costela (no ponto P2).

Ao final do período experimental, os animais foram submetidos a jejum alimentar por 12 horas, sendo posteriormente pesados. Todos os animais foram encaminhados ao frigorífico comercial e foram abatidos por insensibilização elétrica e sangria. Posteriormente, procedeu-se a escalda, depilação, toaleta e a abertura da carcaça para a evisceração.

Ao final da linha de abate foram pesadas as carcaças para a determinação do peso e o rendimento de carcaça quente. As carcaças foram divididas longitudinalmente ao meio e pesadas. Para as características de carcaça, foram avaliados o rendimento de carcaça quente (RC), comprimento (CC), peso de carcaça quente (PC) e o pH a 45 minutos ($\text{pH}_{45\text{min}}$).

Os órgãos (coração, pulmões, fígado, rins e baço) foram lavados e dependurados a sombra durante 15 minutos para o escoamento da água e do sangue sendo, posteriormente pesados.

Os dados obtidos a partir de parâmetros fisiológicos, das análises sanguíneas, do desempenho e das características de carcaça, foram submetidos ao teste de Lilliefors para a verificação da normalidade da distribuição. Em seguida os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, por meio do programa SAS (SAS System, Cary, NC, 2000). Verificando-se significância, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. O peso final da fase de crescimento foi utilizado como co-variável para a fase de terminação. Para avaliação comportamental os resultados foram avaliados através do pacote computacional ACTION 2.0 (2011) utilizando o teste de Friedman a 5% de probabilidade. Para apresentação dos resultados comportamentais, as tabelas foram confeccionadas convertendo-se os valores obtidos em escala percentual.

Resultados

Os valores de temperatura do ar (T_{ar}), umidade relativa (UR) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) das salas climatizadas encontram-se na Tabela 2 e os resultados de frequência respiratória (FR), temperaturas superficiais na nuca (T_{Nu}), na base da orelha (T_{O}), na paleta (T_{Pa}), no pernil (T_{Pe}) e temperatura retal (TR) dos suínos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2. Temperatura do ar (T ar), umidade relativa (UR) e índice

Câmara	Parâmetro		
	Temperatura do ar (°C)	UR (%)	ITGU
Calor	34,2 ± 1,3	78,0 ± 8,1	89,0 ± 1,1
Conforto	21,9 ± 1,3	72,8 ± 5,3	70,0 ± 1,5

de temperatura de globo e umidade (ITGU) das salas climatizadas utilizadas no experimento.

Os maiores valores ($P < 0,0001$) foram observados nos animais submetidos ao calor. Os suínos que receberam HS aumentaram sua FR em 86,1% se comparados àqueles mantidos em TN. Suínos mantidos em HS apresentaram, maiores valores ($P < 0,0001$) de temperatura de superfície; os aumentos foram de 10,1%, 8,3%, 9,8% e 11%, respectivamente para TN, TO, TPa e TPe, em relação àqueles mantidos em TN. Houve aumento médio de 0,6°C da TR dos suínos que receberam HS em relação ao TN.

Tabela 3. Resultados de frequência respiratória (FR), temperatura da nuca (TNu), temperatura da orelha (TO), temperatura da paleta (TPa), temperatura de pernil (TPe) e temperatura retal (TR) de suínos mantidos em calor ou conforto térmico

Variáveis	HS ¹	TN ²	PFTN ³	EPM	P-valor*
FR (mov/min)	73,5 _a	39,5 _b	40,3 _b	2,40	<0,0001
TNu (°C)	36,0 _a	32,7 _b	32,8 _b	0,234	<0,0001
TO (°C)	36,5 _a	33,7 _b	33,6 _b	0,270	<0,0001
TPa (°C)	36,0 _a	32,8 _b	32,8 _b	0,262	<0,0001
TPe (°C)	36,3 _a	32,7 _b	32,9 _b	0,252	<0,0001
TR (°C)	39,4 _a	38,8 _b	38,6 _b	0,0751	<0,0001

¹HS = Animais no calor (34°C);

²TN = Animais em conforto térmico recebendo ração referência à vontade;

³PFTN = Animais em conforto térmico (22°C) com alimentação pareada ao consumo observado no HS;

*Letras diferentes, diferem estatisticamente através do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados das atividades comportamentais dos animais são listados e ilustrados na Tabela 4 e na Figura 1, respectivamente.

O ambiente térmico influenciou ($P < 0,05$) o comportamento dos animais, sendo que os suínos mantidos no HS permaneceram mais tempo em ócio em relação aos animais mantidos no TN, (82,1 x 69,2 %). Observou-se que os animais do HS permaneceram menos tempo ($P = 0,0384$) comendo (4,34 %) em relação àqueles mantidos no TN (8,98 %). Não se observou efeito ($P > 0,05$) do ambiente térmico e do consumo pareado, sobre as demais atividades comportamentais.

Tabela 4. Ocorrência (%) dos comportamentos observados de suínos mantidos em calor ou conforto térmico

Comportamento	HS ¹	TN ²	PFTN ³	P-valor*
Fuçando	10,3 _b	12,3 _{ab}	13,3 _a	0,0169
Comendo	4,34 _b	8,98 _a	5,22 _{ab}	0,0384
Ócio	82,1 _a	69,2 _b	74,0 _{ab}	0,0112
Brigando	0,184	2,31	1,84	0,308
Coçando	0,00	2,11	1,48	0,0550
Andando	0,645	2,52	1,88	0,682
Bebendo	2,37	2,61	2,29	0,973
Total (%)	100,00	100,00	100,00	

¹HS = Animais no calor recebendo ração referência à vontade;

²TN = Animais em conforto térmico recebendo ração referência à vontade;

³PFTN = Animais em conforto térmico recebendo ração referência com alimentação pareada ao consumo observado no HS;

*Letras diferentes, diferem estatisticamente através do teste de Friedman, ao nível de 5% de probabilidade.

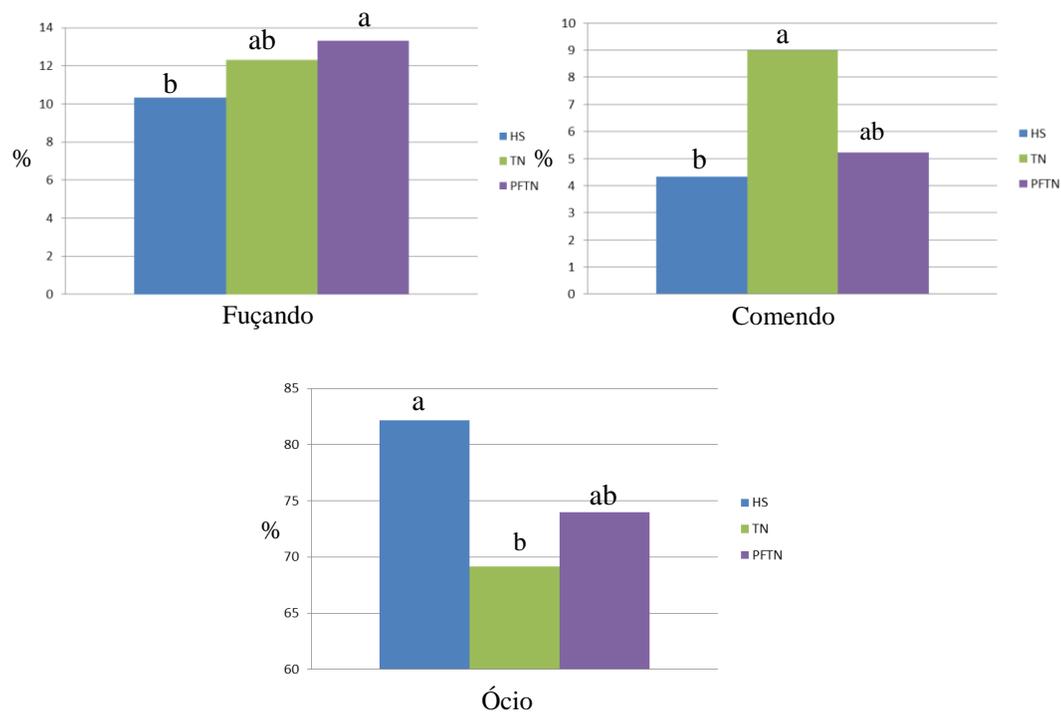


Figura 1. Frequência comportamental das atividades fuçando, comendo e ócio de suínos mantidos em calor (HS), conforto térmico (TN) e em conforto térmico com o consumo pareado ao HS (PFTN) em período nictemeral.

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados das concentrações plasmáticas de neutrófilos, linfócitos, relação neutrófilo/linfócito (N/L) e as concentrações séricas de T₃ total, glicose, uréia e creatinina nas fases de crescimento e terminação.

Na fase de crescimento, não houve efeito ($P>0,05$) dos tratamentos nas concentrações plasmáticas de neutrófilos, linfócitos, relação N/L e das concentrações séricas de T₃ total, glicose, uréia e creatinina.

Na fase de terminação, não houve efeito ($P>0,05$) dos tratamentos sobre as concentrações de T₃ total, de neutrófilos e de glicose, uréia e creatinina. Todavia, houve aumento ($P=0,0225$) na concentração de linfócitos nos animais que receberam PFTN em relação aos demais.

Tabela 5. Concentrações plasmáticas de neutrófilos, linfócitos, relação neutrófilo/linfócitos (N/L) e concentrações séricas de T₃ total, glicose, uréia e creatinina de suínos em crescimento e terminação mantidos em calor ou conforto térmico.

Variáveis	Tratamentos				P-valor*
	HS ¹	TN ²	PFTN ³	EPM	
Crescimento					
T3 total (ng/ml)	1,04	1,19	1,16	0,460	0,210
Neutrófilos (µl)	5.000	3.667	3.000	2.172	0,685
Linfócitos (µl)	8.145	11.340	12.157	2.310	0,107
Relação N/L	0,614	0,323	0,247	0,231	0,0700
Glicose (mg/dl)	66,3	86,3	97,3	12,2	0,0837
Uréia (mg/dl)	26,5	25,3	21,7	4,04	0,270
Creatinina (mg/dl)	5,13	1,98	1,97	1,51	0,194
Terminação					
T3 total (ng/ml)	1,12	1,66	1,18	0,251	0,154
Neutrófilos (µl)	6.304	3.148	4.720	1.115	0,200
Linfócitos (µl)	12.982 _b	13.333 _b	18.420 _a	1.369	0,0225
Relação N/L	0,486	0,236	0,256	0,346	0,304
Glicose (mg/dl)	71,6	83,3	87,5	9,27	0,106
Uréia (mg/dl)	17,2	22,2	12,3	3,18	0,102
Creatinina (mg/dl)	2,52	1,82	2,03	0,262	0,731

¹HS = Animais no calor (34°C);

²TN = Animais em conforto térmico (22°C);

³PFTN = Animais em conforto térmico (22°C) com alimentação pareada ao consumo observado no HS;

*Letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores de desempenho nas fases de crescimento e terminação e no período total de experimento são apresentados na tabela 6.

Pode-se observar que nas fases de crescimento e de terminação o estresse por calor de 34°C promoveu redução (P<0,05) no CRMD e no GPMD.

Na fase de crescimento, os animais mantidos no calor que receberam o tratamento HS apresentaram redução respectiva no CRMD de 24,4% em relação àqueles que receberam TN.

Tabela 6. Resultados de consumo de ração médio diário (CRMD), ganho de peso médio diário (GPMD), conversão alimentar (CA), peso inicial (PI), peso final (PF), consumo de lisina digestível (CLd) e eficiência de uso lisina para ganho (EULG) de suínos em crescimento e terminação mantidos em calor ou conforto térmico.

Variáveis	HS ¹	TN ²	PFTN ³	EPM	P-valor*
Crescimento					
CRMD (kg)	1,638 _b	2,174 _a	1,638 _b	0,0650	< 0,0001
GPMD (kg)	0,632 _c	0,928 _a	0,743 _b	0,0300	< 0,0001
CA	2,592 _b	2,343 _a	2,205 _a	0,0604	0,0023
Terminação					
CRMD (kg)	1,610 _b	3,070 _a	1,610 _b	0,119	0,0005
GPMD (kg)	0,654 _{ab}	0,944 _a	0,518 _b	0,0667	0,0113
CA	2,462	3,252	3,108	0,982	0,497
Total					
PI (kg)	30,458	30,483	30,842	0,627	0,890
PF (kg)	81,890 _{ab}	90,011 _a	78,108 _b	1,87	0,0113
CRMD (kg)	1,625 _b	2,526 _a	1,625 _b	0,0855	< 0,0001
GPMD (kg)	0,590 _b	0,991 _a	0,647 _b	0,0388	< 0,0001
CA	2,754	2,549	2,512	0,0752	0,0571
CLd (g/dia)	14,269 _b	22,182 _a	14,269 _b	0,751	< 0,0001
EULG (g/g)	41,067 _b	44,742 _{ab}	45,200 _a	1,03	0,0235
ET P2 (mm)	4,545 _{ab}	5,571 _a	3,543 _b	0,380	0,0191
PL P2 (mm)	44,756	46,490	42,596	1,96	0,1582
AOL P2 (mm)	43,168	41,729	38,661	2,59	0,1598

¹HS = Animais no calor (34°C);

²TN = Animais em conforto térmico (22°C);

³PFTN = Animais em conforto térmico (22°C) com alimentação pareada ao consumo observado no HS;

*Letras diferentes, diferem estatisticamente através do pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

No período total de experimento, a restrição alimentar influenciou negativamente (P=0,0113) o peso final (PF) dos suínos com redução respectiva de 13,2%, em relação aos que receberam TN.

No período total, os suínos que receberam HS e PFTN apresentaram menor CRMD (P<0,001) que os animais que receberam TN. Esta redução ocorreu na proporção de 35,6 %, em relação ao TN. Comportamento semelhante

pode ser observado no GPMD, onde os suínos que receberam HS e PFTN, no período total, apresentaram reduções ($P < 0,001$) respectivas de 40,5% e 34,7% em relação aos animais que receberam TN.

O consumo de lisina digestível (CLd) apresentou, no período total, resposta semelhante ao CRMD, onde os suínos que receberam HS e PFTN mostraram menor CLd ($P < 0,001$) que os animais que receberam TN. Entretanto, não foi observado ($P > 0,05$) efeito do calor sobre a eficiência de utilização de lisina para ganho (EULG). Por outro lado, os animais que receberam PFTN apresentaram maior EULG ($P = 0,0235$) que os animais mantidos no calor. Esta melhor EULG foi, respectivamente, de 10% em relação aos animais que receberam HS.

A restrição alimentar promoveu redução na espessura de toucinho (ET) ($P = 0,0191$), mas não influenciou na profundidade do lombo (PL) ($P = 0,1582$) e na área de olho de lombo (AOL) ($P = 0,1598$) dos suínos.

As características de carcaça e os pesos relativos dos diferentes órgãos avaliados (coração, pulmão, fígado, rins e baço) são apresentados na Tabela 7.

O calor ou a restrição alimentar promoveram menor ($P < 0,01$) peso de carcaça quente (PCQ). Entretanto, não houve efeito ($P > 0,05$) dos tratamentos sobre o rendimento de carcaça quente, pH inicial e comprimento de carcaça ou sobre o peso relativo do coração, pulmão e baço. Contudo, animais recebendo TN apresentaram maior peso relativo do fígado ($P = 0,0106$), em relação aos demais tratamentos, e, dos rins ($P = 0,0301$), em relação ao HS.

Tabela 7. Peso de carcaça quente (PCQ), rendimento de carcaça quente (RCQ), pH_{45min}, comprimento de carcaça, pesos relativos de coração, pulmão, fígado, rins e baço de suínos mantidos em calor ou conforto térmico

Tratamentos					
Variáveis	HS ¹	TN ²	PFTN ³	EPM	P-valor*
Características de carcaça					
PCQ (kg)	60,2b	80,4a	62,2b	2,24	< 0,0001
RCQ (%)	82,0	79,7	81,1	0,807	0,156
PH _{45min}	6,55	6,54	6,51	0,0679	0,897
CC (cm)	87,4	101	97,2	4,82	0,169
Pesos relativos (%)					
Coração	0,361	0,347	0,390	0,0120	0,0550
Pulmão	0,913	0,810	0,862	0,0402	0,209
Fígado	1,36b	1,51a	1,35b	0,0379	0,0106
Rins	0,269b	0,311a	0,282ab	0,0103	0,0301
Baço	0,137	0,131	0,140	0,00704	0,470

¹HS = Animais no calor (34°C);

²TN = Animais em conforto térmico (22°C);

³PFTN = Animais em conforto térmico (22°C) com alimentação pareada ao consumo observado no HS.

*Letras diferentes, diferem estatisticamente pelo através do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Discussão

Os maiores valores de FR, de temperaturas superficiais (TNu, TO, TPa e TPe) e da TR nos animais alojados na temperatura de 34°C, ocorreram em razão da intensidade do estresse térmico a que os mesmos animais foram submetidos. A primeira resposta dos suínos submetidos expostos a ambientes acima da TCS (temperatura crítica superior) foi o aumento da FR, decorrente da estimulação direta do centro hipotalâmico. O aumento da FR dos suínos criados sob temperaturas de estresse por calor, pode ser considerado um ajuste fisiológico para a manutenção da termorregulação (MANNO et al., 2006). A taquipneia também foi observada em suínos mantidos no calor por Manno et al. (2006) e Kiefer et al. (2010).

O aumento da temperatura superficial observados nos animais mantidos no calor, pode ser explicado pela vasodilatação periférica com o intuito de intensificar a termólise convectiva. Os resultados de temperatura superficial dos animais mantidos em conforto térmico, estão no intervalo considerado normal para animais homeotérmicos, conforme relatado por Huynh et al. (2005), que seria de 33 a 35°C. Resultados semelhantes foram obtidos por Hannas et al. (1999), que observaram temperaturas de superfície de pele na nuca, pernil dianteiro e traseiro, 8,6; 9,3 e 10,5%, respectivamente, sendo maiores nos animais mantidos em ambiente de calor que em relação a aqueles mantidos em conforto térmico. Da mesma forma, Manno et al. (2006) observaram um aumento de aproximadamente, 9,5 % para as temperaturas superficiais (nuca, paleta e pernil) em animais alojados em ambientes de 32°C, quando comparados com suínos em ambiente termoneutro (22°C). Yan et al. (2000), em experimento com suínos expostos a temperaturas de 10, 15, 20, 25, 30 e 35°C, durante 8 horas por dia, observaram que, em temperaturas de 10°C a 35°C, a temperatura da pele aumentou em 0,47°C para cada 1°C no aumento da temperatura do ar do ambiente interno da instalação.

A diferença encontrada para TR entre os animais em ambiente de conforto térmico e nos animais em calor, pode indicar que os mecanismos responsáveis pela redução de produção de calor e aumento da dissipação de calor, não foram suficientes para prevenir um aumento da temperatura corporal. No entanto, a mudança na TR, também pode ser considerada como parte do mecanismo termorregulatório do suíno, para manter um gradiente de temperatura entre o núcleo e a temperatura de superfície (RENAUDEAU et al. 2008). O aumento da TR, para suínos expostos a altas temperaturas, também foi observado por Huynh et al. (2005), trabalhando com suínos em terminação, expostos a temperaturas de 16 e 32°C. Patience et al. (2005) e Renaudeau, Huc e Noblet (2007) também observaram um aumento da TR quando trabalharam com

suínos em crescimento, expostos a temperatura de 24 e 31°C e 20 a 38°C respectivamente.

De uma forma geral, pode-se observar que os suínos, em ambos os tratamentos, permaneceram a maior parte do tempo na posição deitado (em ócio). Nossos resultados corroboram os obtidos por Leite et al. (2006), que observaram que os suínos permaneceram a maior parte do tempo deitados com frequência percentual superior a 61% do tempo avaliado. Os animais expostos ao HS, permaneceram maior tempo em ócio, comparado aos mantidos em TN. O mesmo foi observado em estudos realizado por Kiefer et al. (2009; 2010), respectivamente, para suínos em crescimento e terminação.

Os animais submetidos a HS permaneceram menos tempo comendo e fuçando, comparados aos animais em TN. Os resultados obtidos confirmam o relato de que suínos, em fase de crescimento e terminação, quando alojados em ambientes com temperaturas elevadas reduzem o metabolismo e a atividade física (NIANABER et al. 1996), de modo a reduzir a produção de calor endógeno. Da mesma forma, Collin et al. (2001), Kiefer et al. (2009; 2010) observaram menor atividade exploratória (fuçando ou buscando alimento) dos suínos em função do aumento da temperatura ambiente.

Apesar da intensidade do estresse térmico, não houve redução das concentrações de T_3 total em suínos nas fases de crescimento e terminação. Os resultados encontrados no presente trabalho, vão de encontro aos relatos comumente observados na literatura por vários autores que verificaram a existência de influência ambiental nas concentrações séricas e/ou plasmáticas de T_3 (FIALHO, 1994; OLIVEIRA E DONZELE, 1999 e PATIENCE et al., 2005).

Apesar de o calor não ter interferido nos parâmetros hematológicos dos suínos na fase de crescimento e terminação, a restrição do consumo dos animais submetidos em PFTN, provocou uma linfocitose. Esse aumento de linfócitos não foi suficiente para influenciar na relação N/L. Essa resposta possivelmente foi

causada pelo aumento da secreção de adrenalina que é estimulada pelo sistema nervoso autônomo em situações de hipoglicemia (MARZZOCO et al. 2007). A adrenalina promove a mobilização de linfócitos para a circulação geral, aumentando a contagem total, causando a linfocitose fisiológica (GONZÁLEZ et al. 2008).

Apesar do calor não ter interferido na concentração de glicose, os animais submetidos ao HS apresentaram concentrações abaixo dos valores de referência recomendados por Kaneko et al., (2008). Possivelmente, a energia que seria utilizada para deposição muscular foi desviada para manutenção, o que pode ter efeito mais drástico quando os suínos são submetidos a estresse por calor. Esses resultados evidenciam uma possível influência do ambiente no metabolismo do animal, corroborando com Dantas et al. (2014), que estudaram o perfil metabólico e ponderal de suínos em início de crescimento submetidos a ambiente de conforto térmico ou estresse por calor, onde encontraram menores valores de glicose em ambientes de estresse térmico.

Apesar do estresse por calor não ter influenciado na concentração de uréia, somente TN atende aos valores de referências propostos por Kaneko et al. (2008), uma vez que os animais recebendo PFTN na fase de crescimento e HS e PFTN na fase de terminação apresentaram valores inferiores.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Freitag et al. (2014) que avaliaram a redução da proteína bruta em rações sobre os parâmetros sanguíneos de suínos na fase inicial de crescimento em temperaturas de estresse por calor (28,77°C) e temperatura de conforto (18,13°C), no qual não observaram diferenças nas concentrações plasmáticas de uréia.

Todos os animais apresentaram valores de creatinina considerados normais para a categoria (KANEKO et al., 2008). Esses resultados diferem com os encontrados por Freitag et al. (2014) que observaram aumento da concentração de creatinina em animais submetidos a estresse por calor.

O menor GPMD observado nos animais mantidos em HS pode ser explicado pela redução do CRMD, uma vez que foi menor em comparação ao TN, ou seja, o ganho acompanhou o consumo. Os suínos expostos a temperaturas acima da crítica superior, reduzem o consumo de alimento (e consequentemente de nutrientes) na tentativa de diminuir a taxa metabólica, no intuito de reduzir a temperatura corporal, ocorrendo redução do desempenho. Outro fator, seria o gasto energético, promovido para a dissipação do calor, tendo como consequência o aumento de dias para chegar ao peso de abate. Esses resultados estão de acordo com estudos realizados por Manno et al. (2005; 2006) e por Kiefer et al. (2005; 2009; 2010) que evidenciaram piora no desempenho de suínos na fase de crescimento, submetidos a estresse por calor.

A equiparação do CRMD resultou, para os animais do PFTN na fase de crescimento e terminação, em uma restrição alimentar, respectivas de 24,4 % e 47,6 % em relação aos animais do TN. Apesar do consumo semelhante, as respostas de GPMD apresentadas pelos suínos que receberam HS e PFTN foram diferentes na fase de crescimento, onde os animais que receberam PFTN apresentaram desempenho superior. Isso pode apenas em parte, ser justificado pela intensidade do estresse por calor promovido nos animais, pois, de acordo com Collin et al. (2001), o efeito negativo da alta temperatura sobre o GPMD dos suínos não se explicaria somente pela redução do consumo de ração. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Manno et al. (2006) e por Morales et al. (2014) que pareando a alimentação de suínos em conforto térmico aos submetidos a estresse por calor na fase de crescimento, evidenciaram que o efeito da alta temperatura não estaria restrito à redução do consumo. Adicionalmente, Quiniou, Dubois e Noblet (2000) estudando o efeito do ambiente, observaram que existe relação da temperatura ambiente com o consumo de ração e com o peso vivo dos animais.

Os animais submetidos ao ambiente de alta temperatura (HS), apresentaram diferença de conversão alimentar em relação aos mantidos em conforto na fase de crescimento, independentemente do programa de alimentação (TN ou PFTN). A variação proporcional equivalente no CRMD e GPMD nestes tratamentos podem explicar os resultados obtidos. Nossos resultados diferem dos obtidos por Manno et al. (2006) que verificaram, em leitões na fase de crescimento, que os animais expostos à alta temperatura apresentaram melhor eficiência alimentar (2,08) que os mantidos em conforto térmico, alimentados à vontade (2,22) ou de forma pareada (2,23).

Tavares et al. (2000), em estudo com suínos em crescimento, verificaram piores valores de conversão alimentar em animais sob estresse por calor, enquanto Oliveira et al. (1997) não notaram diferenças para essa variável, em suínos na fase inicial mantidos em ambientes de termoneutralidade ou de alta temperatura. Estes resultados poderiam estar associado a uma menor eficiência dos suínos, em alta temperatura, na utilização da energia para crescimento (RENAUDEAU et al. 2008), visto que parte dos nutrientes é desviada para a dissipação do calor.

O consumo de lisina digestível (CLd) apresentou variação similar ao consumo de ração, entretanto os animais submetidos ao HS foram menos eficientes que os mantidos em PFTN, indicando um possível efeito da temperatura ambiente na alteração do metabolismo protéico dos animais, uma vez que em condições de estresse por calor, os suínos realizam gliconeogênese com maior intensidade para obtenção de energia (PEARCE et al., 2013). Além do mais, a lisina que é o primeiro aminoácido limitante, ela é cetogênica. Adicionalmente, o intenso estresse por calor associado ao maior gasto de energia para manutenção, em função da termólise aumentada, pode ter comprometido a EULG nos animais submetidos a HS.

Esses resultados diferem dos relatados por Collin et al. (2001) com suínos mantidos sob estresse por calor, observaram que são metabolicamente mais eficientes nos processos de síntese, reduzindo o *turnover* protéico. Esses resultados diferem são diferentes com os descritos por Manno et al. (2006) que em estudo com suínos em crescimento submetidos a estresse por calor, conforto e com alimentação pareada no conforto, verificaram a melhor EULG nos animais submetidos a estresse por calor.

Os animais submetidos ao conforto térmico (TN), apresentaram maiores espessura de toucinho (ET) em relação aos mantidos em PFTN. É possível que, o menor consumo de energia promovida pela restrição do CRMD dos animais submetidos a PFTN, seja o responsável pela diminuição da ET. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Manno et al. (2006) que observaram modificações de composição de carcaça em função da restrição alimentar de suínos submetidos a conforto térmico, ambiente térmico que resultaram em redução das deposições diárias de proteína e de gordura na carcaça dos suínos em comparação aos mantidos sob ambiente de conforto térmico com alimentação à vontade.

Em contrapartida, Pearce et al. (2013) em estudo com suínos em crescimento, verificaram maior ET em carcaças de suínos submetidos a estresse por calor recebendo ração a vontade, comparado com animais em conforto térmico recebendo ração a vontade e pareado com o consumo apresentado nos animais em estresse térmico.

Os animais submetidos ao HS e o PFTN apresentaram carcaças mais leves. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Manno et al. (2005; 2006), Kiefer et al. (2009; 2010) que observaram peso de carcaças mais leves em suínos submetidos a estresse por calor. Manno et al. (2006) observaram suínos na fase de crescimento em conforto térmico com alimentação pareada

com suínos em estresse por calor carcaça mais leves, em comparação aos estresse por calor e ao conforto térmico alimentados à vontade.

Apesar de os animais mantidos em TN apresentarem carcaças mais pesadas, não se verificou efeito dos tratamentos sobre o rendimento de carcaça quente (RCQ). Este resultado ocorreu, provavelmente, porque com exceção do peso de fígado e dos rins, os pesos relativos das vísceras não foram influenciados pelos tratamentos. A redução dos pesos relativos das vísceras e dos órgãos em razão da alta temperatura, era esperada neste estudo, em decorrência da alta taxa de gasto de energia relativa ao seu tamanho, o que teria substancial impacto no requerimento de manutenção dos animais (FERREL E KOONG, 1986). Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Orlando et al. (2007), Ferreira et al. (2007) e Le Bellego et al. (2002), que, em pesquisa com suínos em crescimento mantidos em ambiente quente, também não observaram efeito significativo dos níveis de PB sobre o peso relativo dos órgãos avaliados.

Rinaldo, Le Dividich e Noblet (2000) estudando o efeito do clima tropical sobre o desempenho de suínos nas fases iniciais de crescimento encontraram constataram que a redução do fígado e rins estão mais ligados à redução do consumo voluntário e geração de calor interno, resultados semelhantes ao encontrado no presente trabalho.

Conclusões

O estresse por calor de 34° C alterou a fisiologia dos suínos em crescimento e terminação, afetando negativamente seu desempenho e o comportamento dos animais.

Os efeitos deletérios do estresse por calor em suínos não decorrem somente da redução no consumo de ração.

Referências

ACTION. Sistema de Análise Estatística. Versão 2.0, 2011. Disponível em: www.portalaction.com.br. Acesso em 20/08/2015.

BUFFINGTON, et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.24, n.3, p. 711 – 714, 1981.

COLLIN, et al. Effect of high temperature and feeding level on energy utilization in piglets. **Journal of Animal Science**, [S.L], v.79, p.1849-1857, 2001.

DANTAS, et al. Perfil metabólico e ponderal de leitões submetidos a dietas com diferentes teores de fósforo em ambientes térmicos distintos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L], v.49, n.11, p.901-910, 2014.

FERREIRA, et al. Redução da proteína bruta e suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados dos 30 aos 60 kg mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa MG, v.33, n.4, p. 818-824, 2007.

FERREL, et al. Influence of plane nutrition on body composition, organ size and energy utilization of spraguedawley rats. **Journal of Nutrition**, [S.L], v.116, p.2525-2535, 1986.

FIALHO, E.T. **Simpósio latino-americano de nutrição de suínos - anais** : Influência da temperatura ambiental sobre a utilização da proteína e energia em suínos em crescimento e terminação. São Paulo: CBNA, 1994. p.63-83.

FREITAG, et al. Redução da proteína bruta em rações sobre os balanços metabólicos de suínos mantidos em diferentes condições térmicas. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 61-70, 2014.

GONZÁLEZ, et al. **Patologia clínica veterinária: texto introdutório**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 342 p

HANNAS, et al. Efeito da temperatura ambiente sobre parâmetros fisiológicos e hormonais de leitões dos 15 aos 30 kg. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1999, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: SBZ, 1999. p.226.

HUYNH, et al. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.83, n.6, p. 1385-1396, 2005.

KANEKO, et al. **Clinical biochemistry of domestic animals**. 5th ed. San Diego: Academic Press, 2008. 932p.

KIEFER, et al. Exigência de metionina+cistina digestíveis para suínos machos castrados mantidos em ambiente termoneutro dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.34, p.844-854, 2005.

KIEFER, et al. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Archivos de Zootecnia**, [S.L], v.58, n.221, p.55-64, 2009.

KIEFER, et al. Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos. **Revista Brasileira de Saude e Produção Animal**, [S.L], v.11, n. 2, p. 496-504, 2010.

LE BELLEGO et al. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, [S.L], v.80, p.691-701, 2002.

LEITE, et al. Comportamento de suínos submetidos a diferentes sistemas de pastejo em pastagem de trevo-branco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.35, n.4, p.1774-1779, 2006.

MANNO, et al. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 15 aos 30kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.34, n.6, p.1963-1970, 2005.

MANNO, et al. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.471-477, 2006.

MARZZOCO, A. et al. **Bioquímica Básica**, 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

MORALES, et al. Performance, serum amino acid concentrations and expression of selected genes in pair-fed growing pigs exposed to high ambient

temperatures. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, [S.L], v. 98, p. 928–935, 2014.

OLIVEIRA, et al. Effect of environmental temperature on performance and on physiological and hormonal parameters of gilts fed different levels of digestible energy. **Animal Feed Science and Technology**, [S.L], v.81, p.319-331, 1999.

OLIVEIRA, et al. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e sobre parâmetros fisiológicos e hormonais de leitões consumindo dietas com diferentes níveis de energia digestível. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.26, p.1173-1182, 1997.

ORLANDO, et al. Níveis de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para leitoas dos 30 aos 60 kg mantidas em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.36, p. 1573-1578, 2007.

PATIENCE, et al. Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 96, n. 2/3, p. 205-214, 2005.

PEARCE, et al. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.91, p.2108–2118, 2013.

QUINIOU, et al. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 63, p. 245-253, 2000.

RENAUDEAU, et al. Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.85, n.3, p.779–790, 2007.

RENAUDEAU, et al. Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs. **Animal: an international Journal of Animal Bioscience**, Champaign, v.2, n. 11, p. 1619-1626, 2008.

RINALDO, et al. Adverse effects of tropical climate on voluntary feed intake and performance of growing pigs. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 66, p. 223-234, 2000.

ROSTAGNO, et al. **Tabela Brasileira para Aves e Suínos**. Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 197p.

SAS INSTITUTE. SAS user's guide. Version 9.0. Cary: SAS Institute, 2000. 544p.

SOUZA, G.H.C. **Níveis de ractopamina em dietas para suínos em terminação**. 2011. 43p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2011.

TAVARES, et al. Influência da temperatura ambiente sobre o desempenho e os parâmetros fisiológicos de suínos machos castrados dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.1, p.199- 205, 2000.

WHITE, H.M., et al. Effects of temperature stress on growth performance and bacon quality in grow-finish pigs housed at two densities. **Journal of Animal Science**, v.86, p.1789-1798, 2008.

YAN, P.S.; YAMAMOTO, S. Relationship between thermoregulatory responses and heat loss in piglets. **Animal of Science Journal**, Champaign, v.71, n.10, p. 505-509, 2000.

**ARTIGO 3 PREDIÇÃO DA FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA E TEMPERATURA
RETAL DE SUÍNOS EM ESTRESSE POR CALOR UTILIZANDO SISTEMA FUZZY.**

O artigo foi editorado com base nas normas da revista Ciência e Agrotecnologia.

Predição da frequência respiratória e temperatura retal de suínos em estresse por calor utilizando sistema fuzzy

Resumo: A frequência respiratória e a temperatura retal se destacam como indicadores de estresse por calor em suínos, entretanto, exigem tempo e mão de obra para mensurações. A possibilidade de uso de termografia infravermelha associada a sistemas de predição destas variáveis fisiológicas pode auxiliar na tomada de decisões viabilizando maior bem estar e produtividade dos animais. Com este objetivo, foi realizado um experimento com suínos em crescimento, submetidos a estresse agudo e crônico por calor, trabalhando com uma temperatura de termoneutralidade (22°C) e de estresse por calor (34°C). Os resultados foram utilizados para o desenvolvimento de um modelo *fuzzy*, utilizando como variáveis de entrada: temperatura de bulbo seco do ar (°C), temperatura média superficial (°C) e, como variáveis de saída: frequência respiratória (mov.min⁻¹) e temperatura retal (°C). O método de inferência utilizado foi o de Mamdani, tendo sido elaboradas seis regras e a técnica de defuzzificação usada foi a do Centro de Gravidade. Nos resultados obtidos na simulação do modelo, quando comparados com os dados experimentais, evidencia-se eficiência satisfatória na determinação da frequência respiratória e da temperatura retal, nas quais os valores de R² calculados foram respectivamente 0,997 e 0,951 para o estresse agudo e 0,993 e 0,964 para o estresse crônico por calor.

Palavras-chave: Ambiência animal, lógica *fuzzy*, suinocultura, termografia infravermelha.

Abstract: The respiratory rate and rectal temperature stand out as heat stress indicators in pigs however they require time and manpower for measurements. The possibility of using infrared thermography associated with prediction systems of these physiological variables can assist in making decisions enabling greater well-being and productivity of the animals. Thus, an experiment was conducted with growing pigs subjected to acute and chronic heat stress, working with a thermoneutral temperature (22°C) and heat stress (34°C). The results were used to develop a fuzzy model using as input variables:

dry bulb air temperature ($^{\circ}\text{C}$), average surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) and as output variables: respiratory rate ($\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$) and rectal temperature ($^{\circ}\text{C}$). The inference method used was Mamdani's, with six rules and the defuzzification technique used was the center of gravity. The results obtained in the model simulation, when compared to the experimental data, showed a satisfactory efficiency in the determination of the respiratory rate and rectal temperature, in which R2 calculated values were respectively 0.997 and 0.951 for acute stress and 0.993 and 0.964 for chronic heat stress.

Keywords: animal environment, fuzzy logic, infrared thermography, swine production

Introdução

No cenário competitivo atual, construir e gerenciar conhecimentos de apoio a especialistas no controle de processos de maneira geral, pode ser útil para uma unidade de produção, seja industrial ou agropecuária, principalmente quando se trata de processos que ocorrem sob incertezas e com dados incompletos.

O ambiente físico, por abranger os elementos meteorológicos que afetam os mecanismos de transferência de energia, a regulação e o balanço térmico entre o animal e o meio, exerce forte influência sobre o desempenho e a saúde dos animais (Sampaio et al., 2004).

A zootecnia de precisão pode auxiliar a tomada de decisão no manejo diário na produção de suínos. Assim, denomina-se “Suinocultura de Precisão” parte da suinocultura, que emprega o uso da tecnologia da informação, sensores e atuadores para o registro de informações relacionadas ao sistema de produção e às interferências das variáveis ambientais nas unidades produtivas.

A suinocultura de precisão visa reduzir ou evitar perdas localizadas, o que propicia melhor controle sobre a utilização dos recursos envolvidos na cadeia produtiva. As tecnologias trazem soluções simples e eficientes para grandes problemas, relacionados com o ambiente, manejo de equipamentos e controle de rebanhos na produção industrial de suínos (Pandorfi et al., 2005).

Um sistema bem elaborado pode responder a situações de adversidade de forma inteligente, com a incorporação de ferramentas computacionais, tais como lógica *fuzzy*, que propicia o melhor entendimento de determinada problemática de forma interessante. A lógica *fuzzy* (difusa) é uma técnica que pode resolver problemas de modelagem complexa, com aspectos qualiquantitativos sujeitos às variações probabilísticas relevantes, ou descritos por bases de dados diferentes e incompletos.

Segundo a literatura (Zadeh, 1973; Altrock, 1995; Andrade, 1997), a utilização da lógica *fuzzy* é especialmente adequada a problemas de natureza biológica, pois estes apresentam as seguintes características: o processo é definido de maneira vaga, imprecisa, incerta; há ocorrência de situações de difícil estimação ou avaliação dos parâmetros que definem o processo; o sistema é não linear e variante no tempo; há ocorrência de situações nas quais é difícil o registro do valor das variáveis; as medidas podem ser pouco confiáveis.

Partindo desse princípio, a introdução dos conhecimentos da teoria dos conjuntos *fuzzy* na área de produção animal, principalmente relacionando aos sistemas do ambiente construído e às construções rurais propriamente ditas, mostra-se inovadora e atual. Deve-se considerar que essa ferramenta pode auxiliar muito as tomadas de decisões em projetos de automação em ambientes climatizados, considerando uma série de variáveis de entrada, que possam refletir eficientemente as respostas do usuário, nesse caso os animais. O uso da teoria dos conjuntos *fuzzy* permitiu inferir dados ambientais resultantes do setor de gestação, com 24 matrizes primíparas, 12 fêmeas alojadas em baias individuais e 12 em baias coletivas, com os estabelecidos pela literatura, por intermédio de base de regras, para a determinação do conforto térmico ambiental, aplicado a matrizes na fase de gestação (Pandorfi et al., 2007).

As informações obtidas dos sistemas de produção geralmente são interpretadas em termos linguísticos. Os índices de desempenho, a qualidade do produto final, do ambiente de criação e, atualmente, o bem-estar animal são parâmetros avaliados qualitativamente e classificados por variáveis linguísticas. Dessa forma, a aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* vem ocorrendo nas áreas de ambiência e de produção animal, por pesquisadores brasileiros, (Queiroz et al., 2005; Amendola et al., 2004; Amendola et al., 2005; Mollo Neto et al., 2005; Nakamura et al., 2002; Nääs et al., 2004; Oliveira et

al., 2004; Oliveira et al., 2005; Ferreira et al., 2006; Yanagi Junior et al., 2006) que comprovam a eficácia do uso dessa ferramenta em seus estudos de ambiência e de bem-estar animal.

Diante da versatilidade apresentada por esta ferramenta matemática computacional, o presente trabalho teve o objetivo de desenvolver um modelo *fuzzy* para predição da temperatura retal de suínos submetidos a estresse agudo e crônico por calor.

Material e Métodos

A utilização de animais do experimento foi aprovado pelo CEUA (Comitê de Ética de Utilização de Animais) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) com o protocolo número 059/14.

Foram utilizados 24 suínos machos castrados, de linhagem híbrida comercial de alto potencial genético, com peso médio inicial de $30,5 \pm 0,6$ kg e idade média de 77 ± 2 dias. Os animais foram alojados em duas câmaras climatizadas com controle de temperatura, umidade e ventilação. Cada câmara possuía seis baias experimentais com piso de concreto, área útil de 2,3 x 1,5m, dotadas de comedouro semi-automático e bebedouros do tipo chupeta com regulagem de altura.

Em cada câmara foram alojados 12 suínos (dois animais por baia), sendo a baia a unidade experimental (n=6). Os animais foram distribuídos em delineamento experimental de blocos casualizados, constituindo-se em dois tratamentos: (Tratamento 1 – termoneutralidade a 22°C, n=6) e (Tratamento 2 – estresse por calor a 34°C, n=6). O experimento teve dois períodos experimentais, com o intuito de caracterizar dois tipos de estresse: O estresse agudo e o estresse crônico por calor. O período experimental do estresse agudo por calor teve duração de 48 horas, e do estresse crônico teve duração de 71 dias. O peso inicial foi usado como critério para a formação dos blocos.

As condições ambientais das câmaras climáticas foram monitoradas durante todo período experimental por termohigrômetro digital (Modelo 7666.02.0.00, Fabricante: Cotronic Technology Ltd - Incoterm, China, com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$ e $\pm 5\%$ UR), com

sensor interno e sensor externo acoplado a globo negro. Quatro (dois em cada câmara) equipamentos foram mantidos em diferentes pontos das unidades experimentais à meia altura do corpo dos animais e as leituras foram utilizadas para calcular o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) (Buffington et al., 1981).

Os animais receberam dieta (Tabela 1), formulada a base de milho e farelo de soja, suplementada com vitaminas e minerais, para atender às exigências mínimas sugeridas pelas Tabelas Brasileiras de exigências nutricionais para suínos (Rostagno et al. 2011). Foram consideradas as recomendações para machos castrados de alto potencial genético com peso médio dos 30 a 50, 50 a 70 e dos 70 aos 100 kg. Os animais receberam água e ração à vontade durante os períodos experimentais.

Foram realizadas imagens termográficas dos animais alojados nas duas câmaras, visando avaliar sua temperatura média superficial (TMS). No estudo do estresse agudo foram coletadas as imagens, junto com a frequência respiratória (FR), e temperatura retal (TR) dos suínos, no início do experimento e a cada quatro horas. No estudo do estresse crônico, após a pesquisa do estresse agudo, foram coletadas as mesmas variáveis a cada sete dias até o fim do período experimental. Para coleta de dados de FR foi realizada a contagem de movimentos do flanco de cada animal por 15 segundos, sendo o resultado multiplicado por quatro para a obtenção dos movimentos por minuto (mov/min). Em sequência, foram mensuradas a TMS e a TR. A TMS foi coletada por meio de um termovisor Fluke modelo Ti55, com precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. A partir das imagens termográficas dos animais, foi delineado a superfície corporal de um animal por unidade experimental, para a determinação dos valores de temperatura média superficial. A TR foi aferida por meio de termômetro clínico digital, com precisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Posteriormente à coleta experimental, os dados de temperatura do ar, FR, TMS e TR para cada tratamento foram tabelados, os quais foram utilizados para a validação do modelo matemático proposto.

Os conjuntos foram elaborados para caracterizar cada variável, determinando uma função de pertinência para cada conjunto. Buscando quantificar a importância da duração do estresse por calor, nesta pesquisa, foram atribuídas como variáveis de entrada a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e a temperatura média superficial ($^{\circ}\text{C}$) no estresse agudo e crônico por calor. Assim, foram determinados os intervalos para cada variável

de entrada em cada estresse, conforme a Tabela 2 para, estresse agudo e crônico, por calor e suas respectivas curvas de pertinência (Figura 1). Na escolha do melhor formato das curvas para as funções de pertinência, foram realizados testes preliminares, no qual foi verificado que as curvas trapezoidais representariam satisfatoriamente os dados de entrada e saída, por resultarem menores valores de desvio-padrão.

Para cada tipo de estresse (agudo e crônico) por calor, as curvas de pertinência das variáveis de saída (Frequência respiratória e temperatura retal), ficaram caracterizadas como triangulares (Figuras 2 e 3), por reproduzirem melhor o conjunto de dados e por resultarem menores valores de desvio-padrão nos testes preliminares realizados, sendo assim, utilizada por diversos autores (Santos et al., 2009; Ponciano et al., 2012).

Na realização de todo o raciocínio *fuzzy*, foi aplicado o método de inferência de Mamdani que fornece as respostas de um conjunto de acordo com as combinações dos valores de entrada, com seus relativos graus de pertinência por meio de um operador mínimo, e em seguida, pelas definições das regras por meio do operador máximo (Leite et al., 2010). O método de Centro de Gravidade (Centroide ou Centro de Área) foi utilizado na defuzzificação, no qual admite todas as alternativas de saída, convertendo os conjuntos em valores numéricos (Leite et al., 2010).

As regras foram definidas por meio de sentenças linguísticas, com base nos dados coletados de estresse agudo e crônico por calor (tabela 3) e se integram em uma característica substancial na temperatura de um sistema de inferência *fuzzy*, que terá uma determinada temperatura retal de acordo com as regras pré-determinadas. Dessa forma, para o desenvolvimento da lógica *fuzzy* é necessário que o profissional seja qualificado para evitar possibilidades de contradições nas interações entre as regras (Cherriet al., 2011).

De acordo com as combinações da temperatura do ar, da frequência respiratória e da temperatura média superficial, foram definidas seis regras para cada tipo de estresse por calor (agudo e crônico) e, para cada regra, foi atribuído um fator de ponderação igual a um (1), pelo fato de todas as regras possuírem a mesma importância na determinação das respostas do modelo, conforme adotado por diversos autores (Cremasco et al., 2010; Yanagi Junior et al., 2012; Schiassi et al., 2014). Ademais,

testes realizados atribuindo outros pesos as regras, não resultaram em redução dos erros de simulação.

Tabela 1. Composição centesimal e química das rações experimentais

Ingredientes	Fases		
	Crescimento 1	Crescimento 2	Terminação 1
Milho	71,8040	75,1750	81,3134
Farelo de soja	22,6225	19,0000	11,8411
Farelo de trigo	1,5000	2,0000	2,5000
Óleo de soja	0,7500	0,6800	0,3875
Fosfato Bicálcico	1,1270	0,8100	0,7427
Calcário	0,7106	0,9613	0,5724
Sal	0,3880	0,3617	0,3300
Suplemento Mineral ¹	0,2500	0,2500	0,1500
Suplemento Vitamínico ²	0,3000	0,3000	0,3000
DL-Metionina 99	0,0756	0,0467	0,2268
L-Lisina 50,7	0,4005	0,3661	1,2012
L-Treonina 98,5	0,0646	0,0429	0,3316
L-Triptofano	0,0072	0,0063	0,1033
Total	100,000	100,000	100,000
BED ³	158	144	96
Composição calculada ⁴			
Proteína bruta (%)	16,820	15,430	13,830
EM (kcal/kg)	3230,000	3230,000	3230,000
Lisina dig. (%)	0,927	0,823	0,763
M + Cisdig. (%)	0,547	0,486	0,458
Treonina dig. (%)	0,603	0,535	0,511
Triptofanodig. (%)	0,167	0,148	0,137
Fósforo disp. (%)	0,311	0,250	0,231
Sódio (%)	0,180	0,170	0,166
Cloro (%)	0,286	0,270	0,251
Potássio (%)	0,626	0,573	0,371
Cálcio (%)	0,630	0,641	0,474

¹Composição por kg de produto: cálcio, 98.800 mg; cobalto, 185 mg; cobre, 15,750 mg; ferro, 26.250 mg; iodo, 1.470 mg; manganês, 41.850 mg; zinco, 77.999 mg.

²Composição, por kg de produto: ácido fólico, 116,55 mg; ácido pantotênico, 2.333,5 mg; biotina, 5,28 mg; niacina, 5.600 mg; piridoxina, 175 mg; riboflavina, 933,3 mg; tiamina, 175 mg; Vit. A, 1.225.000 U.I.; Vit. D₃, 315.000 U.I.; Vit. E, 1.400 mg; Vit. K₃, 700 mg; Vit. B₁₂, 6.825 mg; selênio, 105 mg; antioxidante: 1.500 mg.

³Balço eletrolítico (número de Mogin).

⁴Composição calculada com base nas exigências de suínos machos castrados de alto potencial genético com desempenho médio, sugeridas pelas Tabelas Brasileiras editadas por Rostagno, et al. (2011) pág.196.

Tabela 2. Conjuntos para as variáveis de entrada do estresse agudo e crônico por calor

Temperatura do ar (°C)		Temperatura média superficial (°C)		
Estresse agudo				
T1	T2	SA1	SA2	SA3
22	34	[31,7;34,5]	[34,6;37,4]	[37,5;40,3]
Estresse crônico				
T1	T2	SC1	SC2	SC3
22	34	[30,5;33,9]	[34,0;37,4]	[37,5;40,9]

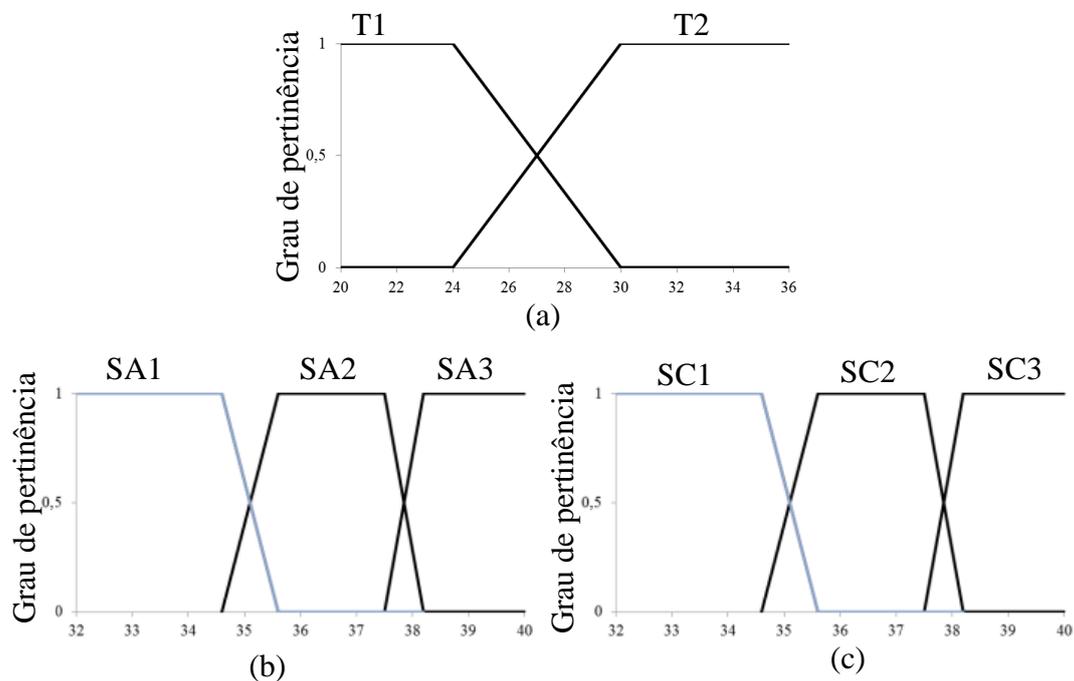


Figura 1. Funções de pertinência para as variáveis de entrada do estresse agudo e crônico por calor: a) Temperatura do ar (°C), b) Temperatura média superficial aguda, c) Temperatura média superficial crônica.

As simulações foram empregadas com o auxílio do Fuzzy Toolbox® do Matlab®, software version 7,13,0,564 (R2011b), onde toda a modelagem foi elaborada. Na avaliação do modelo proposto, a resposta fisiológica dos suínos foi simulada, bem como comparada com os dados adquiridos experimentalmente por meio do desvio padrão e do erro percentual.

Em um âmbito mais amplo, objetiva-se com esses testes avaliar a capacidade de como a modelagem pode prever o valor de TR, abordando todas as prováveis combinações de variáveis iniciais. Dessa forma, a TR de suínos nas fases de crescimento e terminação, fornecida como resposta do sistema, pode ser utilizada como ferramenta para tomadas de decisões no controle do ambiente produtivo em casos de estresse agudo e crônico por calor.

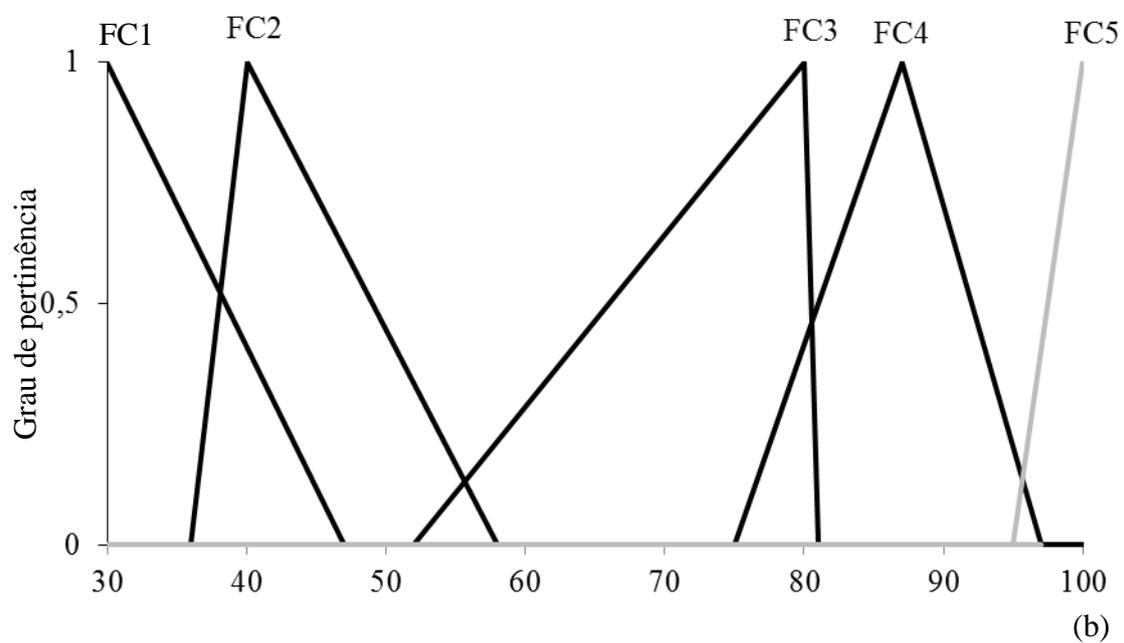
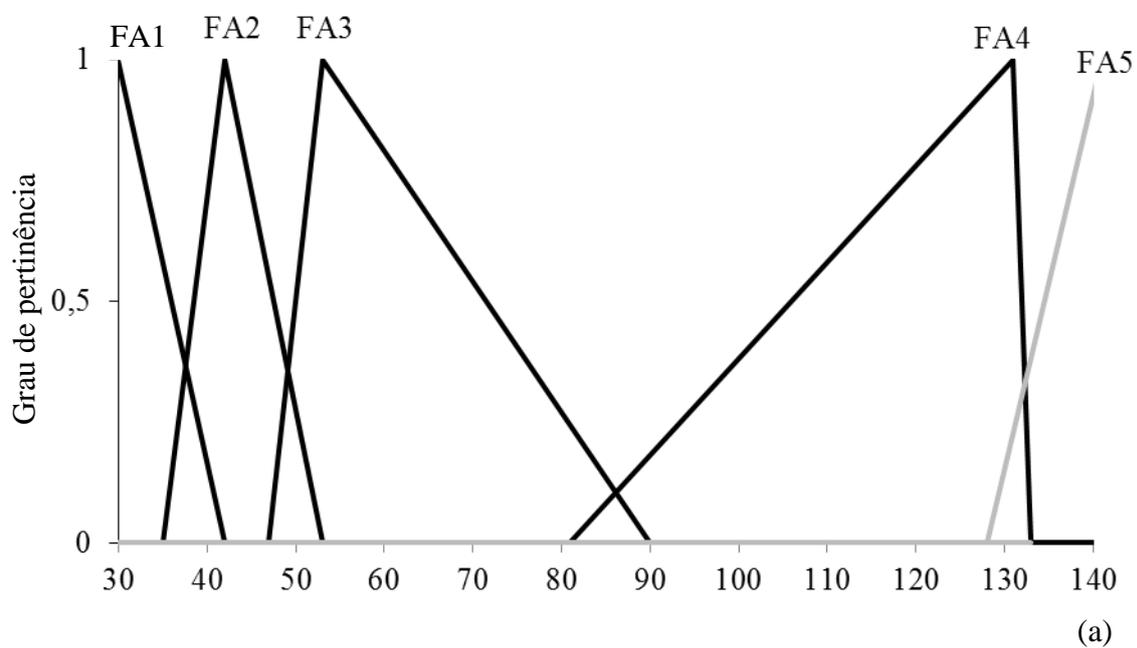


Figura 2. Funções de pertinência para as variáveis de saída do estresse agudo e crônico por calor: a) Frequência respiratória do estresse agudo por calor (mov.min^{-1}), b) Frequência respiratória do estresse crônico por calor (mov.min^{-1}).

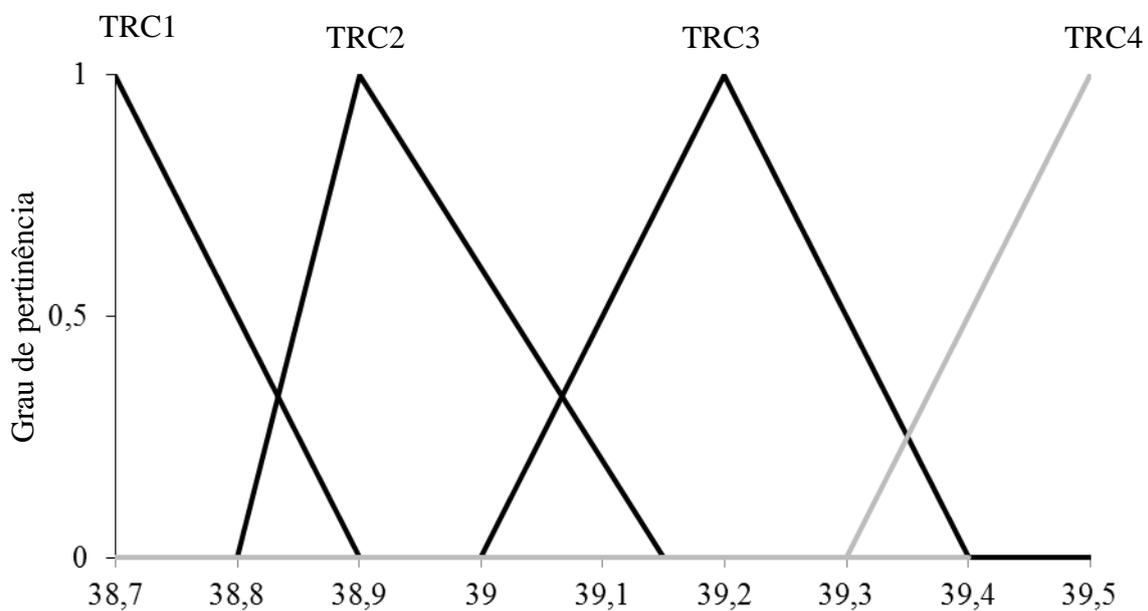
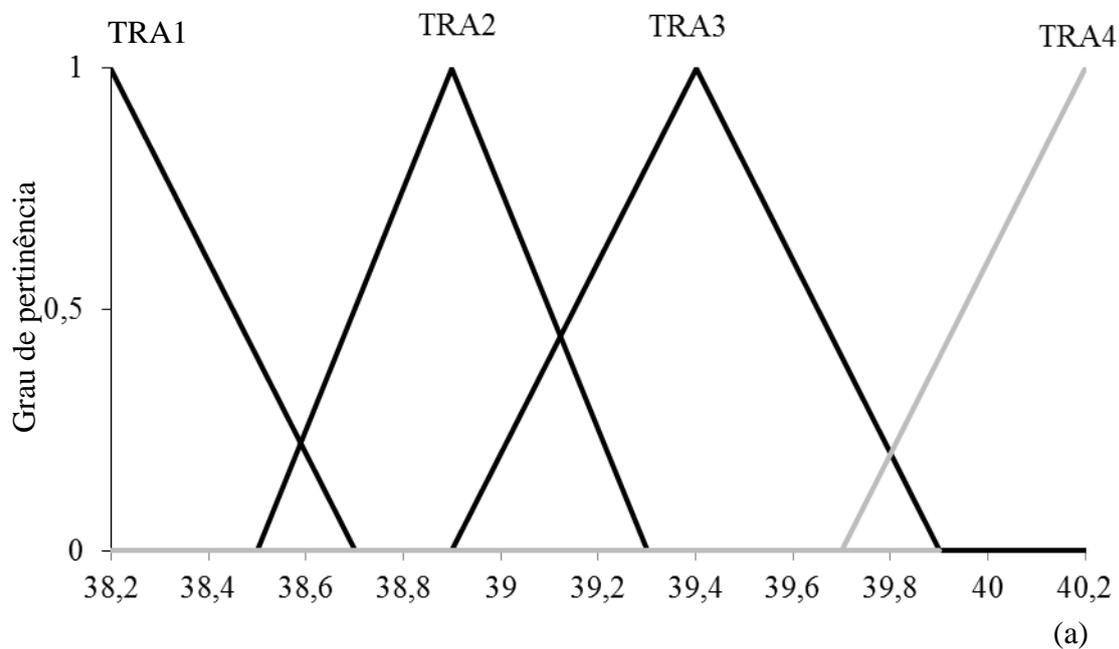


Figura 3. Funções de pertinência para as variáveis de saída do estresse agudo e crônico por calor: a) Temperatura retal do estresse agudo por calor ($^{\circ}\text{C}$), b) Temperatura retal do estresse crônico por calor ($^{\circ}\text{C}$).

TABELA 4. Sistema de regras da inferência fuzzy do estresse agudo e crônico por calor para temperatura do ar (TA) e Temperatura média superficial (TMS)

Regras	
Estresse agudo	
1	Se (Temperatura do ar é T2) e (Temperatura média superficial é SA1) então (TRA é 4) e (FRA é 5)
2	Se (Temperatura do ar é T2) e (Temperatura média superficial é SA2) então (TRA é 4) e (FRA é 4)
3	Se (Temperatura do ar é T2) e (Temperatura média superficial é SA3) então (TRA é 4) e (FRA é 4)
4	Se (Temperatura do ar é T1) e (Temperatura média superficial é SA1) então (TRA é 1) e (FRA é 1)
5	Se (Temperatura do ar é T1) e (Temperatura média superficial é SA2) então (TRA é 2) e (FRA é 2)
6	Se (Temperatura do ar é T1) e (Temperatura média superficial é SA3) então (TRA é 3) e (FRA é 3)
Estresse crônico	
1	Se (Temperatura do ar é T2) e (Temperatura média superficial é SC1) então (TRC é 4) e (FRC é 4)
2	Se (Temperatura do ar é T2) e (Temperatura média superficial é SC2) então (TRC é 4) e (FRC é 3)
3	Se (Temperatura do ar é T2) e (Temperatura média superficial é SC3) então (TRC é 4) e (FRC é 5)
4	Se (Temperatura do ar é T1) e (Temperatura média superficial é SC1) então (TRC é 3) e (FRC é 2)
5	Se (Temperatura do ar é T1) e (Temperatura média superficial é SC2) então (TRC é 2) e (FRC é 1)
6	Se (Temperatura do ar é T1) e (Temperatura média superficial é SC3) então (TRC é 1) e (FRC é 2)

Resultados e discussão

O calor promoveu aumento da TR acima da faixa considerada normal para suínos (38,6 a 39,3°C) (Pandorfiet al., 2007), com aumento de 0,6°C no estresse agudo (Tabela 5) e 0,2°C no estresse crônico (Tabela 6), acima da faixa. A diferença encontrada para TR dos animais submetidos a estresse agudo por calor comparado aos animais em conforto térmico pode indicar que os mecanismos responsáveis pela redução de produção de calor e aumento da dissipação de calor não tiveram tempo suficiente para prevenir um aumento da temperatura corporal. No entanto, essa mudança na TR, também pode ser considerada como uma parte do mecanismo do suíno, para manter um gradiente de temperatura entre o núcleo e a temperatura de superfície (Renaudeau et al., 2008).

A FR também apresentou aumento no estresse agudo e crônico por calor, apresentando valores da ordem de 125,2 mov.min⁻¹ e 86,4 mov.min⁻¹, respectivamente, mostrando-se acima da condição normal para animais dessa categoria (Pandorfiet al., 2007). Os movimentos respiratórios podem aumentar de 22 a 100%, em função do ambiente térmico, de acordo com Hannas et al. (1999). Quando a frequência respiratória está elevada, admite-se que a temperatura do ar está próxima à temperatura corporal, o calor é armazenado no organismo e o valor da temperatura corporal aumenta acima dos valores normais, essa resposta é decorrente do estímulo direto ao centro de calor no hipotálamo, que envia impulso ao sistema cardiorrespiratório na tentativa de eliminar calor por evaporação por meio da respiração, que, neste caso, apresenta aumento marcante (Pandorfi et al., 2007).

Com o passar do tempo, após as respostas fisiológicas de dissipação de calor, a TR começa a diminuir ao longo dos dias (estresse crônico). Como a temperatura retal dos animais não variou tanto após 71 dias, pode-se inferir que o aumento da frequência respiratória (principal mecanismo de dissipação do calor em suínos) foi um ajuste fisiológico eficiente para a manutenção da termorregulação. Manno et al. (2006), em estudo com suínos em crescimento comparando o efeito do estresse por calor e conforto térmico, não encontrou diferenças na temperatura retal.

Entretanto, há evidências de um padrão bifásico de aclimatação ao calor. No primeiro período, o suíno passa por uma fase de adaptação caracterizada por modificações rápidas, incluindo alterações no consumo de ração e nas frequências respiratória e cardíaca (Huynh et al., 2005, Renaudeau et al., 2010). O segundo período

é caracterizado pelo aumento da temperatura retal nas primeiras 24 horas de exposição, com diminuição gradativa nos dias posteriores (Morrison e Mount, 1971; Renaudeau et al., 2007). A partir deste período, a dissipação do calor pela respiração, torna-se mais eficiente, associada à redução do consumo e do metabolismo.

O valor médio do desvio – padrão para estresse agudo e crônico por calor foi de 2,92 para FR e 0,14 para TR, e 1,18 para FR e 0,05 para TR, respectivamente, sendo que, os respectivos erros percentuais foram de 3,52% para FR e 0,50% para TR no estresse agudo e 2,81% para FR e 0,17% para TR no estresse crônico (Tabelas 5 e 6), valores considerados baixos e ideais, demonstrando assim, eficiência do modelo *fuzzy* proposto em simular a frequência respiratória e a temperatura retal.

Nas Figuras 3 e 4, foram ajustadas regressões lineares simples dos valores obtidos, experimentalmente e por modelagem *fuzzy*, nos quais os coeficientes de determinação (R^2) apresentado para FR do estresse agudo e crônico por calor foram de 0,997 e 0,993, respectivamente, e, para TR foram 0,951 e 0,964, respectivamente. Para avaliar o ambiente acústico em creche de suínos em função da temperatura e umidade relativa do ar, Silva (2007) desenvolveu um modelo matemático para prever os níveis de ruído e encontrou valor de coeficiente de determinação de 0,075, valor inferior ao obtido neste trabalho. Estes resultados comprovam a eficiência do modelo *fuzzy* quando comparado a modelos estatísticos.

Tabela 5. Comparação dos valores de frequência respiratória (mov.min^{-1}) e temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$), para suínos submetidos a estresse agudo, obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo.

Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$)	Dados experimentais		Simulação <i>fuzzy</i>		Desvio padrão		Erro (%)	
		FR	TR	FR	TR	FR	TR	FR	TR
T2	SA1	134,9	39,8	133	40	1,34	0,14	1,43	0,50
T2	SA2	120,3	39,8	115	40	3,75	0,14	4,61	0,50
T2	SA3	120,2	40,2	115	40	3,68	0,14	4,52	0,50
Média estresse por calor		125,2	39,9	121	40	2,92	0,14	3,52	0,50
T1	SA1	37,1	38,2	37	38,4	0,07	0,14	0,27	0,52
T1	SA2	43,4	38,9	44	38,9	0,42	0,00	1,36	0,00
T1	SA3	59,0	39,4	63,3	39,4	3,04	0,00	6,79	0,00
Média conforto térmico		46,5	38,8	48,1	38,9	1,18	0,05	2,81	0,17
Média						2,05	0,09	3,16	0,34

Tabela 6. Comparação dos valores de frequência respiratória ($\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$) e temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$), para suínos submetidos a estresse crônico, obtidos experimentalmente e simulados pelo modelo.

Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$)	Dados experimentais		Simulação <i>fuzzy</i>		Desvio padrão		Erro (%)	
		FR	TR	FR	TR	FR	TR	FR	TR
T2	SC1	83,3	39,5	83,2	39,4	0,07	0,07	0,12	0,25
T2	SC2	77,8	39,4	74,1	39,4	2,62	0,00	4,99	0,00
T2	SC3	98,0	39,5	97,8	39,4	0,14	0,07	0,20	0,25
Média estresse por calor		86,4	39,5	85,0	39,4	0,94	0,05	1,77	0,17
T1	SC1	43,3	39,2	45,1	39,2	1,27	0,00	3,99	0,00
T1	SC2	39,8	38,9	39	39	0,57	0,07	2,05	0,26
T1	SC3	42,2	38,8	45,1	38,8	2,05	0,00	6,43	0,00
Média conforto térmico		41,8	39,0	43,1	39,0	1,30	0,02	4,16	0,09
Média						1,12	0,04	2,97	0,13

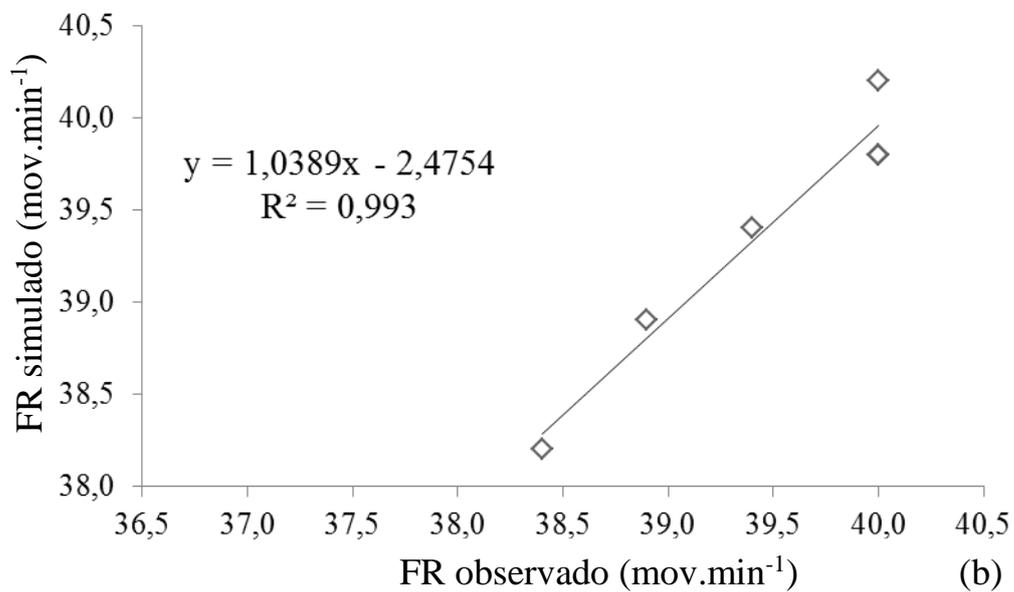
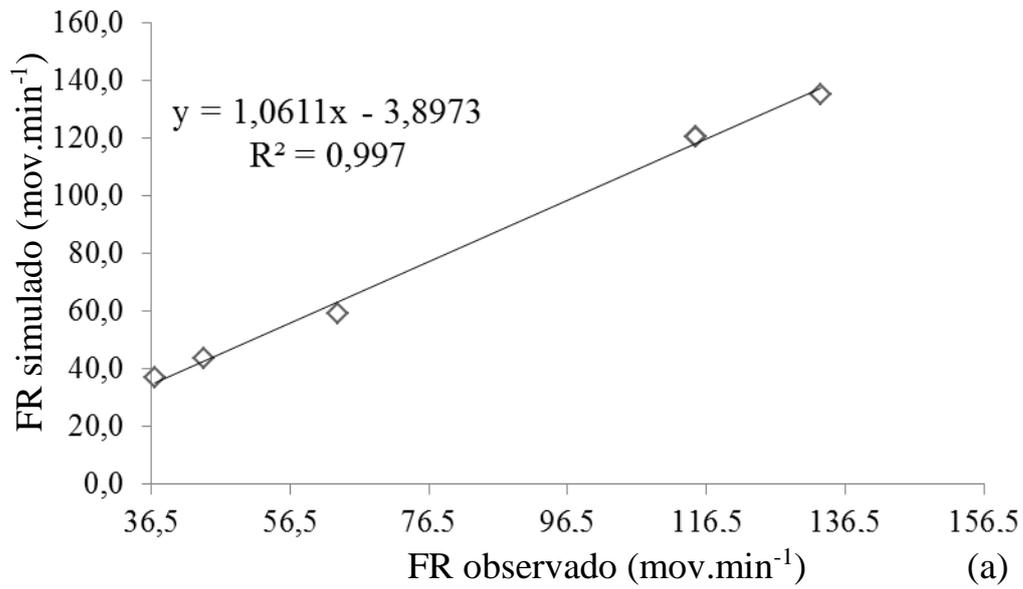


Figura 3. Regressões lineares das respostas da frequência respiratória medidas experimentalmente e simuladas: a) estresse agudo por calor e b) estresse crônico por calor de suínos em crescimento

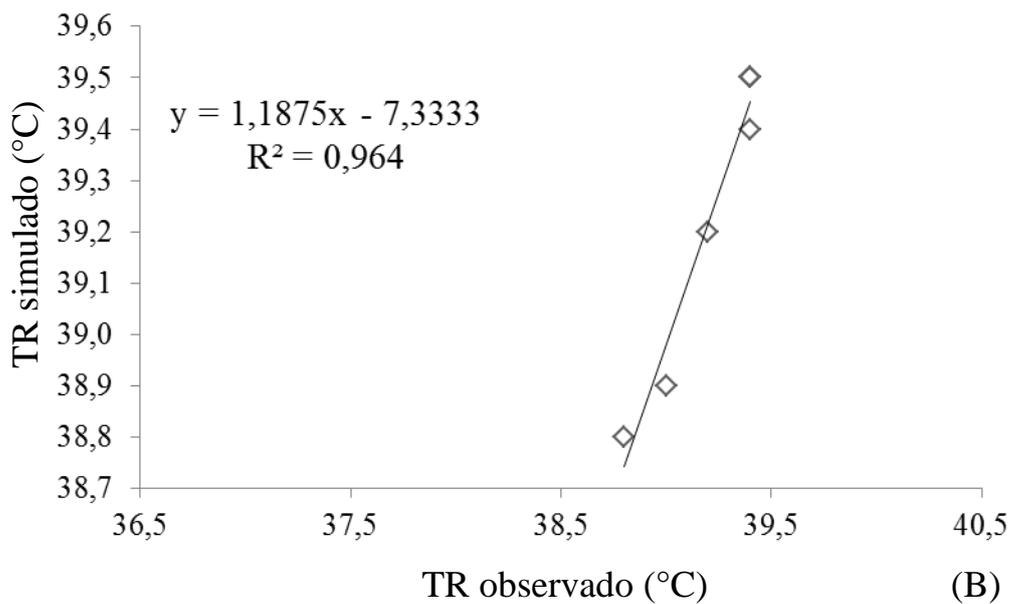
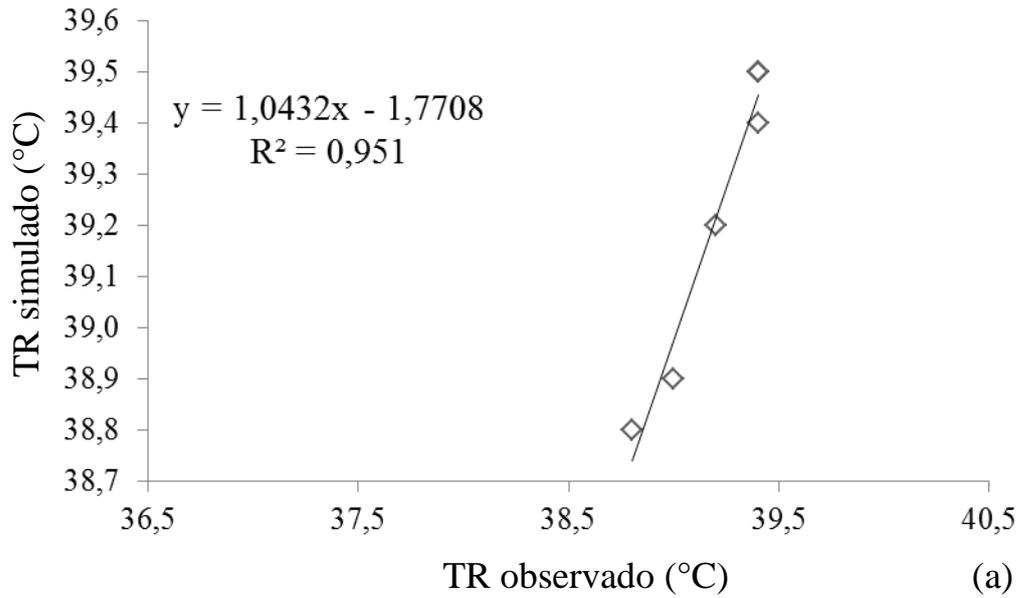


Figura 4. Regressões lineares das respostas da temperatura retal medidas experimentalmente e simuladas: a) estresse agudo por calor e b) estresse crônico por calor de suínos em crescimento.

A superfície de resposta na Figura 5 ilustra a interação entre a temperatura do ar e a temperatura média superficial, em função da TR de suínos submetidos a estresse agudo por calor. Na faixa de temperatura do ar entre 20 e 24 (°C) indicam onde ocorreu aumento da TR até o ponto onde é considerada normal. A partir de 26°C, a TR aumenta consideravelmente, e fica entre 39,5 e 40°C, acima da faixa considerada normal para suínos (38,6 a 39,3°C) (Pandorfi et al., 2007). A análise pode ser feita em relação à temperatura média superficial e temperatura adotada.

Pode-se observar que, quando a TMS é aumentada, obteve-se aumento da temperatura retal, da mesma forma ocorreu com as diferentes temperaturas ambientais, ou seja, quanto mais fora da faixa de conforto 16 a 24°C (Orlando et al. 2007), maior é a temperatura retal. Os resultados demonstrados na Tabela 6 e Figura 4, demonstram que os mecanismos de dissipação de calor não foram suficientes para manter a homeotermia após 48 horas. Dessa forma, pode-se afirmar que, para avaliar a temperatura corporal de suínos em crescimento submetidos a estresse agudo por calor, deve-se utilizar a interação da temperatura do estresse térmico juntamente com a temperatura média superficial do animal.

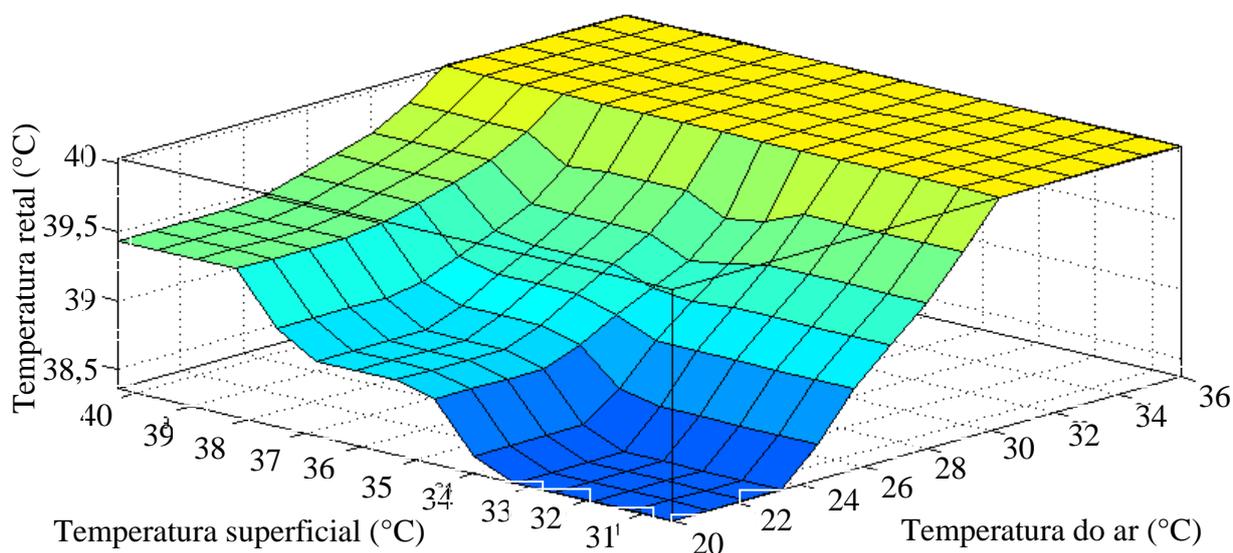


FIGURA 5. Temperatura retal (TR) simulada em função da temperatura do ar e temperatura superficial de suínos em crescimento submetidos a estresse agudo por calor.

A superfície apresentada na Figura 6 ilustra a interação entre a temperatura de estresse térmico e a temperatura média superficial, em função da FR de suínos submetidos a estresse agudo por calor. Na faixa de temperatura ambiente entre 20 e 24 °C, temperaturas que estão dentro da faixa de conforto térmico (Orlando et al. 2007), fez com que a frequência respiratória (FR) variasse entre 40 e 50 mov.min⁻¹ e a temperatura média superficial permanecesse abaixo de 36°C, temperatura superficial tido como normal em suínos (Huynh et al. 2005). A partir de 26°C, a FR começa a aumentar, aumentando consideravelmente também a TMS, mas a FR dos suínos não ficou acima de 110 mov.min⁻¹, na faixa de TMS entre 34 e 40°C.

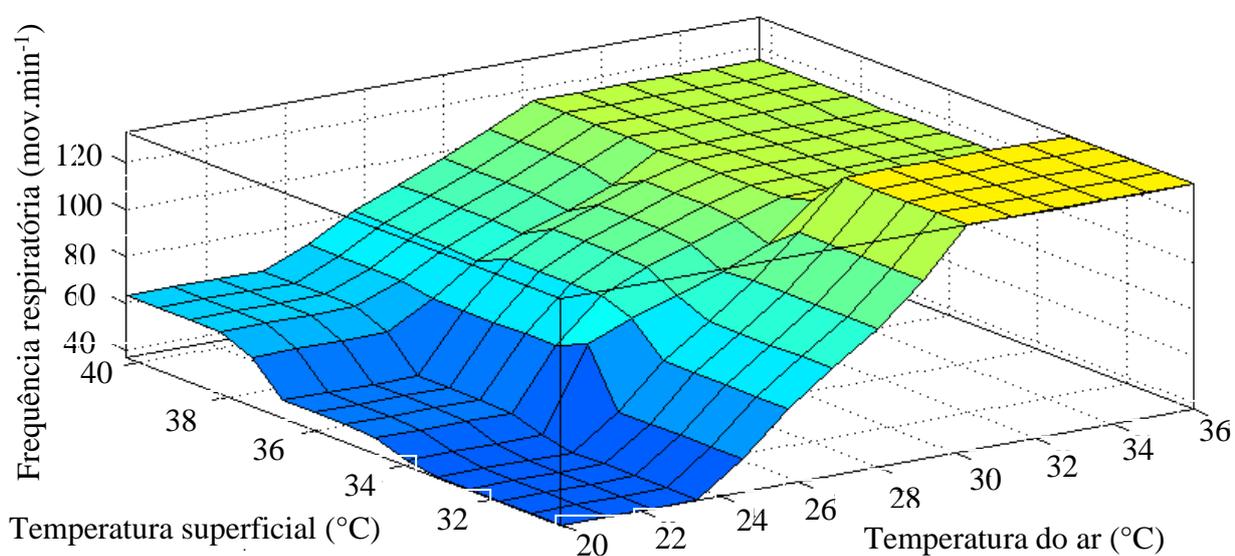


FIGURA 6. Frequência respiratória (FR) simulada em função da temperatura superficial e temperatura do ar de suínos em crescimento submetidos a estresse agudo por calor.

A superfície de resposta na Figura 7 ilustra a interação entre a temperatura do ar e a temperatura média superficial em função da TR de suínos submetidos a estresse crônico por calor. Diferente do estresse agudo, a faixa de temperatura do ar que indicou aumento da TR até o ponto onde é considerada normal, foi de 20 a 30 (°C), indicando uma possível aclimação ao calor. A análise pode ser feita em relação à temperatura média superficial e à temperatura adotada. Pode-se observar que, quando a TMS é aumentada, obteve-se aumento da temperatura retal, da mesma forma ocorreu com as diferentes temperaturas ambientes. Esses resultados estão de acordo com os apresentados por Renaudeau et al., (2010), onde foi demonstrado dois períodos de

aclimatação ao calor em função do tempo. No presente estudo, a TR foi considerada como sendo o critério mais significativo para avaliar a tolerância ao calor do animal, porque indica a eficiência do animal na manutenção da homeotermia durante o estresse por calor. Os mecanismos que permitem aumentar a dissipação de calor, conseguiram compensar totalmente a carga de calor excessivo, o que pode explicar o resultado da TR após 71 dias de exposição.

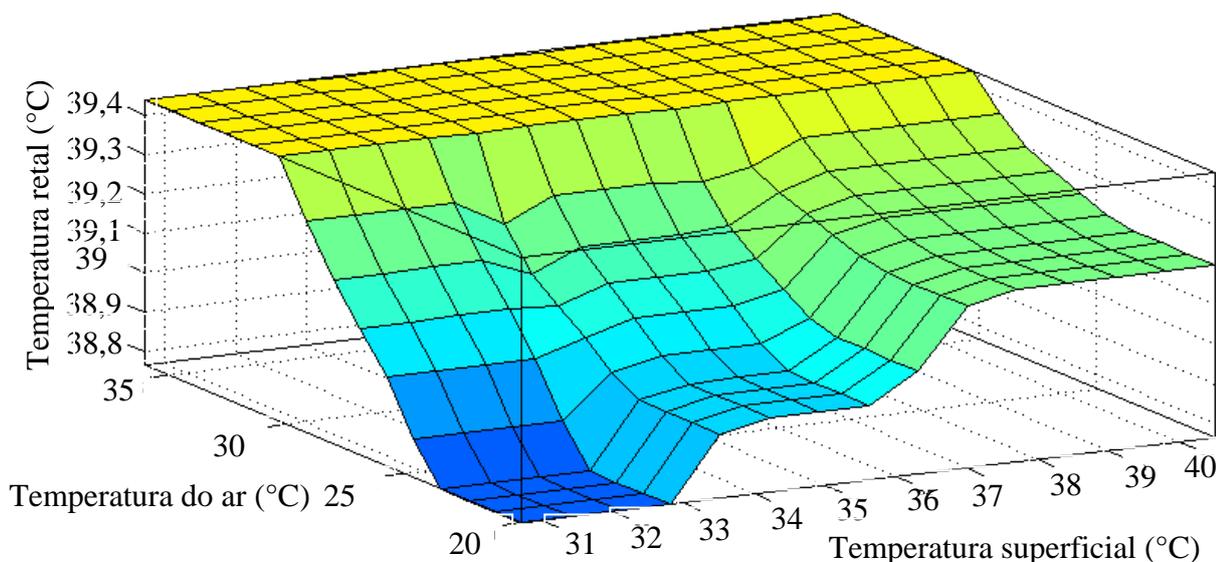


FIGURA 7. Temperatura retal (TR) simulada em função da temperatura do ar e temperatura superficial de suínos em crescimento submetidos a estresse crônico por calor.

A superfície apresentada na Figura 8 ilustra a interação entre a temperatura de estresse térmico e a temperatura média superficial, em função da FR de suínos submetidos a estresse crônico por calor. Obtivemos respostas semelhantes ao estresse agudo, onde na faixa de temperatura ambiente entre 20 e 24 °C, a frequência respiratória (FR) variou entre 40 e 50 mov.min⁻¹. A partir de 26°C, a FR começa a aumentar, aumentando consideravelmente também a TMS, mas a FR dos suínos não ficou acima de 90 mov.min⁻¹, diferente no que foi encontrado no estresse agudo por calor.

O aumento da FR vem confirmar que, em situações de estresse por calor, os suínos acionam mecanismos fisiológicos para dissipar calor e manter sua homeotermia, o mesmo foi verificado por Renaudeau et al. (2008) onde relataram um aumento na frequência respiratória dos animais, sob condições de estresse por calor em animais

expostos a temperaturas de 28 a 36°C. Outros autores (Kiefer et al. 2009; Manno; Oliveira; Donzele, 2006; Patience et al. 2005) também observaram aumento da FR. Com esses resultados, fica evidente que a dissipação de calor por evaporação representa, praticamente, toda a dissipação de calor em situações de alta temperatura e que os suínos, por terem as glândulas sudoríparas pouco ativas (Renaudeau et al, 2008), dependem, principalmente, da evaporação pela respiração para perder calor latente.

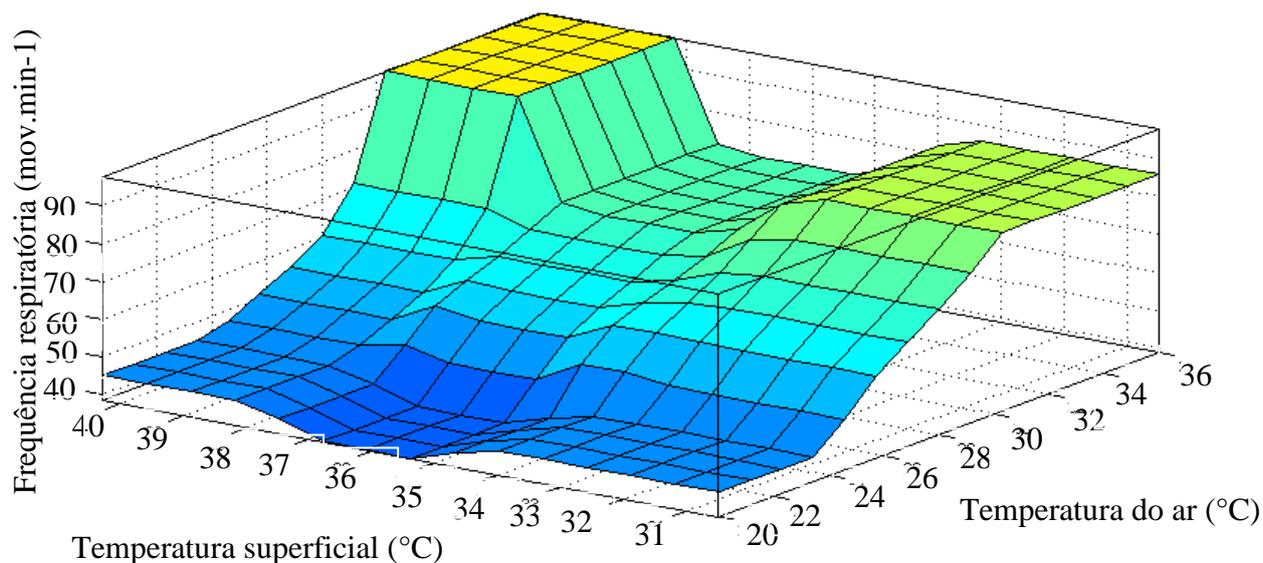


FIGURA 8. Frequência respiratória (FR) simulada em função da temperatura superficial e temperatura do ar de suínos em crescimento submetidos a estresse crônico por calor.

Como a temperatura retal dos animais não variou tanto entre os tratamentos, pode-se inferir que o aumento da frequência respiratória nos animais sob estresse crônico por calor foi um ajuste fisiológico eficiente para a manutenção da termorregulação, o que não foi observado no estresse agudo.

Estes resultados vêm confirmar que, em situações de estresse por calor, os suínos acionam mecanismos fisiológicos para dissipar calor e manter sua homeotermia e que suínos, sob condições de altas temperaturas, não reagem só pela manutenção da taxa respiratória, mas também pelo aumento da temperatura de superfície.

Conclusão

A modelagem *fuzzy* pode ser utilizada para prever com eficiência a frequência respiratória e a temperatura retal de suínos em crescimento submetidos a estresse agudo e crônico por calor, em função das temperaturas de bulbo seco e superficial dos animais.

Referências

- ALTROCK, C.V. **Fuzzy logic & neurofuzzy applications explained**. Prentice Hall: New Jersey, 1995. 327p.
- AMENDOLA, M. et al. Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. **Biomatemática**, Campinas-SP, v.14,n.1, p. 87-92, 2004.
- AMENDOLA, M. et al. Using Fuzzy sets theory to analyze environmental condition in order to improve animal productivity. **Biomatemática**, Campinas-SP, v.15, p.29-40, 2005.
- ANDRADE, M.T.C. A técnica da lógica fuzzy aplicada ao controle automáticos de processos em plantas químicas industriais. In: Congresso de Equipamentos e Automação da Indústria Química e Petroquímica, 3., São Paulo, 1997. **Resumos**. São Paulo, 1997.p.72.
- BUFFINGTON, D.E. et al. Black globe humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. **American Society of Agricultural Engineers**, v.24, p.711-714, 1981.
- CHERRI, A.C. et al. Inferência *fuzzy* para o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis de material. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v.31, n.1, p.173-195, 2011.
- CREMASCO, C.P. et al. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores fuzzy para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu-SP, v.25, n.1, p.21-39, 2010.
- FERREIRA, R.A. et al. Predição de cio em vacas leiteiras utilizando lógica fuzzy. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, **Anais**. 2006, João Pessoa, PB. SBEA, 2006.v.35.
- HANNAS, M.I. et al. Efeito da temperatura ambiente sobre os 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: SBZ,

1999. 1 CD-ROM.

HUYNH, T.T.T. et al. Thermal behavior of growing pigs in response to high temperature and humidity. **Applied Animal Behaviour Science**, v.91, p.1-16, 2005.

KIEFER, C. et al. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Archivos de Zootecnia**, [S.L], v.58, n.221, p.55-64, 2009.

LEITE, M.S. et al. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocesso. **Revista Controle & Automação**, Campinas-SP, v.21, n.2, p.147-158, 2010.

MANNO, M.C. et al. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.471-477, 2006.

MOLLO NETO, M. et al. Proposta para a modelagem e desenvolvimento de um sistema especialista baseado em lógica fuzzy para prevenção da ocorrência de laminite em gado leiteiro. In: V Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2005, Londrina. **Anais**, 2005. v.1. p.1-5.

MORRISON, S.R. et al. Adaptation of growing pigs to changes in environmental temperature. **Animal Production**, v.13, p.51-57, 1971

NAAS, I.A. et al. Estimating thermal comfort and solar orientation in broiler housing using Fuzzy Logic. In: VI Congreso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola, 2004, **Memoria**. San Jose, Costa Rica: Asociacion Costaricense de Ingenieria Agrícola, 2004. v. 1. p. 1-7.

NAKAMURA, A. et al. Effect of mate selection on fuzzy selective mating criteria in closed dairy multiple ovulation and embryo transfer nucleus programs. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 73, p. 175-178, 2002.

OLIVEIRA, H.L. et al. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos Conjuntos Fuzzy. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 25, n. 2, p. 300-307, 2005.

OLIVEIRA, H.L. et al. Estimating Layer's Thermal Comfort Using Fuzzy Logic. In: VI Congreso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola, 2004, San Jose. **Memoria del VI Congreso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola**. San Jose, Costa Rica: Asociacion Costaricense de Ingenieria Agrícola, 2004. v.1. p. 1-10.

ORLANDO, U.A.D. et al. Níveis de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para leitões dos 30 aos 60 kg mantidas em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.36, n.5, p.1573-1578, 2007.

- PANDORFI, H. et al. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.83-92, 2007.
- PANDORFI, H. et al. Microclima de abrigos escamoteadores para leitões submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.99-106, 2005.
- PATIENCE, J.F. et al. Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 96, n. 2/3, p. 205-214, 2005.
- PONCIANO, P.F. et al. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.446-458, 2012.
- QUEIROZ, M.P.G. et al. Estimativa de padrão de conforto ambiental para creche de suínos usando lógica fuzzy. In: V Congresso Brasileiro de Agroinformática, **Anais**, 2005, Londrina. v. 1. p. 1-8.
- RENAUDEAU, D. et al. Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 85, p.779–790, 2007.
- RENAUDEAU, D. et al. Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs. **Animal: an international Journal of Animal Bioscience**, Champaign, v.2, n.11, p.1619-1626, 2008.
- RENAUDEAU, D. et al. Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. **Journal of Animal Science**, v.88, p.3715-3724, 2010
- ROSTAGNO, H.S. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos**. 3rd edn. Viçosa:UFV, Brasil, 2011.
- SAMPAIO, C.A.P. et al. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.785-790, 2004.
- SANTOS, R.C. et al. Aplicação da lógica nebulosa na simulação de estro de vacas leiteiras. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.5, n.8, p.1-6, 339 Ago.2009.
- SCHIASSI, L. et al. Thermal-Acoustic Comfort Index for Workers of Poultry Houses Using Fuzzy Modeling. **International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)**, v.4, p.60-64, 2014.
- SILVA, K.O. et al. Medidas do ambiente acústico em creche de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.339–344, 2007.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.1-12, 2011.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Fuzzy logic model to predict laying hen body temperature rise during acute heat stress. In: **XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2006, João Pessoa. SBEA, 2006. v. 35.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, 2012.

ZADEH, L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex system and decision processes. **IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics**, v.3, p.25-44, 1973.

