

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**Estratégias nutricionais com redução da proteína bruta e aumento de
aminoácidos livres para suínos em terminação sob condição de estresse cíclico
por calor.**

Paulo Henrique Amadeu de Azevedo

**Orientador: Prof. Dr. Luciano
Hauschild**

**Coorientadores: Me. Marllon José
Karpeegiane de Oliveira
Dr. Antônio Diego Brandão Melo**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

Estratégias nutricionais com redução da proteína bruta e aumento de aminoácidos livres para suínos em terminação sob condição de estresse cíclico por calor.

Paulo Henrique Amadeu de Azevedo

**Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild
Coorientadores: Me. Marllon José Karpeegiane de Oliveira
Dr. Antônio Diego Brandão Melo**

Trabalho de Conclusão de Curso (Iniciação Científica)
apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para graduação em Zootecnia.

Jaboticabal - SP
9º/2022

A994e

Azevedo, Paulo Henrique Amadeu de

Estratégias nutricionais com redução da proteína bruta e aumento de aminoácidos livres para suínos em terminação sob condição de estresse cíclico por calor. / Paulo Henrique Amadeu de Azevedo. -- Jaboticabal, 2022

23 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Luciano Hauschild

Coorientador: Marllon José Karpeegiane de Oliveira

1. Aminoácidos na nutrição animal. 2. Suinocultura. 3. Rações. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: Zootecnia

CERTIFICADO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS COM REDUÇÃO DA PROTEÍNA BRUTA E AUMENTO DE AMINOÁCIDOS LIVRES PARA SUÍNOS EM TERMINAÇÃO SOB CONDIÇÃO DE ESTRESSE CÍCLICO POR CALOR.

ACADÊMICO: Paulo Henrique Amadeu de Azevedo

CURSO: Zootecnia

ORIENTADOR (ES): Prof. Dr. Luciano Hauschild
Me. Marllon José Karpeegiane de Oliveira
Dr. Antônio Diego Brandão Melo

PERÍODO: Semestre 09 Ano 2022

Aprovado com conceito: A ☒ B ☐ C ☐

Este trabalho é recomendado para compor a base de dados CAPELO. ☒ Sim ☐ Não

Reprovado: ☐

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)	(Assinaturas)
Presidente	Me. Marllon José Karpeegiane de Oliveira	<u>Marllon J. K. de Oliveira</u>
Membro	Me. Bruno Balbino Leme	<u>Bruno B. Leme</u>
Membro	Dra. Alini Mari Veira	<u>Alini Mari Veira</u>

Jaboticabal 29 / 07 / 2022

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 01 / 08 / 2022

Edney Pereira da Silva

Prof. Dr. EDNEY PEREIRA DA SILVA
Chefe do Departamento de Zootecnia
Matrícula Nº 422823-6

*Aos meus pais Isabel, José Carlos (in
memoriam) e à minha avó Ana (in memoriam).*

A vocês, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar e me dar a oportunidade de realizar grandes sonhos.

A minha mãe pelo apoio, pela força e amor em todos os momentos.

Ao meu pai, que sempre esteve presente em meu coração.

A minha avó, pelo apoio em momentos difíceis.

A toda equipe do Laboratório de Estudos em Suinocultura, em especial ao Professor Dr. Luciano Hauschild por toda oportunidade e confiança a mim concedida.

Ao Antonio Diego Brandão, Marllon Karpeegiane e José Antonio Segeci por toda paciência, ensinamentos e ajuda durante a realização desse projeto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq - pelo auxílio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa – 01/2020.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa – 2018/15559-7.

Ao meu amigo Willian Henrique de Moraes pela amizade, ajuda e força durante o projeto.

Ao meu amigo Mário Henrique dos Santos pela amizade durante todos esses anos.

Aos meus familiares por todo incentivo e amor.

Aos meus amigos da República Abatedouro Jaboticabal, por todos os momentos incríveis durante todos esses anos.

Aos meus amigos mais próximos da turma LXII de Zootecnia, pelos bons momentos e ajuda durante esses anos.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/FCAV.

A todos, meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	6
1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 O estresse por calor.....	9
2.2 Ajustes comportamentais de suínos expostos ao estresse por calor ...	10
2.3 Integridade intestinal de suínos expostos ao estresse por calor	14
2.4 Impacto do estresse por calor sobre o desempenho e composição corporal de suínos.....	15
2.5 Estratégias nutricionais para atenuar os efeitos deletérios do estresse por calor sobre o desempenho de suínos	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Animais e delineamento experimental.....	19
3.2 Período experimental	19
3.3 Tratamentos experimentais, alojamento e controle da temperatura ambiental	20
3.4 Dietas experimentais.....	21
3.5 Coleta de dados.....	23
3.5.1 Desempenho	23
3.5.2 Composição Corporal	24
3.6 Análise estatística	24
4 RESULTADOS	25
4.1 Desempenho	26
4.2 Composição Corporal	27
5 DISCUSSÃO	29
6 CONCLUSÃO	31
7 RESUMO.....	31
8 SUMMARY	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Ao decorrer das últimas décadas, a produção de suínos no Brasil vem apresentando um grande crescimento no cenário nacional e internacional, o que resultou a posição de 4º maior produtor e exportador de carne suína no ano de 2021, com um total de 4,7 milhões de toneladas produzidas (ABPA, 2022). Esse avanço produtivo se deve ao maior interesse dos produtores em entender a cadeia produtiva e as tecnologias que podem beneficiar a produtividade e também o custo de produção (Giroto e Dos Santos, 2018).

Embora o cenário seja promissor, as condições ambientais, em especial a alta temperatura, são consideradas fatores limitantes para uma maior eficiência na produção de suínos em regiões de clima quente. Estima-se que as perdas causadas pelo estresse térmico com destaque para a fase de crescimento e terminação, chegam a US\$ 300 milhões/ano nos EUA (St.Pierre et al., 2003).

As mudanças climáticas previstas para o futuro, indicam que o aquecimento global pode elevar a temperatura em 1,5 °C até 2052 (IPCC, 2022). Nesse sentido, a melhora, ou até mesmo a manutenção, da resposta animal em condições climáticas adversas irão depender de novas tecnologias que possam minimizar esse desafio. Por isso, o entendimento de como o desempenho dos suínos é afetado mediante ao estresse por calor (EC) pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias nutricionais a fim de melhorar a eficiência desse setor.

O EC pode impactar negativamente a sustentabilidade da atividade suinícola, visto que animais expostos a essas condições aumentam o consumo de água além do necessário para máxima produção quando comparado a animais em condição de termoneutralidade (Brandl et al., 1998; Patience et al., 2005). Ademais, o EC reduz a produtividade em função dos efeitos deletérios observados sobre o desempenho dos animais. Renaudeau et al. (2011) demonstraram que para cada grau centígrado de aumento na temperatura ambiente (TA) (entre 20 e 30 °C) o consumo de ração é reduzido em 55 g/d, para suínos com 75 kg de peso corporal.

Estratégias nutricionais têm sido utilizadas para atenuar os efeitos deletérios do EC sobre o desempenho de suínos. Dentre elas, cita-se o aumento do aporte energético da dieta (Fraga et al., 2019) e o fornecimento de dietas de baixa proteína bruta (PB) suplementadas com aminoácidos (AA) industriais (Kerr et al., 2003a; Myer et al., 2008). Outra possível estratégia nutricional é a suplementação de AA acima das recomendações para suínos em condição termoneutra (TN). Morales et al. (2014) relataram que suínos submetidos a EC tem parte dos AA que deveriam ser destinados ao crescimento, desviados para outras funções. Dentre essas funções cita-se a ativação da resposta imune e inflamatória (Lacetera, 2012), a produção de proteínas de choque térmico (HSP) e manutenção da integridade intestinal (Pearce et al., 2014).

Isso permite inferir que o aumento nas concentrações de alguns AA pode proporcionar efeitos potencialmente benéficos aos suínos em situação de EC, uma vez que uma quantidade extra de AA industriais na dieta poderia modular o perfil aminoacídico disponível para os suínos durante o processo de digestão, sem provocar aumento do incremento calórico (IC).

Embora tenha sido relatado que a redução em até 4% de PB da dieta não altera a composição corporal proteica de suínos submetidos a condição de EC (Fraga et al., 2019), estudos com a suplementação extra de AA para suínos nessa condição são escassos. Vale destacar que o impacto do EC sobre o metabolismo dos suínos e a modulação do perfil aminoacídico não são considerados no processo de formulação de dietas. Os níveis de AA normalmente utilizados possuem a finalidade de maximizar a deposição de proteína em uma condição ideal (sanidade, temperatura, alojamento) de produção. Sendo assim, por não considerar o aumento da utilização de AA em situações de EC, os programas nutricionais apresentam limitações em um contexto prático de produção.

Portanto, objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos de uma dieta de baixa PB com ou sem o aumento da proteína dietética e AA industriais sobre o desempenho e composição corporal de suínos na fase de terminação submetidos a EC. Duas hipóteses foram formuladas: i) dieta de baixa PB, devido ao baixo nível de AA não essencial, afeta o desempenho; ii) o mínimo aumento da PB (intacta) em dietas de baixa proteína e o aumento de AA industriais acima das exigências nutricionais de suínos pode aumentar a disponibilidade de AA para o metabolismo e, conseqüentemente, melhorar o desempenho e composição corporal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O estresse por calor

O estresse por calor pode ser definido como uma condição fisiológica quando a temperatura corporal central do animal ultrapassa sua zona termoneutra, aumentando a carga total de calor (produção interna e do ambiente) excedendo a sua capacidade de dissipação, gerando estímulos fisiológicos e respostas comportamentais (Bernabucci et al., 2010). Um animal está em EC quando é necessário realizar ajustes funcionais, estruturais, comportamentais ou imunológicos extremos, visando se adaptar as condições adversas de seu ambiente (Etim, 2013).

A zona termoneutra compreende a faixa de TA onde a taxa metabólica do animal é mínima, constante e independente da TA (Mutaf et al., 2008). Nessa zona, os custos fisiológicos para manutenção são mínimos, enquanto a produtividade é alta (Du Prezz et al., 1990). A faixa de temperatura acima da zona termoneutra e que estabelece o máximo de calor que o animal

pode tolerar é chamada de temperatura crítica superior. A temperatura crítica superior também pode ser definida como o ponto de inflexão onde se tem uma redução do consumo voluntário de ração juntamente com o aumento da temperatura retal (Huynh et al., 2005).

O EC pode ser quantificado de diferentes formas, sendo uma delas pelo índice de temperatura-umidade (THI). O THI indica a influência simultânea da TA e da umidade relativa do ar, que pode ser utilizado como referência para estimar o nível de estresse térmico que um animal está passando em determinado momento (Rashamol et al., 2019). Para suínos, o valor de THI de 75 é considerado normal (Naas et al., 2006), sendo valores acima tidos como condição de EC. Pathak et al. (2018) submetendo suínos de 35 kg a uma condição de EC com temperatura de 27-29 °C relatam um THI entre 79,55-82,56. Outra forma de quantificar o estresse por calor está associada ao uso do THI para estimar a carga térmica do animal. Para esse cálculo, é considerando o máximo valor de THI acima da temperatura crítica superior, observada por uma unidade de tempo, em uma certa idade (Zumbach et al., 2008).

Dado que o EC causa alterações comportamentais, fisiológicas e metabólicas nos suínos, fica evidente que, mediante essas condições, o desempenho e composição corporal dos animais pode ser prejudicado. Reduções em peso de carcaça devido ao EC calor podem estar associadas a prévia carga térmica do animal antes do abate (Zumbach et al., 2008).

2.2 Ajustes comportamentais de suínos expostos ao estresse por calor

Os suínos são animais homeotérmicos, tendo a capacidade de manter a temperatura corporal dentro dos limites sob uma condição de variadas temperaturas ambientais, realizando um equilíbrio entre a produção e a perda de calor (Renaudeau et al., 2012b). À medida que a temperatura do ambiente se aproxima da temperatura crítica superior, os animais ativam mecanismos para evitar o acúmulo de carga térmica corporal, a começar dos ajustes comportamentais. Considerando que os suínos possuem glândulas sudoríparas afuncionais, seu principal meio de dissipar calor em paralelo com os ajustes comportamentais, é a perda evaporativa, por meio do aumento da frequência respiratória (Renaudeau et al., 2012b).

Outro ajuste comportamental observado em suínos mediante EC é o ato de deitarem espalhados pela baia buscando aumentar a superfície de contato da pele com o piso. Como existe uma diferença de gradiente térmico entre a pele do animal e o piso da baia, ocorre uma dissipação do calor por meio da condução (Godyń et al., 2020). Outro ajuste comportamental é o aumento da frequência de visitas ao bebedouro, objetivando o aumento da ingestão diária de água. Patience et al. (2005) relataram que suínos expostos a um EC diurno (20-38 °C) consumiram mais água que suínos mantidos em termoneutralidade (20 °C). Isso nos dá um

indicativo do uso da água no processo de resfriamento corporal, especialmente na compensação das perdas de água desencadeadas pelo processo respiratório (via evaporativa) durante o período quente.

2.2.1 Respostas fisiológicas e metabólicas de suínos expostos ao estresse por calor

Quando os ajustes comportamentais, bem como o aumento da frequência respiratória não são suficientes para garantir a perda de calor necessária, ocorre um aumento da temperatura da superficial corporal e posteriormente da temperatura retal (Collin et al., 2002). O aumento da temperatura da superfície corporal está relacionado ao aumento do fluxo sanguíneo para a superfície da pele (Collin et al., 2001a), visando facilitar a dissipação de calor para o ambiente. À medida que a TA aumenta, a capacidade de suínos perderem calor por vias sensíveis (radiação, convecção e condução) diminui devido à redução no gradiente de temperatura entre a pele e o meio ambiente (Campos et al., 2014). A eficiência na perda de calor por evaporação através da respiração e da pele vai depender do gradiente de pressão entre o animal e o ambiente, sendo que em climas tropicais úmidos, essas perdas por evaporação são menos eficientes, acentuando os efeitos do EC sobre os suínos (Renaudeau et al., 2012b; Martin, 2012).

O aumento da temperatura retal está relacionado com o esgotamento da capacidade termorregulatória do suíno (Huynh, 2005). Quando os mecanismos de dissipação estão sobrecarregados, pode ocorrer insuficiência miocárdica e circulatória podendo levar a morte do animal (Renaudeau e Noblet, 2011). Além de todos os impactos negativos que a temperatura pode ter sobre o desempenho dos suínos, os desafios térmicos e inflamatórios podem levar o animal a desenvolver distúrbios fisiológicos e metabólicos, resultando em uma incapacidade dos animais em se adaptarem ou superarem esses desafios (Campos et al., 2017).

Durante o EC ocorre estimulação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (eixo HPA) e do eixo simpático-adrenal-medular (SAM), ativando a liberação do hormônio que é responsável por liberar a corticotropina (CRH) que atua na hipófise produzindo o hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) (Bagath e Sejian, 2018). O SAM libera as catecolaminas (epinefrina e norepinefrina) (Dallman et al., 2011), sendo esse resultado um efeito inflamatório na resposta imune mediante ao EC (Bagath e Sejian, 2018). Já o HPA após a liberação do ACTH, produz glicocorticóides pelo córtex adrenal para aumentar o catabolismo dos tecidos que são ricos em gorduras e proteínas, afim de aumentar a produção de glicose (Dallman et al., 2011), agindo para diminuir a resposta do EC e atuar com um efeito anti-inflamatório (Bagath, e Sejian, 2018).

Existem alguns biomarcadores que podem ser utilizados como indicadores de respostas

fisiopatológicas mediante a exposição a um estresse (Ayala et al., 2012; Escribano et al., 2015) como as HSP, o cortisol, as proteínas de fase aguda (PFA), entre outras. As HSP protegem os substratos proteicos contra danos conformacionais causados pela alta temperatura, evitando agregação e a formação de corpos de inclusão tóxicos, permitindo que as proteínas exerçam sua função (Tutar e Tutar., 2010). Xiong et al., (2022) relatam um aumento da expressão da HSP70 no duodeno, jejuno e íleo de suínos de 30 kg submetidos a 35 °C quando comparado a suínos em termoneutralidade (25 °C).

O cortisol é utilizado como biomarcador para detecção de estresse em suínos, sendo o principal glicocorticoide nessa espécie (Bottoms et al., 1972), influenciando vias metabólicas, o sistema imunológico, funções cerebrais e ainda exercendo um forte feedback sobre o eixo HPA (Mormède et al., 2011), presumindo-se que essa influência tenha valor adaptativo e homeostático durante um período de estresse (Minton, 1994). Becker et al., (1997) observaram um aumento de cortisol sanguíneo ao submeter suínos ao estresse por calor a 34 °C durante os primeiros 28 dias de vida.

As PFA são proteínas do sangue que tem sua concentração alterada quando o animal enfrenta algum desafio inflamatório, infeccioso ou estressante (Murata et al., 2004). Essas proteínas podem ser definidas como positivas (proteína C-reativa, proteína amilóide sérica, haptoglobina, α -1 glicoproteína-ácida, ceruloplasmina, fibrinogênio, proteína ligante de manose, e α -1-antitripsina), quando sua concentração plasmática é aumentada, ou negativa (albumina, globulina e transferrina), quando sua concentração plasmática é reduzida. As alterações nas concentrações são provenientes de alterações na sua produção pelos hepatócitos (Gabay e Kushner 1999). Algumas PFA tem sido correlacionada como respostas do EC em suínos. Cui et al., (2019), observou um aumento de haptoglobina para suínos desafiados com temperatura de 30 °C quando comparado a animais termoneutros (22 °C). Corroborando com esses resultados, Santos et al., (2018) também observaram um aumento de haptoglobina sérica em suínos criados a 30 °C aos dias 28 e 55 em relação a suínos criados a 23 °C. Por outro lado, a concentração de albumina sérica diminui em espécies de mamíferos sobre EC (Mackiewicz, 1997). Santos et al., (2018) observaram uma redução de 10% nessa PFA em suínos criados a 30 °C. Coletivamente, esses metabólitos sugerem sua utilização como biomarcadores para suínos expostos ao estresse crônico por calor.

Para manter a temperatura corporal, os centros termorreguladores que se localizam no hipotálamo processam informações e desencadeiam respostas para aumentar ou diminuir a produção de calor visando conservar ou dissipar o calor corporal (Kurz, 2008). Alguns hormônios como os tireoidianos, a tiroxina (T4) e a triiodotironina (T3) são importantes por

realizarem o controle da taxa metabólica e da termogênese, auxiliando na manutenção da temperatura corporal dos animais (Silva, 2006). Esses hormônios, em especial o T3, são conhecidos por serem termogênicos, estimulando a fosforilação oxidativa e a exportação de ATP (Collin et al., 2002).

Outra alteração endócrina amplamente relatada em trabalhos com EC envolve a insulina, que tem seus níveis elevados desencadeando um quadro de hiperinsulinemia (Baumgard et al., 2013; Baumgard et al., 2016). Esse quadro durante uma situação de EC é um grande paradoxo, haja visto que, a insulina é um hormônio anabólico, e a condição de EC é intensamente catabólica (Ross et al., 2015). Essa resposta do organismo pode estar envolvida com o papel da insulina na expressão de HSP (Li et al., 2006). Sanz Fernandez et al., (2015) demonstra que a sensibilidade periférica à insulina é aumentada em suínos em crescimento criados em condição de EC, sendo, portanto, atribuída com uma resposta adaptativa dos suínos.

Alterações na fisiologia sistêmica dão suporte a mudança que ocorre no metabolismo de carboidratos por meio de alterações nos níveis de insulina basal circulante e estimulada, em suínos em EC (Baumgard, e Rhoads, 2013). As respostas ao EC alteram marcadamente o metabolismo pós-absortivo de carboidratos, lipídeos e proteínas. Os carboidratos são uma fonte de energia que pode ser convertida em metabólicos e serem usados em reações de síntese, podendo também ser utilizado para a produção de ATP (Belhadj et al., 2016). Após a ingestão de carboidratos, a produção de glicose pelo fígado diminui. Entretanto, em condição de EC, o aumento da produção de glicose origina-se do aumento da glicogenólise e da glicogênese (Baumgard e Rhoads, 2013). Isso nos dá um indicativo que durante o EC a principal fonte de energia é a glicose (Garriga et al., 2006).

O EC desencadeia uma regulação negativa na síntese de proteínas no nível transcricional (Belhadj et al., 2016). Em outras palavras, o EC modifica a síntese proteica e a transcrição do gene do ribossomo resultando em uma menor deposição de proteínas. A proteína consumida pode ser decomposta em combustível ou usada para a síntese de novas proteínas ou peptídeos, entretanto, em situação de EC a síntese de proteínas no animal pode ou não ser reduzida, além do aumento de biomarcadores (glicocorticóides, catecolaminas) para o catabolismo do músculo esquelético (Smithson, 2016).

O metabolismo de lipídeos é afetado pelo EC, desencadeando em uma redução nos níveis de ácidos graxos não esterificados (AGNE), além de diminuir a atividade de enzimas lipolíticas (Morera et al., 2012; Belhadj et al., 2016). A ausência de alteração ou diminuição nas concentrações de AGNE é consistente com o aumento das concentrações basais de insulina, pois a insulina é um potente sinal antilipolítico (Vernom, 1992). De acordo com Pearce et al.,

(2013) relatam que os efeitos do EC em suínos incluem aumento da insulina plasmática, mas diminuição do AGNE.

Apesar da diminuição da atividade das enzimas lipolíticas, a atividade da lipoproteína lipase (LPL) é aumentada, o que pode explicar maior deposição de lipídeos. O aumento da atividade da LPL promove maior hidrólise do triglicerídeo celular (TAG) nas lipoproteínas séricas em ácidos graxos e glicerol, e estes são então reesterificados em TAG nos adipócitos, resultando em aumento da massa de tecido adiposo (Qu et al., 2015).

Os AGNE são gerados pela ação de enzimas lipases sobre lipídeos complexos ou pela hidrólise de ácido graxo-CoA por tioesterases. O fígado absorve os AGNE do sangue de acordo com sua concentração, entrando nas células via transportadores (proteínas de transporte de ácidos graxos [FATP]), translocase de ácido graxo (FAT, CD36) ou por difusão (Nguyen et al., 2008). Suínos durante a fase de terminação criados em condição de EC (30 °C) apresentam uma maior concentração plasmática de lipoproteínas de baixa densidade e AGNE em relação a suínos criados em TA de 22 °C (Xin et al., 2016). O EC deprime a síntese de ácidos graxos nos tecidos adiposos e no fígado, além de inibir a β -oxidação de ácidos graxos nos músculos esqueléticos (Xin et al., 2016). Como resultado, mais AGNE são usados para sintetizar lipoproteínas de baixa densidade no fígado e serem absorvidas pelo tecido adiposo. Adicionalmente, estudos têm demonstrado que o EC pode impactar também na integridade intestinal dos animais.

2.3 Integridade intestinal de suínos expostos ao estresse por calor

Desafios hipertérmicos comprometem a integridade intestinal de suínos. Em situação de EC, os suínos redistribuem o sangue para a região periférica, buscando maximizar a dissipação do calor pela forma radiante (Pearce et al., 2014). Entretanto, isso resulta na redução do fluxo de sangue e nutrientes para o intestino, podendo comprometer a barreira intestinal (Pearce et al., 2014) devido ao quadro de hipóxia dos órgãos viscerais (Gabler e Pearce, 2015). Para obtenção de ATP durante a hipóxia, as células realizam o catabolismo da glicose na forma anaeróbia, que permite a geração de ATP através do aumento da captação de glicose (Gabler e Pearce, 2015).

O EC também modifica as estruturas das vilosidades intestinais. Yu et al., (2010) observaram que o EC provoca danos acentuados nas pontas das vilosidades, reduzindo a altura das mesmas e aumentando a profundidade das criptas (alterando as relações vilo:cripta) do jejuno, que é o principal local de absorção de AA e outros nutrientes de importância para a produção dos suínos. Em adição à comprometida integridade intestinal, temos um aumento da

translocação de endotoxinas de bactérias para o sangue, que por sua vez inicia uma resposta inflamatória com produção de citocinas como interleucinas (IL-6, IL-1 β) e fator de necrose tumoral- α (Cui et al., 2016).

A exposição a altas temperaturas ambientais acelera a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO) que podem culminar em reações com os radicais livres, desencadeando apoptose celular (Belhadj et al., 2016). Os animais possuem mecanismos de defesa para neutralizar as ERO, de forma que a ligação de radicais de oxigênio esteja em equilíbrio (Jócsák et al., 2020). Quando o estresse oxidativo é induzido pelo EC, esse equilíbrio pode se modificar para o acúmulo de ERO, excedendo a capacidade antioxidante, podendo danificar macromoléculas vitais, como proteínas, ácidos nucleicos e lipídeos (Jócsák et al., 2020). O EC contribui para o estresse oxidativo nos animais de produção, podendo levar à degradação de proteínas através do aumento da proteólise e autofagia, além de prejudicar a síntese de proteínas, impedindo a tradução celular (Montilla et al., 2014), sugerindo que todas essas alterações podem impactar o desempenho e composição corporal dos animais.

2.4 Impacto do estresse por calor sobre o desempenho e composição corporal de suínos

A redução do consumo dos suínos está associada ao aumento da TA (Renaudeau et al., 2011), onde os animais buscam por uma redução da produção de calor que é inerente ao processo de digestão e absorção (Oliveira et al., 2019). O IC é resultante do metabolismo dos nutrientes, podendo agravar o quadro de estresse térmico causado pela temperatura do ambiente (Le Bellego et al., 2002b).

Como consequência da redução do consumo de ração, ocorre uma redução da quantidade de nutrientes e energia ingerida (Oleza et al., 2015). A redução do consumo juntamente com a maior demanda energética exigida para realizar a manutenção da homeostase térmica, desvia parte da energia que seria utilizada para funções produtivas (Becker et al., 1985), bem como a disponibilidade de nutrientes (AA em especial) para a síntese proteica visando sustentar as alterações fisiológicas destinadas a busca pela homeotermia.

A redução do consumo de ração em função do aumento da TA tem comportamento curvilíneo. Em outras palavras, o consumo de ração reduz à medida em que a TA ultrapassa a temperatura crítica superior do animal (Huynh et al., 2005). O impacto na redução do consumo é mais pronunciado com o aumento do peso corporal dos animais, evidenciando a maior susceptibilidade ao EC por suínos pesados quando comparado a suínos leves em uma mesma dada TA (Renaudeau et al., 2011).

Como consequência da diminuição do consumo de ração devido ao EC, temos uma

redução do ganho de peso diário (Huynh et al., 2005). Collin et al. (2001b) reportaram uma redução no consumo de ração de 17%, e no ganho de peso diário de 51% para suínos em crescimento, submetidos a 35 °C, em relação a animais criados em termoneutralidade (19 °C). Semelhante, Santos et al., (2018) relataram uma redução de 15% na taxa de ingestão de ração em suínos criados a 30 °C quando comparado a suínos criados em 23 °C.

O efeito da temperatura em decorrência da sazonalidade também tem sido relatado. Saraiva et al., (2012) relataram que suínos de 60 a 100 kg criados durante o verão brasileiro (máxima de 29,8 °C e mínima de 21,3 °C) na região sudeste do país tiveram uma taxa de crescimento de 15% menor do que os animais que foram criados durante o inverno (máxima de 24,7 °C e mínima de 9,1 °C). Similarmente, Myer e Bucklin, (2007) relatam que suínos criados durante o verão no sudeste dos EUA cresceram em média 3% mais lentamente do que aqueles que foram criados durante o inverno.

O efeito do EC sobre a eficiência alimentar tem resultados controversos. Lan e Kim (2018) observaram uma menor eficiência alimentar em suínos na fase de crescimento/terminação expostos a 37 °C durante 9h diárias por um período de 18 semanas. Semelhantemente, Song et al. (2011) evidenciaram que suínos expostos durante 9h a 37 °C apresentaram uma redução na eficiência alimentar de 9%. Em contraste, Spencer et al. (2005) e Mendoza et al. (2017) relatam um aumento na eficiência alimentar de suínos expostos a temperatura de até 35 °C. Ausência do efeito do EC sobre a eficiência alimentar também é relatado por outros autores (Xin et al., 2016; Mayorga et al., 2021).

Alterações na composição corporal dos suínos submetidos a condição de EC são descritas na literatura. Le Bellego et al. (2002a) relataram que em suínos alimentados *ad libitum* em condições de EC, a deposição de proteína é limitada e a ingestão adicional de energia metabolizável beneficia de forma exclusiva a deposição de lipídeos, tendo uma menor deposição de proteína em suínos alojados a 30 °C do que a 23 °C, que foram alimentados com uma dieta que conteve a mesma quantidade de energia. O efeito direto da elevada temperatura sobre a deposição de proteínas é devido ao alto custo energético dessa deposição em relação à de lipídeos (Renaudeau et al., 2012a).

Suínos expostos ao EC não mobilizam os triglicerídeos do tecido adiposo, mas aumentam a proteólise do músculo esquelético. Essas mudanças no metabolismo pós-absortivo de lipídeos e proteínas podem explicar o porquê de suínos em EC acumularem mais lipídeos do que tecido magro na carcaça (Pearce et al., 2013). Qu e Ajuwon (2018) confirmaram que o EC induz a uma resposta do tecido adiposo em favor do aumento do armazenamento de lipídeos, indicando um papel importante na adaptação ao EC. Em situação de EC a atividade da LPL é

aumentada, o que pode explicar a maior deposição de lipídeos, já relatado no tópico 2.2. Dessa maneira, estratégias nutricionais são necessárias para minimizar os efeitos negativos do EC em suínos.

2.5 Estratégias nutricionais para atenuar os efeitos deletérios do estresse por calor sobre o desempenho de suínos

A utilização de diferentes estratégias nutricionais tem sido avaliada e sugerida para suínos que são expostos ao EC, conforme descrito a seguir.

2.5.1 Redução do incremento da dieta

Dietas com alto teor de PB podem favorecer o aumento da produção de calor inerentes ao processo de digestão, podendo assim elevar a carga térmica corporal (Pesta e Samuel, 2014). Por isso, o uso de estratégias nutricionais utilizando dietas com baixo teor de PB e alto teor de gordura tem sido avaliado para suínos criados sob EC (Fraga et al., 2019). Formulações nutricionais com um baixo teor de PB podem ser consideradas como baixo IC, principalmente se forem enriquecidas com gordura (Le Bellego et al., 2002b).

Dietas que buscam reduzir a produção de calor pelo animal após a ingestão, atenuam a redução do consumo de ração e do crescimento que estão associados ao EC (Noblet et al., 2001). A redução da PB da dieta contribuiu de forma significativa para diminuir a produção total de calor, mais precisamente, de seu componente relacionado à eficiência de uso da ração pelo animal (Noblet et al., 2001). Diminuir a PB da dieta e fazer adição de gordura pode acentuar o efeito sobre a redução na produção total de calor (Noblet et al., 2001).

A utilização de uma estratégia que tem como objetivo reduzir os níveis de PB só é possível graças aos avanços na nutrição animal, que possibilitam determinar as exigências de AA (Vidal et al., 2010). Le Bellego et al. (2001) descreveram que reduzir o teor de PB da dieta de 18,9 para 12,3% resultou na diminuição de 7% da produção total de calor que foi atribuída a uma diminuição do efeito térmico da digestão e do gasto energético para suínos de 35 kg de peso corporal. Isso sugere que o uso de dietas com baixo IC em condições de elevadas temperaturas ambientais pode melhorar o desempenho dos animais (Renaudeau et al., 2008).

2.5.2 Aumento da densidade nutricional

Uma outra estratégia nutricional para suínos em EC é, além de reduzir o nível de PB, realizar a suplementação com AA industriais. Isso permite melhorar a relação entre AA, aproximando do perfil da proteína ideal, possibilitando uma maior eficiência alimentar dos animais (Orlando, 2001). Entretanto, é necessário ter um equilíbrio entre o fornecimento e o

requerimento dos AA, já que são proteínas relativamente de alto valor econômico (Faria, 2018) e o seu uso ineficiente pode contribuir para o aumento da excreção de nitrogênio e no impacto ambiental (van Milgen e Dourmad, 2015).

Estudos com suínos criados em condição de EC, alimentados com dietas contendo AA acima das exigências nutricionais estimadas para animais em termoneutralidade são escassos na literatura. Nesse sentido, Morales et al. (2018) realizaram um experimento com o fornecimento de pelo menos 26% a mais de AA (Lis, Tre, Met, Trp, Fen, Leu, Ile, His, Val) acima das exigências de suínos de 31 kg de peso corporal submetidos a condição de EC (24,5 a 42,6 °C) e observaram que a suplementação extra de AA melhorou o desempenho desses animais, proporcionando um maior ganho médio diário de peso e maior peso de carcaça quente.

2.5.3 Estratégia de manejo alimentar

A utilização de um programa de alimentação desenhado para uma determinada condição de criação em EC pode melhorar o desempenho de suínos. Alterações no horário de alimentação, com distribuição da ração para os períodos mais frescos do dia permitem maximizar o consumo dos animais. Em associação com a alteração do momento de fornecimento de ração, é adotada a utilização de um sistema de alimentação duplo, com fornecimento de uma dieta de alta PB e uma de alta energia nos períodos mais frescos e no mais quentes, respectivamente (Renaudeau et al., 2008). O uso de alimentadores automáticos e de precisão permitem o fornecimento de dietas que diferem em relação a sua composição nutricional. Isso permite a utilização de uma estratégia nutricional envolvendo a técnica de alimentação sequencial, que é um programa de alimentação que consiste em fornecer dietas com diferentes composições nutricionais em um determinado período de tempo (Bouvaere et al., 2008). Nesse sentido, Fraga et al., (2019) utilizando a técnica de alimentação sequencial com o fornecimento alternado de uma dieta com alto teor de gordura e baixa PB (24h) e uma dieta controle (24h), quando comparado com o sistema de alimentação com o fornecimento da mesma dieta controle (18:00h às 10:00h) e da dieta com alto teor de gordura e baixa PB (10:01h às 17:59h), demonstra que o desempenho de suínos criados em condição de EC pode ser melhorado utilizando a técnica de alimentação sequencial. Entretanto, ao custo da piora na composição corporal, evidenciada pelo aumento da deposição de gordura.

Portanto, considerado as condições de produção de suínos em regiões de clima tropical e subtropical, onde os animais estão expostos a variações cíclicas na temperatura do ambiente, tanto no período diurno quanto no período noturno, fica claro que a utilização de estratégias nutricionais que estejam mais adaptadas a condição de criação local pode acarretar em

melhorias no desempenho dos animais. Nesse sentido, a redução da PB com suplementação de AA acima da exigência nutricional dos animais pode ser uma estratégia nutricional para melhorar o desempenho e a composição corporal de suínos na fase de terminação submetidos a EC.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Estudos em Suinocultura, da Universidade Estadual Paulista, no campus de Jaboticabal-SP, com aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) sob o protocolo nº 3380/20.

3.1 Animais e delineamento experimental

Utilizou-se 90 fêmeas suínas (Landrace × Large White) [Agrocères PIC Camborough]. Os animais adquiridos com peso corporal de, aproximadamente, 25 kg foram pesados individualmente, brincados e receberam os transponders de identificação para os alimentadores de precisão (Automatic Intelligent Precision Feeders, AIPF; Universidade de Lleida, Lleida, Espanha). Esses animais foram submetidos a um período de adaptação às instalações e aos AIPF, recebendo uma mesma dieta basal de crescimento, conforme recomendações do NRC (2012), até que atingiram o peso corporal médio para iniciar o experimento. Ao atingirem o peso de $67,7 \pm 6,2$ kg, os animais foram distribuídos em um delineamento experimental de blocos casualizados, em um esquema fatorial 2×3 : duas temperaturas ambiente (TA) e três estratégias nutricionais (EN), com 15 repetições, sendo cada animal considerado uma unidade experimental. Os blocos foram formados de acordo com o peso corporal inicial dos animais, dividindo-os em blocos de animais leves, médios e pesados.

3.2 Período experimental

Antes de iniciar o experimento (-D1), os animais foram pesados individualmente, distribuídos em blocos e aleatoriamente atribuídos aos tratamentos experimentais. O período experimental de 48 dias foi dividido 2 fases alimentares. A primeira fase alimentar com duração de 27 dias (D0 a D27) correspondeu à fase de terminação I (67 a 93 kg). A segunda fase alimentar com duração de 21 dias (D27 a D48) correspondeu à fase de terminação II (93 a 112 kg). O fornecimento das dietas experimentais bem como o início do estresse cíclico por calor ocorreu no D3. Água e ração foram fornecidas *ad libitum* em ambas as condições de alojamento, durante todas as fases alimentares.

3.3 Tratamentos experimentais, alojamento e controle da temperatura ambiental

Para avaliar o efeito da redução da PB da dieta com suplementação dos AA Lisina (Lis), Metionina (Met), Treonina (Tre), Triptofano (Trp), Valina (Val) e Isoleucina (Ile) para suínos na fase de terminação, utilizou-se os seguintes tratamentos experimentais: AP, alta PB, dieta formulada sem a inclusão de AA industriais; BPAA, baixa PB, dieta suplementada com AA industriais; BPAA+, dieta com suplementação extra de AA industriais, sendo a suplementação extra de +20% de lisina digestível acima da recomendação para a fase, com ajustes nas relações Lis:AA (Met + Cisteína [Cis]: 65%, Tre: 72%, Trp: 20%, Val: 70%, Ile: 54%). Cada uma das três dietas foi associada com duas temperaturas ambiente, perfazendo os seis tratamentos experimentais. As temperaturas ambientes foram: termoneutralidade (TN, 24 h a 22 °C) e estresse cíclico por calor (ECC, 12 h a 35 °C [8 às 20 h] e 12 h a 22 °C [20 às 8 h]).

Os animais foram alojados em 2 galpões similares de 95 m², equipados com quatro AIPF cada um, porém com diferentes temperaturas ambiente. Na condição de TN (Figura 1), o controle da temperatura foi realizado automaticamente por meio de exaustores e painéis evaporativos.

O controle de temperatura na condição de ECC (Figura 2), foi realizado também de forma automática, por meio de um sistema associado de aquecedores de ar, exaustores e painéis evaporativos. Dentro do galpão de estresse por calor também foi adicionado um umidificador comercial (Hidrogiro, Ribeirão Preto, SP, Brasil) para amenizar o impacto da redução da umidade relativa do ar provocada pelos aquecedores. Em cada galpão, a temperatura e a umidade relativa do ar foram diariamente registradas em intervalos de 30 min utilizando um termo-higrômetro instalado na altura dos animais.



Figura 1 - Animais em condições de termoneutralidade



Figura 2 - Animais em condições de estresse por calor cíclico

3.4 Dietas experimentais

As dietas foram formuladas a base de milho, farelo de trigo e farelo de soja. Todas as dietas continham o mesmo nível de energia líquida e atenderam ou excederam as recomendações de exigências nutricionais preconizadas pelo NRC (2012).

A dieta AP não conteve nenhuma fonte de AA industrial. Nessa dieta, todas as exigências de AA digestíveis dos suínos foram atendidas ou excedidas pela PB intacta advinda dos ingredientes da dieta. Para reduzir o nível de PB das dietas BP, foi realizada a suplementação de 6 AA (Lis, Met, Tre, Trp, Val e Ile), assim atendendo as exigências nutricionais de AA digestíveis preconizadas para a fase alimentar em estudo. A suplementação extra da dieta BPAA+ foi obtida pelo fornecimento de +20% de lisina digestível acima da exigência nutricional preconizada desse AA para fase alimentar. Associada à suplementação de +20% de lisina, os 6 AA tiveram sua relação com a lisina ajustada/aumentada, conforme segue: Lis:Lis (100%), Met+Cis:Lis (65%), Met:Lis (35%), Tre:Lis (72%), Trp:Lis (20%), Val:Lis (70%), Arginina (Arg):Lis (46%), Ile:Lis (54%), Leu:Lis (100%), Histidina (His):Lis (35%), Fenilalanina (Fen):Lis (60%). A redução no nível de PB da dieta BPAA nas fases de terminação 1 e 2 foram de -5,27 e - 4,53 pontos percentuais (Tabela 1), enquanto que da dieta BPAA+ foram de - 2,96 e - 3,24 pontos percentuais.

Tabela 1. Redução do teor de PB em dietas suplementadas com AA, de acordo com a fase experimental (terminação 1 e 2).

Dietas experimentais	Redução de PB%	
	Terminação I (67 a 93 kg)	Terminação II (93 a 112 kg)
AP ¹	-	-
BPAA ²	- 5,27 %	- 4,53 %
BPAA+ ³	- 2,96 %	- 3,24 %

¹AP: alta PB, dieta formulada sem a inclusão de AA industriais; ²BPAA: baixa PB, dieta suplementada com AA industriais; ³BPAA+: dieta com suplementação extra de AA industriais, sendo a suplementação extra de +20% de lisina digestível acima da recomendação para a fase.

Todas as dietas tiveram o mesmo conteúdo de energia líquida, minerais e vitaminas em cada fase e atenderam (AP e BPAA) ou excederam (BPAA+) as exigências nutricionais de AA para os animais conforme as recomendações do NRC (2012). A tabela 2 mostra os ingredientes e a composição nutricional das dietas que foram utilizadas no experimento, de acordo com a fase do animal (terminação 1 e 2).

Tabela 2. Ingredientes e composição nutricional das dietas experimentais¹.

Ingredientes, %	Terminação 1			Terminação 2		
	AP	BPAA	BPAA+	AP	BPAA	BPAA+
Milho	66,70	79,86	76,14	70,73	82,72	79,43
Farelo de soja	24,88	11,66	15,19	19,82	7,80	10,57
Farelo de trigo	4,00	4,00	4,00	5,50	5,50	5,50
Óleo de soja	1,87	0,50	0,30	1,56	0,32	0,49
Fosfato bicálcico	0,87	1,04	0,99	0,70	0,85	0,82
Calcário	0,65	0,66	0,66	0,65	0,66	0,65
Sal	0,22	0,21	0,22	0,25	0,24	0,24
Premix Mineral ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Premix Vitamínico ³	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Biolys, 56,6%	-	0,56	0,69	-	0,51	0,62
DL-Met	-	0,09	0,22	-	0,05	0,16
L-Tre	-	0,13	0,26	-	0,11	0,22
L-Trp	-	0,03	0,06	-	0,03	0,05
L-Val	-	0,02	0,11	-	0,01	0,08
L-Ile	-		0,04	-	0,01	0,04

Maltodextrina	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Mold-Zap	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Cloreto de colina	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Carbonato de potássio	-	0,42	0,31	-	0,38	0,30
Bicarbonato de Sódio	-	0,02	0,01	-	0,02	0,01
<i>Nutriente calculado</i>						
EL, MJ / kg	10,61	10,61	10,52	10,61	10,61	10,61
PB, %	17,19	12,46	14,28	15,27	10,96	12,38
SID ⁴ Lis, %	0,78	0,78	0,94	0,66	0,66	0,79
SID Met + Cis, %	0,48	0,45	0,61	0,44	0,38	0,52
SID Tre, %	0,55	0,49	0,67	0,48	0,42	0,57
SID Trp, %	0,18	0,14	0,19	0,16	0,12	0,16
SID Val, %	0,72	0,51	0,66	0,63	0,44	0,56
SID Ile, %	0,64	0,41	0,51	0,55	0,35	0,43
Ca, %	0,56	0,56	0,56	0,50	0,50	0,50
Fósforo digestível, %	0,26	0,26	0,26	0,23	0,23	0,23
Fibra bruta, %	2,76	2,41	2,50	2,74	2,43	2,49
Cl, %	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22
K, %	0,74	0,74	0,74	0,64	0,64	0,64
Na, %	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
BE, mEq / kg ⁵	175	175	175	150	150	150

¹Dietas (estratégias nutricionais): AP: alta PB, dieta formulada sem a inclusão de AA industriais; BPAA: baixa PB, dieta suplementada com AA industriais; BPAA+: dieta com suplementação extra de AA industriais, sendo a suplementação extra de +20% de lisina digestível acima da recomendação para a fase. ²Premix mineral fornecido (por kg de dieta): Manganês (40 mg); cobre (15 mg); ferro (24,93 mg); cobalto (0,168 mg); iodo (1,416 mg); e zinco (74,971 mg). ³Premix vitamínico fornecido (por kg de dieta): Ácido Fólico (0,32 mg); Ácido D-pantoténico (14,8 mg); Biotina (0,04 mg); Niacina (28 mg); Selênio (0,25 mg); Vit. A (6000 UI); Vit. B1 (1,2 mg); Vit. B12 (22 mcg); Vit. B2 (4,4 mg); Vit. B6 (1,4 mg); Vit. D3 (1400 UI); Vit. E (26 UI); e Vit. K3 (2,16 mg). ⁴SID = digestibilidade ileal estandardizada. ⁵Balanço eletrolítico (BE) = $(Na / 23 + K / 39 - Cl / 35,5) \times 1000$.

3.5 Coleta de dados

3.5.1 Desempenho

Para avaliar o desempenho dos suínos, o consumo de ração foi mensurado diariamente por meio dos AIPF, que foram previamente descritos por Pomar et al. (2011) e consiste em um alimentador de espaço único no qual transportadores helicoidais fornecem quantidades

volumétricas de até 4 dietas contidas em recipientes de ração independentes, localizados na parte superior do alimentador. O alimentador identifica cada suíno quando sua cabeça é introduzida no comedouro e, a partir da identificação do transponder inserido na orelha direita, entrega a ração em resposta a cada solicitação do animal, de acordo com as rações experimentais atribuídas. Dessa forma, qualquer suíno do galpão pode acessar qualquer um dos comedouros e receber a ração do tratamento experimental estabelecida.

O peso corporal dos animais foi determinado no começo e no fim de cada fase experimental, nos dias D0, D27 e D48, após jejum prévio de 6h. Ao final de cada período experimental (D27 e D48) foi calculado o consumo médio diário de ração, o ganho diário de peso e a eficiência alimentar.

3.5.2 Composição Corporal

A composição corporal foi determinada no início do experimento e ao fim de cada fase experimental em todos os animais de cada tratamento. Para isso, os animais foram submetidos a um jejum prévio de 8h, em seguida foram sedados/anestesiados e escaneados, utilizando o equipamento de absorciometria por duplo feixe de raio X (DXA; Lunar Prodigy Advance, GE Healthcare, Madison, WI). Por meio do DXA (Figura 3) foram determinados os valores de massa magra e massa gorda dos animais. Esses valores foram posteriormente transformados em seus equivalentes químicos (proteína e lipídeo corporal), utilizando a equação proposta por Pomar e Rivest (1996).



Figura 3 - Escaneamento do animal utilizando o equipamento DXA

3.6 Análise estatística

O teste de BoxCox foi usado para verificar a homoscedasticidade das variâncias. A pressuposição da normalidade dos resíduos foi verificada por meio do teste de Cramer-von Mises dentro do procedimento UNIVARIATE do SAS (versão 9.4; SAS Institute Inc., Cary,

NC). A presença de outliers foi avaliada por meio das análises de resíduos dos dados e por anomalias registradas diariamente. Quando necessário, as variáveis respostas foram transformadas para análises e transformadas de volta à escala original para fins de relatório. O desempenho e a composição corporal foram analisados por fase experimental como um fatorial 2×3 , usando um modelo misto do SAS. O modelo considerou como efeito fixo a TA, as estratégias nutricionais e suas interações, enquanto o bloco foi incluído como efeito aleatório. Quando significativo no modelo, o peso corporal inicial foi utilizado como covariável. Cada animal foi considerado como uma unidade experimental. Os resultados foram considerados significantes quando $p \leq 0,05$.

4 RESULTADOS

A média da temperatura dentro da sala de TN e de ECC está representada na figura 4. No galpão de TN, a temperatura média ($21,9 \pm 0,4$ °C) foi mantida relativamente constante, com a maior temperatura (24,0 °C) registrada às 1330 h. Por outro lado, por delineamento e seguindo os objetivos do presente estudo, a temperatura média dentro do galpão de ECC variou ao longo do dia ($p < 0,01$). Durante o período TN do ECC, a temperatura média foi de $22,4 \pm 0,2$ °C, enquanto no período de alta temperatura, a média foi de $33,8 \pm 0,3$ °C.

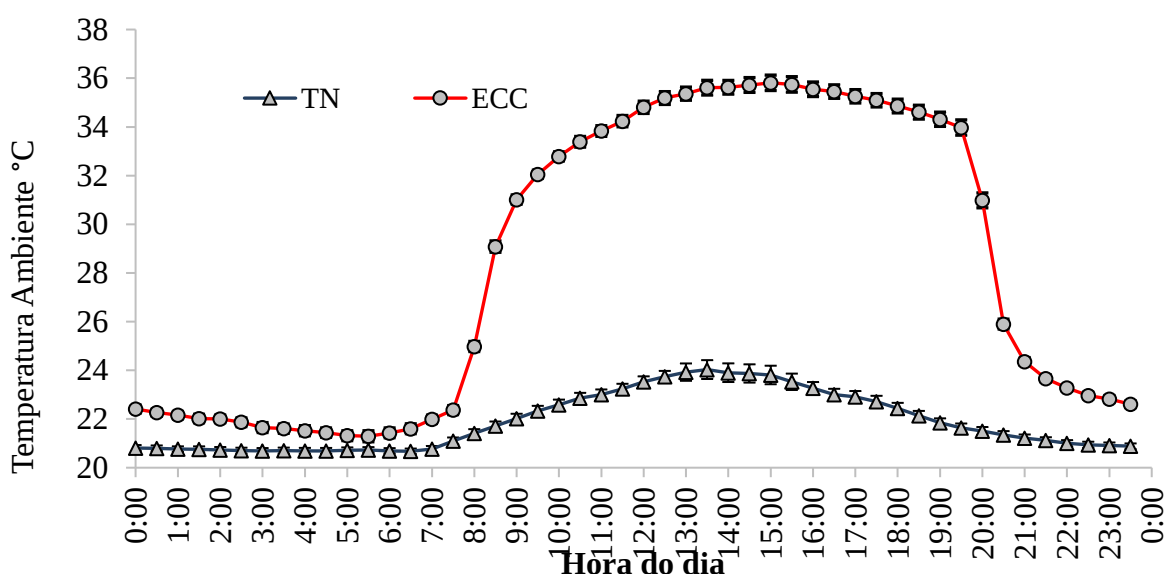


Figura 4. Temperatura ambiente média registradas dentro da sala termoneutra (TN) e estresse cíclico por calor (ECC), com o auxílio de um termo-higrômetro, em intervalos de 30 min, ao longo do experimento.

A média da umidade relativa do ar dentro dos galpões experimentais está representada na figura 5. A umidade relativa variou de 81,7 a 90,7% no galpão de TN e de 68,2 a 91,2% no galpão de ECC, com média de $87 \pm 1,7$ e $79,6 \pm 2,7\%$, respectivamente. Foi utilizado um umidificador comercial para controlar a redução da umidade relativa do ar causada pelo aquecedor dentro da sala do ECC (das 08h às 20h).

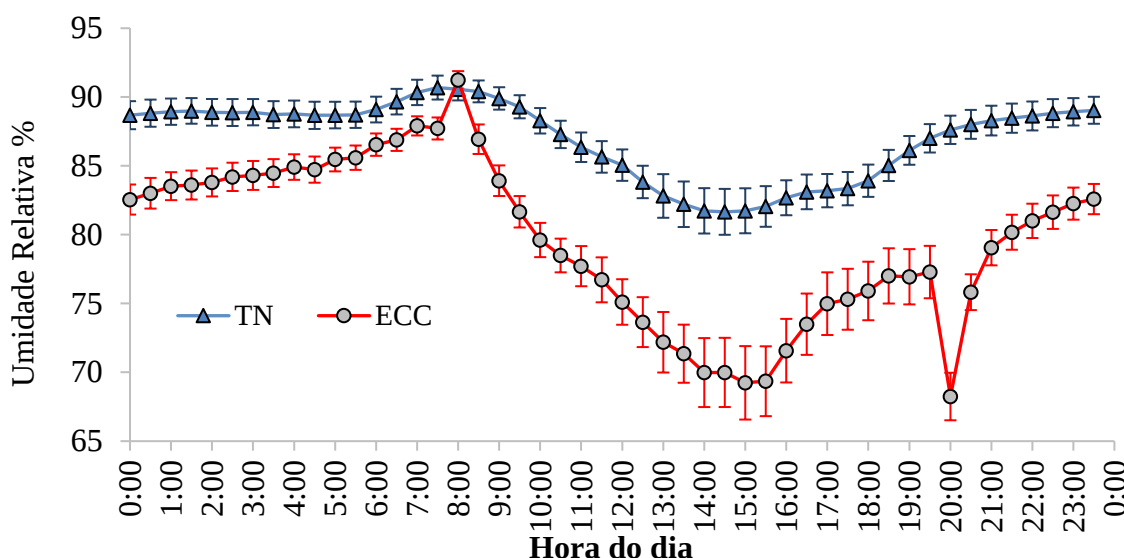


Figura 5. Média da Umidade relativa do ar registrada na sala termoneutra (TN) e de estresse cíclico por calor (ECC), com auxílio de um termo-higrômetro, em intervalos de 30 min, ao longo do experimento.

4.1 Desempenho

O desempenho dos suínos durante o período experimental foi apresentado na Tabela 5. Não foram observados efeitos das EN ($p > 0,10$) ou interações TA $\times$ EN ($p > 0,10$) durante as fases de terminação. No entanto, durante a fase de terminação 1, animais expostos a condição de ECC reduziram ($p < 0,05$) o consumo de ração em 135 g/d, com uma discreta melhora ($p < 0,05$) na eficiência alimentar de 3,6%. Durante a fase de terminação 2 o impacto sobre a redução do consumo de ração foi maior que na fase 1 (231 g/d). Ademais, houve uma redução ($p < 0,01$) no ganho de peso diário de 103 g/d. Considerando o período total avaliado, suínos criados sob ECC reduziram o consumo de ração ($p < 0,01$) em 185 g/d, o ganho de peso diário ($p < 0,05$) em 57 g/d e o peso final ($p = 0,05$) em 2,75 kg comparados aos animais do TN.

Tabela 5. Desempenho de suínos em terminação alojados em condições de termoneutralidade (TN) e estresse cíclico por calor (ECC), alimentados com três estratégias nutricionais (EN) que diferem em níveis de AA e PB¹.

	Temperatura		Estratégia Nutricional			DPE2	p-valor ³		
Item	TN	ECC	AP	BPAA	BPAA+		TA	EN	TA × EN
Fase 1 (0 a 27 d)									
PI, kg	67,5	67,9	67,7	67,5	67,9	0,82	0,33	0,80	0,69
PF, kg	93,2	92,64	92,7	92,53	93,52	1,36	0,46	0,51	0,85
GPD ⁴ , kg/d	0,94	0,92	0,92	0,92	0,95	0,05	0,45	0,53	0,85
CDR, kg/d	2,45	2,31	2,33	2,37	2,44	0,10	0,02	0,40	0,70
EA, kg/kg	0,38	0,40	0,39	0,38	0,39	0,01	0,04	0,57	0,20
Fase 2 (28 a 48 d)									
PI, kg	93,2	92,6	92,7	92,5	93,5	1,36	0,46	0,51	0,85
PF, kg	112,8	110,1	110,5	111,2	112,6	2,32	0,03	0,38	0,91
GPD, kg/d	0,93	0,83	0,84	0,89	0,91	0,07	<0,01	0,32	0,54
CDR, kg/d	2,62	2,39	2,45	2,52	2,54	0,14	0,01	0,78	0,51
EA, kg/kg	0,35	0,34	0,34	0,35	0,35	0,02	0,43	0,64	0,83
Total (0 a 48 d)									
PI, kg	67,5	67,9	67,7	67,53	67,87	0,82	0,33	0,80	0,69
PF, kg	112,8	110,1	110,5	111,2	112,6	2,32	0,03	0,38	0,91
GPD, kg/d	0,94	0,88	0,89	0,90	0,93	0,05	0,03	0,37	0,91
CDR, kg/d	2,54	2,35	2,40	2,44	2,49	0,11	<0,01	0,58	0,51
EA, kg/kg	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,01	0,32	0,63	0,55

¹As temperaturas foram termoneutralidade (TN, 24h a 22 ° C) e estresse cíclico por calor (ECC, 12h a 35 ° C e 12h a 22 ° C). As estratégias nutricionais foram: AP: alta PB, dieta formulada sem a inclusão de AA industriais; BPAA: baixa PB, dieta suplementada com AA industriais; BPAA+: dieta com suplementação extra de AA industriais, sendo a suplementação extra de +20% de lisina digestível acima da recomendação para a fase. ²DP do erro. ³Os dados foram analisados usando um modelo linear misto incluindo os efeitos fixos da covariável quando significativa, temperatura (TA), estratégias nutricionais (EN) e a interação entre TA e EN (TA × EN). O peso inicial (PI) como covariável foi significativo para o peso final (PF), consumo diários de ração (CDR) e eficiência alimentar (EA) ($p < 0,05$). ⁴Ganho de peso diário.

4.2 Composição Corporal

A composição corporal dos suínos está apresentada na Tabela 6. Ao início do experimento, os animais apresentaram peso e composição corporal em proteína, lipídeo e mineral ósseo similares ($p > 0,10$). Não foram observados efeitos das EM ou interações TA $\times$ EN durante as fases alimentares. Portanto, ao avaliar o efeito da TA de forma independente, ao final da fase de terminação 1 (D27) não foram observadas diferenças no peso e composição corporal em proteína, lipídeo e conteúdo mineral ósseo ($p > 0,10$) dos animais. Entretanto, ao avaliar a condição final do experimento (D48), os suínos submetidos ao ECC apresentaram menor peso corporal ($p = 0,05$; 110,2 vs. 112,8 kg), deposição de lipídeo corporal ($p = 0,03$; 22,96 vs. 24,26 kg) e conteúdo mineral ósseo ($p = 0,03$; 1,99 vs. 2,06 kg) comparados ao grupo TN.

Tabela 6. Composição corporal de suínos em terminação alojados em diferentes condições de temperaturas ambiente alimentados com três estratégias nutricionais que diferem em AA e PB¹.

	Temperatura		Estratégia Nutricional			EPR ²	p-valor ³		
Item	TN	ECC	AP	BPAA	BPAA+		TA	EN	TA × EN
Dia 0 (Condição inicial)									
Peso corporal, kg	67,5	67,9	67,7	67,5	67,9	0,82	0,23	0,64	0,85
Proteína corporal, kg	11,32	11,29	11,35	11,29	11,27	0,13	0,70	0,66	0,55
Lipídeo corporal, kg	10,55	10,72	10,39	10,70	10,82	0,55	0,55	0,48	0,51
Conteúdo Mineral ósseo, kg	1,25	1,25	1,23	1,25	1,26	0,03	0,84	0,41	1,00
Dia 27									
Peso corporal, kg	93,2	92,8	92,7	92,6	93,7	1,39	0,56	0,39	0,76
Proteína corporal, kg	15,10	15,04	15,03	14,98	15,19	0,31	0,70	0,58	0,73
Lipídeo corporal, kg	18,05	17,93	17,85	17,96	18,16	0,83	0,83	0,87	0,63
Mineral ósseo, kg	1,82	1,79	1,79	1,80	1,82	0,05	0,34	0,58	0,81
Dia 48 (Condição final)									
Peso corporal, kg	112,8	110,2	110,5	111,3	112,9	2,38	0,05	0,31	0,95
Proteína corporal, kg	17,95	17,69	17,77	17,76	17,93	0,44	0,27	0,82	0,90

Lipídeo corporal, kg	24,26	22,96	22,80	23,60	24,44	1,13	0,03	0,12	0,48
Mineral ósseo, kg	2,06	1,99	1,98	2,04	2,06	0,06	0,03	0,15	0,73

¹As temperaturas ambientes foram: termoneutralidade (TN, 24h a 22 °C) e estresse cíclico por calor (ECC, 12h a 35 °C e 12h a 22 °C). As estratégias nutricionais foram: AP: alta PB, dieta formulada sem a inclusão de AA industriais; BPAA: baixa PB, dieta suplementada com AA industriais; BPAA+: dieta com suplementação extra de AA industriais, sendo a suplementação extra de +20% de lisina digestível acima da recomendação para a fase.

²Erro padrão do resíduo. ³Os dados foram analisados usando um modelo misto incluindo os efeitos fixos do peso inicial como covariável quando significativo, temperatura (TA), estratégias nutricionais (EN) e a interação entre TA e EN (TA × EN). O peso corporal inicial como covariável foi significativo para todas as variáveis ($p < 0,05$), exceto para conteúdo mineral ósseo ($p > 0,05$).

5 DISCUSSÃO

O presente experimento foi conduzido para avaliar estratégias nutricionais proteicas e aminoacídicas sobre o desempenho e a composição corporal de suínos sob condição TN ou de ECC. Os registros diários de TA evidenciaram que os animais alojados sob condição de alta temperatura passaram por um ECC de aproximadamente 12 h por dia. Coffey et al. (2000) relataram que a temperatura ideal de conforto para suínos na fase de terminação está entre 10,0 e 23,9 °C. A média de temperatura dentro do galpão ECC entre 8 e 20 h foi de 33,8 °C. Isso indica que a temperatura média dentro da instalação permaneceu acima da temperatura ideal para suínos nessa faixa de peso e que o modelo experimental mimetizado no estudo representa uma condição prática de exposição crônica a alta temperatura, com flutuações de temperatura dentro de 24 h.

Por terem glândulas sudoríparas afuncionais (Curtis, 1983), sob altas temperaturas ambiente, a perda evaporativa de calor é o principal mecanismo de manutenção térmica corporal dos suínos (Turnpenny et al., 2000), provocando então um aumento da taxa respiratória nesses animais (Campos et al., 2017). A umidade relativa do ar dentro do galpão de ECC variou entre 91 e 67%. Quando combinada a altas temperaturas, a alta umidade dificulta a troca de calor entre o meio e o animal. Isso resulta na ineficiência da dissipação de calor latente através do trato respiratório (Pereira et al., 2018). Assim, a associação entre a alta TA e a alta umidade relativa do ar é um indicativo de limitação de dissipação de calor dos suínos (Huynh et al., 2007). Nesse contexto, a inclusão do umidificador em modelos experimentais de desafio por estresse por calor demonstra ser um potencial agravante da condição térmica ambiente de alojamento, por isso foi instalado o umidificar do galpão de ECC, para que durante as horas de estresse, os animais realmente estivessem em desafio. Em condição de desafio por calor a 35 °C, similar ao presente experimento, mas que não considera a inclusão do umidificador, ocorre

uma redução da umidade relativa, chegando a valores próximos a 20% (Biggs et al., 2020).

5.1 Desempenho

A redução da ingestão diária de ração em condição de elevada temperatura é uma resposta adaptativa do animal para reduzir a produção de calor proveniente do processo de digestão (Pearce et al., 2014). Embora as condições de temperatura e umidade sejam extremas (34 °C, 80%) no presente estudo, os suínos sob condição de ECC reduziram o consumo de ração em apenas 7,3%, quando comparados aos animais sob TN. Em vista do desafio proposto, os resultados apresentados corroboram com os achados de Lan e Kim (2018), que utilizando um modelo de desafio cíclico similar ao utilizado no presente estudo, reportaram uma redução do consumo de 6,63%. O maior impacto sobre o consumo de ração na fase de terminação 2, em comparação com a terminação 1 confirma que o efeito da redução do consumo não é linear, mas por outro lado, é dependente do peso corporal dos animais (Renaudeau et al., 2011; Lan e Kim, 2018). Assim, quanto mais pesados foram os animais, maior o impacto no consumo.

A redução do consumo voluntário observada em suínos sob condição de estresse por calor resulta na piora do ganho de peso. Ademais, parte dos nutrientes, especialmente AA, são desviados do crescimento para sustentar alterações fisiológicas causadas pela exposição a altas temperaturas (Cervantes et al., 2016). Consequentemente, ocorre uma menor disponibilidade de nutrientes para o crescimento do animal, reduzindo o ganho de peso e o peso final do animal.

A melhor eficiência alimentar apresentada durante a fase de terminação 1 para os animais em condição de estresse por calor pode ser atribuída a redução do consumo de ração sem alterações no ganho de peso. Apesar da redução do consumo e do ganho de peso, ao final do experimento não são observadas diferenças na eficiência alimentar, assim como relatado por Morales et al. (2014). Ademais, os efeitos do estresse por calor sob a eficiência alimentar são inconsistentes entre os estudos. Alguns autores observaram tanto a redução da eficiência (Lan e Kim, 2018), quanto o aumento da eficiência (Lefaucheur et al., 1991), enquanto, corroborando com os resultados desse estudo, não observaram alteração (Cervantes et al. 2016).

A redução da proteína bruta da dieta associada a suplementação com AA pode reduzir a produção de calor dos suínos (Kerr et al., 2003b), atenuando a redução do consumo diário de ração. Por outro lado, o aumento do nível de proteína bruta da dieta está relacionado com o maior turnover da proteína, resultando em uma elevada produção de calor (Renaudeau et al., 2008).

A ausência de interação entre as estratégias nutricionais e a TA adotadas neste estudo, demonstram que tanto a redução do nível de proteína bruta da dieta quanto a suplementação

extra com AA, não afetaram o desempenho dos suínos sob condição de TN ou de ECC. Entretanto, a utilização dessas estratégias não atenuou o efeito deletério do ECC sobre o desempenho dos animais.

5.2 Composição Corporal

No início do experimento, os animais tiveram similar composição corporal em proteína, lipídeo e conteúdo mineral ósseo. Assim, pode-se inferir que os animais estavam na mesma condição corporal inicial, garantindo que todas as respostas observadas foram por efeito das EN ou de TA. No entanto, valores similares de proteína corporal ao fim do experimento, indicam que nem a TA, nem as EN afetaram a massa magra dos animais. Esses resultados corroboram com os achados de outros autores (Keer et al., 2003; Fraga et al., 2019) que também não observaram redução na deposição de proteína quando reduziram a PB da dieta e suplementaram com AA, em uma condição de desafio por calor.

Em relação ao conteúdo de lipídeo corporal, animais criados em condições de alta temperatura tiveram menores valores que animais criados em TN, o que pode ser associado à redução do consumo diário de ração. A redução da composição de lipídeo corporal observada nos suínos criados em alta temperatura corrobora com os achados de Rinaldo e Le Dividich. (1991) e Collin et al. (2001a), que sugerem que altas temperaturas reduzem a disponibilidade de energia para deposição de lipídeo comparado a animais termoneutros. Entretanto não só o efeito indireto do consumo deve ser considerado, mas também as diferenças bioenergéticas como por exemplo custos de manutenção e exigências nutricionais que se diferem entre as duas condições ambientais (Cruzen et al., 2015).

6 CONCLUSÃO

Os resultados desse estudo evidenciam os efeitos deletérios da alta temperatura no desempenho dos suínos, bem como as modificações na sua composição corporal. A ausência de interações entre a condição de alojamento e as estratégias nutricionais sugerem que de forma individual, tanto a redução do nível de proteína da dieta quanto a suplementação extra de AA não afetam o desempenho.

7 RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos de dietas com baixa proteína suplementadas com AA industriais sobre o desempenho e a composição corporal de suínos sob ECC. Para isso, foram utilizadas 90 fêmeas suínas (Landrace × Large White) [Agrocères PIC

Camborough] ($67,7 \pm 6,2$ kg), durante um período experimental de 48 dias, dividido em 2 fases alimentares. A primeira fase alimentar com duração de 27 dias (D0 a D27) correspondeu à fase de terminação I (67 a 93 kg). A segunda fase alimentar com duração de 21 dias (D27 a D48) correspondeu à fase de terminação II (93 a 112 kg). Os animais foram distribuídos em um delineamento experimental de blocos casualizados, em um esquema fatorial 2×3 : duas temperaturas ambiente (TA) e três estratégias nutricionais (EN), com 15 repetições, sendo cada animal considerado uma unidade experimental. Os blocos foram formados de acordo com o peso inicial dos animais, dividindo-os em blocos de animais leves, médios e pesados. As TA foram: termoneutralidade (TN), no qual os animais foram mantidos a temperatura constante de 22 °C por 24 h; e estresse cíclico diário por calor (ECC), que compreendeu aos suínos um desafio diurno de 35 °C das 8 às 20 h, seguido de um período noturno de TN (22°C das 20 às 8 h). As EN foram: AP, alta PB, dieta formulada sem a inclusão de AA industriais; BPAA, baixa PB, dieta suplementada com AA industriais; BPAA+, dieta com suplementação extra de AA industriais, sendo a suplementação extra de +20% de lisina digestível acima da recomendação para a fase, com ajustes nas relações Lis:AA (Met+Cis: 65%, Tre: 72%, Tri: 20%, Val: 70%, Ile: 54%). As dietas atenderam ou excederam as exigências nutricionais aminoácidas recomendadas pelo NRC. No início do experimento a composição corporal dos animais foi determinada pelo DXA. Ao final de cada fase alimentar foi avaliado o desempenho dos animais e a composição corporal (proteína e gordura). Não foram observadas interações TA x EN ($p>0,10$), assim como efeito das EN ($p>0,10$) sobre o desempenho dos animais. Na fase de alimentação 1, os animais do ambiente ECC reduziram o consumo de ração ($p=0,02$), tendo uma melhor eficiência alimentar ($p=0,04$). Durante a fase de alimentação 2, o consumo de ração ($p<0,01$), o ganho de peso ($p<0,01$), bem como o peso final ($p=0,03$) foram afetados negativamente, sem alterar a eficiência alimentar ($p>0,10$). Em geral, suínos sob ECC reduziram o consumo de ração ($p<0,01$), o ganho de peso ($p=0,03$) e o peso final ($p=0,03$). Não foram observadas interações TA x EN ($p>0,10$) sobre as variáveis de composição corporal, nem efeito das EN ($p>0,10$). Animais criados em ECC reduziram o lipídeo corporal ($p=0,03$) e o conteúdo mineral ósseo ($p=0,03$). O modelo experimental de EC mimetizado neste estudo evidencia os efeitos deletérios da alta temperatura sobre o desempenho e composição corporal dos suínos. As EN não foram eficientes em atenuar os efeitos do EC sobre o desempenho e composição corporal. A redução do nível de proteína da dieta não afetou o desempenho dos suínos. A suplementação de AA acima das recomendações aumentou a deposição de lipídeos de suínos durante a segunda fase de terminação.

Palavras-chaves: aminoácidos na nutrição animal, suinocultura, rações.

Nutritional strategies with reduction of gross protein and increase of free amino acids for finishing pigs under cyclic stress by heat.

8 SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the effects of low protein diets supplemented with industrial AA on performance and body composition of swine under ECC. For this, 90 sows (Landrace × Large White) [Agroceres PIC Camborough] (67.7 ± 6.2 kg) were used during an experimental period of 48 days, divided into 2 feeding phases. The first feeding phase lasting 27 days (D0 to D27) corresponded to the finishing phase I (67 to 93 kg). The second feeding phase lasting 21 days (D27 to D48) corresponded to the finishing phase II (93 to 112 kg). The animals were distributed in a randomized block experimental design, in a 2×3 factorial scheme: two ambient temperatures (AT) and three nutritional strategies (EN), with 15 replications, with each animal considered an experimental unit. The blocks were formed according to the initial weight of the animals, dividing them into blocks of light, medium and heavy animals. The AT were: thermoneutrality (TN), in which the animals were kept at a constant temperature of 22 °C for 24 h; and daily cyclical heat stress (ECC), which included a daytime challenge of 33,8 °C from 8 am to 8 pm, followed by a nocturnal NT period (22°C from 8 pm to 8 am). The EN were: AP, high CP, diet formulated without the inclusion of industrial AA; BPAA, low CP, diet supplemented with industrial AA; BPAA+, diet with extra industrial AA supplementation, with an extra supplementation of +20% digestible lysine above the recommendation for the phase, with adjustments in Lis:AA ratios (Met+Cys: 65%, Thr: 72%, Tri: 20%, Val: 70%, Ile: 54%). The diets met or exceeded the amino acid nutritional requirements recommended by the NRC. At the beginning of the experiment the body composition of the animals was determined by DXA. At the end of each feeding phase, the animals' performance and body composition (protein and fat) were evaluated. There were no TA x EN interactions ($p>0.10$), as well as the effect of EN ($p>0.10$) on the animals' performance. In the feeding phase 1, the animals of the ECC environment reduced the feed consumption ($p=0.02$), having a better feed efficiency ($p=0.04$). During feeding phase 2, feed intake ($p<0.01$), weight gain ($p<0.01$), as well as final weight ($p=0.03$) were negatively affected, without changing the feed efficiency ($p>0.10$). In general, pigs under ECC reduced feed intake ($p<0.01$), weight gain ($p=0.03$) and final weight ($p=0.03$). There were no TA x EN interactions ($p>0.10$) on body composition variables, nor effect of EN ($p>0.10$). Animals raised in ECC reduced body lipid ($p=0.03$) and bone mineral content ($p=0.03$). The experimental model of EC mimicked in this study evidences the deleterious effects of high temperature on the performance and body composition of pigs. The EN were not efficient in attenuating the effects of EC on performance and body composition.

Reducing the level of protein in the diet did not affect the performance of the pigs. AA supplementation above the recommendations increased the lipid deposition of pigs during the second finishing phase.

Keywords: amino acids in animal nutrition, swine, feed.

REFERÊNCIAS

ANUAL, ABPA Relatório (2022). **Associação Brasileira de Proteína Animal**. p.70.

Ayala, I., Martos, N. F., Silvan, G., Gutierrez-Panizo, C., Clavel, J. G. & Illera, J. C. (2012). Cortisol, adrenocorticotrophic hormone, serotonin, adrenaline and noradrenaline serum concentrations in relation to disease and stress in the horse. **Research in Veterinary Science**, 93(1), 103-107.

Bagath, M. & Sejian, V. (2018). Heat stress and Immune Function in Livestock. **Multidisciplinary Advances in Veterinary Science**, 2(4), 395-398.

Baumgard, L. H. & Rhoads Jr, R. P. (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. **Annual Review of Animal Biosciences**, 1(1), 311-337.

Baumgard, L. H., Hausman, G. J. & Fernandez, M. S. (2016). Insulin: pancreatic secretion and adipocyte regulation. **Domestic Animal Endocrinology**, 54, 76-84.

Becker, B. A., Klir, J. J., Matteri, R. L., Spiers, D. E., Ellersiek, M. & Misfeldt, M. L. (1997). Endocrine and thermoregulatory responses to acute thermal exposures in 6-month-old pigs reared in different neonatal environments. **Journal of Thermal Biology**, 22(2), 87-93.

Becker, B. A., Nienaber, J. A., Christenson, R. K., Manak, R. C., DeShazer, J. A. & Hahn, G. L. (1985). Peripheral concentrations of cortisol as an indicator of stress in the pig. **American Journal of Veterinary Research**, 46(5), 1034-1038.

Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B. & Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, 4(7), 1167-1183.

Biggs, M. E., Kroscher, K. A., Zhao, L. D., Zhang, Z., Wall, E. H., Bravo, D. M. & Rhoads, R. P. (2020). Dietary supplementation of artificial sweetener and capsicum oleoresin as a strategy to mitigate the negative consequences of heat stress on pig performance. **Journal of Animal Science**, 98(5), skaa131.

Bottoms, G. D., Roesel, O. F., Rausch, F. D. & Akins, E. L. (1972). Circadian variation in plasma cortisol and corticosterone in pigs and mares. **Amer J Vet Res**, Apr;33(4):785-90

Bouvarel, I., Chagneau, A. M., Lescoat, P., Tesseraud, S. & Leterrier, C. (2008). Forty-eight-hour cycle sequential feeding with diets varying in protein and energy contents: adaptation in broilers at different ages. **Poultry Science**, 87(1), 196-203.

Campos, P. H. R. F., Floc'h, L., Noblet, J. & Renaudeau, D. (2017). Physiological responses of growing pigs to high ambient temperature and/or inflammatory challenges. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 46, 537-544.

Campos, P. H. R. F., Labussière, E., Hernández-García, J., Dubois, S., Renaudeau, D. & Noblet, J. (2014). Effects of ambient temperature on energy and nitrogen utilization in lipopolysaccharide-challenged growing pigs. **Journal of Animal Science**, 92(11), 4909-4920

Cervantes, M., Cota, M., Arce, N., Castillo, G., Avelar, E., Espinoza, S. & Morales, A. (2016). Effect of heat stress on performance and expression of selected amino acid and glucose transporters, HSP90, leptin and ghrelin in growing pigs. **Journal of Thermal Biology**, 59, 69-76.

Choi, Y., Moturi, J., Hosseindoust, A., Kim, M., Kim, K., Lee, J., Song, C., Kim, Y. & Chae, B. (2019). Night feeding in lactating sows is an essential management approach to decrease the detrimental impacts of heat stress. **Journal of Animal Science and Technology**, 61(6), 333.

Coffey, R. D., Parker, G. R. & Laurent, K. M. (2000). Feeding growing-finishing pigs to maximize lean growth rate. University of Kentucky, Lexington, and Kentucky State University, Frankfort. **Cooperative Extension Service**. ASC-147.

Collin, A., van Milgen, J., Dubois, S. & Noblet, J. (2001a). Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. **British Journal of Nutrition**, 86(1), 63-70.

Collin, A., van Milgent, J. & Le Dividich, J. (2001b). Modelling the effect of high, constant temperature on food intake in young growing pigs. **Animal Science**, 72(3), 519-527.

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(1), 45-53.

Cruzen, S. M., Boddicker, R. L., Graves, K. L., Johnson, T. P., Arkfeld, E. K., Baumgard, L. H., Ross, J. W., Safranski, T. J., Lucy, M. C. & Lonergan, S. M. (2015). Carcass composition of market weight pigs subjected to heat stress in utero and during finishing. **Journal of Animal Science**, 93(5), 2587-2596.

Cui, Y., Hao, Y., Li, J., Bao, W., Li, G., Gao, Y., & Gu, X. (2016). Chronic heat stress induces immune response, oxidative stress response, and apoptosis of finishing pig liver: a proteomic approach. **International Journal of Molecular Sciences**, 17(5), 393.

Cui, Y., Wang, C., Hao, Y., Gu, X. & Wang, H. (2019). Chronic heat stress induces acute phase responses and serum metabolome changes in finishing pigs. **Animals**, 9(7), 395.

Curtis, S. E. (1983). **Environmental management in animal agriculture**. Ames (IA): Iowa State University Press. 407p.

Dallman, M. F. & Hellhammer, D. (2011). Regulation of the hypothalamo-pituitaryadrenal axis, chronic stress, and energy: the role of brain networks. **The handbook of stress science: Biology, psychology, and health**, 11-36.

de Alencar Nääs, I., de Moura, D. J., Zappavigna, P. & Panagakis, P. B. (2006). Animal housing in hot climates: A multidisciplinary view. **Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences**, Schüttesvej, 17, 8700.

de Oliveira, A. C. D. F., Vanelli, K., Sotomaior, C. S., Weber, S. H. & Costa, L. B. (2019).

Impacts on performance of growing-finishing pigs under heat stress conditions: a meta-analysis. **Veterinary Research Communications**, 43(1), 37-43.

Du Preez, J. H., Hattingh, P. J., Giesecke, W. H. & Eisenberg, B. E. (1990). Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern African conditions. III. Monthly temperature-humidity index: mean values and their significance in the performance of dairy cattle. **The Onderstepoort Journal of Veterinary Research**, 57(4), 243-248.

Escribano, D., Tvarijonaviciute, A., Tecles, F. & Cerón, J. J. (2015). Serum paraoxonase type-1 activity in pigs: assay validation and evolution after an induced experimental inflammation. **Veterinary immunology and immunopathology**, 163(3-4), 210-215.

Etim, N. N., Williams, M. E., Evans, E. I. & Offiong, E. E. (2013). Physiological and behavioural responses of farm animals to stress: Implications to animal productivity. **Am. J. Adv. Agric. Res**, 1, 53-61.

Faria, L. F. (2018). Planos nutricionais de lisina digestível para suínos machos castrados em crescimento e terminação mantidos em ambiente de calor.

Fraga, A. Z., Campos, P. H. R. F., Da Silva, W. C., Caetano, R. P., Veira, A. M., Dos Santos, L. S. & Hauschild, L. (2019). Sequential feeding with high-fat/low-crude protein diets for two lines of growing-finishing pigs under daily cyclic high ambient temperature conditions. **Journal of Animal Science**, 97:2493–2504.

Gabay, C. & Kushner, I. (1999). Acute-phase proteins and other systemic responses to inflammation. **New England Journal of Medicine**, 340(6), 448-454.

Gabler, N. K. & Pearce, S. C. (2015). The impact of heat stress on intestinal function and productivity in grow-finish pigs. **Animal Production Science**, 55(12), 1403-1410.

Garriga, C., Hunter, R. R., Amat, C., Planas, J. M., Mitchell, M. A. & Moretó, M. (2006). Heat stress increases apical glucose transport in the chicken jejunum. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, 290(1), R195-R201.

Giroto, A. F. & dos Santos Filho, J. I. (2018). Custo de produção de suínos. Embrapa Suínos e Aves-Documentos (INFOTECA-E).

Godyń, D., Herbut, P., Angrecka, S. & Corrêa Vieira, F. M. (2020). Use of different cooling methods in pig facilities to alleviate the effects of heat stress—A review. **Animals**, 10(9), 1459.

Huynh, T. T. T., Aarnink, A. J. A., Heetkamp, M. J. W., Verstegen, M. W. A. & Kemp, B. (2007). Evaporative heat loss from group-housed growing pigs at high ambient temperatures. **Journal of Thermal Biology**, 32(5), 293-299.

Huynh, T. T. T., Aarnink, A. J. A., Verstegen, M. W. A., Gerrits, W. J. J., Heetkamp, M. J. W., Kemp, B. & Canh, T. T. (2005). Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. **Journal of Animal Science**, 83(6), 1385-1396.

IPCC (2022). Climate change: **The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Jócsák, I., Tossenberger, J., Végvári, G., Sudár, G., Varga-Visi, É. & Tóth, T. (2020). How is the effect of phytogenic feed supplementation tested in heat stressed pigs? Methodological and sampling considerations. **Agriculture**, 10(7), 257.

Kerr, B. J., Southern, L. L., Bidner, T. D., Friesen, K. G. & Easter, R. A. (2003b). Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. **Journal of Animal Science**, 81(12), 3075-3087.

Kerr, B. J., Yen, J. T., Nienaber, J. A. & Easter, R. A. (2003a). Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. **Journal of Animal Science**, 81(8), 1998-2007.

Kurz, A. (2008). Physiology of thermoregulation. **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, 22(4), 627-644.

Lacetera, N. (2012). Effect of environment on immune functions. In **Environmental physiology of Livestock**. John Wiley and Sons, New Jersey. p. 220–239.

Lan, R. & Kim, I. (2018). Effects of feeding diets containing essential oils and betaine to heat-stressed growing-finishing pigs. **Archives of animal nutrition**, 72(5), 368-378..

Le Bellego, L., Van Milgen, J. & Noblet, J. (2002a). Effect of high ambient temperature on protein and lipid deposition and energy utilization in growing pigs. **Animal Science**, 75(1), 85-96.

Le Bellego, L., van Milgen, J. & Noblet, J. (2002b). Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. **Journal of animal Science**, 80(3), 691-701

Le Bellego, L., van Milgen, J., Dubois, S. & Noblet, J. (2001). Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. **Journal of animal science**, 79(5), 1259-1271.

Lefaucheur, L., Le Dividich, J., Mourot, J., Monin, G., Ecolan, P. & Krauss, D. (1991). Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. **Journal of Animal Science**, 69(7), 2844-2854.

Li, G., Ali, I. S. & Currie, R. W. (2006). Insulin induces myocardial protection and Hsp70 localization to plasma membranes in rat hearts. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, 291(4), H1709-H1721.

Mackiewicz, A. (1997). Acute phase proteins and transformed cells. **International Review of Cytology**, 170, 225-300.

Martin, W. R. (2012). **Effects of heat stress on thermoregulation, reproduction and performance of different parity sows**. University of Missouri-Columbia.

Mayorga, E. J., Kvidera, S. K., Horst, E. A., Al-Qaisi, M., McCarthy, C. S., Abeyta, M. A., Lei, S., Elsasser, T. H., Kahl, S., Kiros, T. G. & Baumgard, L. H. (2021). Effects of dietary live yeast supplementation on growth performance and biomarkers of metabolism and inflammation

in heat-stressed and nutrient-restricted pigs. **Translational Animal Science**, 5(2), txab072.

Mendoza, S. M., Boyd, R. D., Ferket, P. R. & van Heugten, E. (2017). Effects of dietary supplementation of the osmolyte betaine on growing pig performance and serological and hematological indices during thermoneutral and heat-stressed conditions. **Journal of Animal Science**, 95(11), 5040-5053.

Minton, J. E. (1994). Function of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and the sympathetic nervous system in models of acute stress in domestic farm animals. **Journal of Animal Science**, 72(7), 1891-1898.

Morales, A., Chávez, M., Vásquez, N., Htoo, J. K., Buenabad, L., Espinoza, S. & Cervantes, M. (2018). Increased dietary protein or free amino acids supply for heat stress pigs: effect on performance and carcass traits. **Journal of Animal Science**, 96(4), 1419-1429.

Morales, A., Grageola, F., García, H., Arce, N., Araiza, B., Yáñez, J. & Cervantes, M. (2014). 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**, 98(5), 928-935.

Morera, P., Basiricò, L., Hosoda, K. & Bernabucci, U. (2012). Chronic heat stress up-regulates leptin and adiponectin secretion and expression and improves leptin, adiponectin and insulin sensitivity in mice. **Journal of Molecular Endocrinology**, 48(2), 129.

Mormède, P., Foury, A., Terenina, E. & Knap, P. W. (2011). Breeding for robustness: the role of cortisol. **Animal**, 5(5), 651-657.

Murata, H., Shimada, N. & Yoshioka, M. (2004). Current research on acute phase proteins in veterinary diagnosis: an overview. **The Veterinary Journal**, 168(1), 28-40.

Mutaf, S., Kahraman, N. Ş. & Firat, M. Z. (2008). Surface wetting and its effect on body and surface temperatures of domestic laying hens at different thermal conditions. **Poultry science**, 87(12), 2441-2450.

Myer, R. O. & Bucklin, R. A. (2007). Influence of rearing environment and season on growth performance of growing-finishing pigs. **Transactions of the ASABE**, 50(2), 615-620.

Myer, R. O., Brendemuhl, J. H. & Bucklin, R. A. (2008). Effect of season on growth performance of finishing pigs fed low-protein, amino acid supplemented diets. **Journal of Applied Animal Research**, 34(1), 1-8.

Nguyen, P., Leray, V., Diez, M., Serisier, S., Bloc'h, J. L., Siliart, B. & Dumon, H. (2008). Liver lipid metabolism. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 92(3), 272-283.

Noblet, J. Le Bellego, L., Van Milgen, J. & Dubois, S. (2001). Effects of reduced dietary protein level and fat addition on heat production and nitrogen and energy balance in growing pigs. **Animal Research**, 50(3), 227-238.

NRC (National Research Council). (2012). **Nutrient Requirements of Swine**. 12th ed. Washington, DC: National Academy Press.

Orlando, U. A. D. (2001). **Nível de proteína bruta da ração e efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e parâmetros fisiológicos de leitoas em crescimento** (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Viçosa.).

Pathak, P. K., Roychoudhury, R., Saharia, J., Borah, M. C., Dutta, D. J., Bhuyan, R. & Kalita, D. (2018). Impact of seasonal thermal stress on physiological and blood biochemical parameters in pigs under different dietary energy levels. **Tropical Animal Health and Production**, 50(5), 1025-1032.

Patience, J. F., Umboh, J. F., Chaplin, R. K. & Nyachoti, C. M. (2005). Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress. **Livestock Production Science**, 96(2-3), 205-214.

Pearce, S. C., Gabler, N. K., Ross, J. W., Escobar, J., Patience, J. F., Rhoads, R. P. & Baumgard, L. H. (2013). The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. **Journal of Animal Science**, 91(5), 2108-2118.

Pearce, S. C., Sanz-Fernandez, M. V., Hollis, J. H., Baumgard, L. H. & Gabler, N. K. (2014). Short-term exposure to heat stress attenuates appetite and intestinal integrity in growing pigs. **Journal of animal science**, 92(12), 5444-5454.

Pereira, T. L., Titto, E. A. L., Conte, S., Devillers, N., Somavilla, R., Diesel, T., Dalla Costa, F. A., Guay, F., Friendship, R., Crowe, T. & Faucitano, L. (2018). Application of a ventilation fan-misting bank on pigs kept in a stationary trailer before unloading: Effects on trailer microclimate, and pig behaviour and physiological response. **Livestock Science**, 216, 67-74.

Pesta, D. H. & Samuel, V. T. (2014). A high-protein diet for reducing body fat: mechanisms and possible caveats. **Nutrition & metabolism**, 11(1), 1-8.

Pomar, C. & J. Rivest. (1996). The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy x ray absorptiometry (DEXA). In: Proc. 46th **Annual Conference Canadian Society of Animal Science**; Lethbridge, AB, Canada. p. 26. (Abstr.)

Pomar, J., López, V. & Pomar, C. (2011). Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, 78(1), 88-97.

Qu, H. & Ajuwon, K. M. (2018). Adipose tissue-specific responses reveal an important role of lipogenesis during heat stress adaptation in pigs. **Journal of Animal Science**, 96(3), 975-989.

Qu, H., Donkin, S. S., & Ajuwon, K. M. (2015). Heat stress enhances adipogenic differentiation of subcutaneous fat depot-derived porcine stromovascular cells. **Journal of Animal Science**, 93(8), 3832-3842.

Rashamol, V. P., Sejian, V., Pragna, P., Lees, A. M., Bagath, M., Krishnan, G. & Gaughan, J. B. (2019). Prediction models, assessment methodologies and biotechnological tools to quantify heat stress response in ruminant livestock. **International journal of biometeorology**, 63(9), 1265-1281.

Renaudeau, D. & Noblet, J. (2001). Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on sow milk production and performance of piglets. **Journal of Animal Science**, 79(6), 1540-1548.

Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J. L. & Collier, R. J. (2012a). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, 6(5), 707-728.

Renaudeau, D., Gilbert, H. & Noblet, J. (2012b). Effect of climatic environment on feed efficiency in swine. In **Feed efficiency in swine** (pp. 183-210). Wageningen Academic Publishers, Wageningen.

Renaudeau, D., Gourdine, J. L. & St-Pierre, N. R. (2011). A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, 89(7), 2220-2230.

Renaudeau, D., Gourdine, J. L., Silva, B. A. N. & Noblet, J. (2008). Nutritional routes to attenuate heat stress in pigs. **Livestock and Global Climate Change**, 134.

Rinaldo, D. & Le Dividich, J. (1991). Assessment of optimal temperature for performance and chemical body composition of growing pigs. **Livestock Production Science**, 29(1), 61-75.

Ross, J. W., Hale, B. J., Gabler, N. K., Rhoads, R. P., Keating, A. F. & Baumgard, L. H. (2015). Physiological consequences of heat stress in pigs. **Animal Production Science**, 55(12), 1381-1390.

Santos, L. S. D., Pomar, C., Campos, P. H. R. F., da Silva, W. C., Gobi, J. D. P., Veira, A. M., Fraga, A. Z. & Hauschild, L. (2018). Precision feeding strategy for growing pigs under heat stress conditions. **Journal of Animal Science**, 96(11), 4789-4801.

Saraiva, A., Donzele, J. L., Oliveira, R. F. M., Abreu, M. L. T., Silva, F. C. O., Guimarães, S. E. F. & Kim, S. W. (2012). Phosphorus requirements for 60-to 100-kg pigs selected for high lean deposition under different thermal environments. **Journal of Animal Science**, 90(5), 1499-1505.

Silva, J. E. (2006). Thermogenic mechanisms and their hormonal regulation. **Physiological reviews**, 86(2), 435-464.

Smithson, A. T. (2016). The effect of supplemental grape seed extract on pig growth performance and body composition during heat stress (Doctoral dissertation, **Virginia Tech**).

Song, R., Foster, D. N. & Shurson, G. C. (2011). Effects of feeding diets containing bacitracin methylene disalicylate to heat-stressed finishing pigs. **Journal of Animal Science**, 89(6), 1830-1843.

Spencer, J. D., Gaines, A. M., Berg, E. P. & Allee, G. L. (2005). Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. **Journal of Animal Science**, 83(1), 243-254.

St-Pierre, N. R., Cobanov, B. & Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries. **Journal of dairy science**, 86, E52-E77.

Turnpenny, J. R., Wathes, C. M., Clark, J. A. & McArthur, A. J. (2000). Thermal balance of livestock: 2. Applications of a parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**, 101(1), 29- 52.

Tutar, L. & Tutar, Y. (2010). Heat shock proteins; an overview. **Current Pharmaceutical Biotechnology**, 11(2), 216-222.

van Milgen, J. & Dourmad, J. Y. (2015). Concept and application of ideal protein for pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 6(1), 1-11.

Vernon, R. G. (1992). Effects of diet on lipolysis and its regulation. **Proceedings of the Nutrition Society**, 51(3), 397-408.

Victoria Sanz Fernandez, M., Johnson, J. S., Abuajamieh, M., Stoakes, S. K., Seibert, J. T., Cox, L., Kahl, S., Elsasser, T. H., Ross, J. W., Clay Isom, S., Rhoads, R. P. & Baumgard, L. H. (2015). Effects of heat stress on carbohydrate and lipid metabolism in growing

pigs. **Physiological reports**, 3(2), e12315.

Vidal, T. Z. B., Fontes, D. O., Silva, F. C. O., Vasconcellos, C. H. F., Silva, M. A., Kill, J. L. & Souza, L. P. O. (2010). Efeito da redução da proteína bruta e da suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados, dos 70 aos 100kg. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 62, 914-920.

Xin, WU., Ze-yang, LI., Hong-guang, SU., Chung-hong, HU., Min-hon, Z. & Jing-hal, F. (2016). Effects of high ambient temperature on lipid metabolism in finishing pigs. **Journal of Integrative Agriculture**, 15(2), 391-396.

Xiong, Y., Cao, S., Xiao, H., Wu, Q., Yi, H., Jiang, Z. & Wang, L. (2022). Alterations in intestinal microbiota composition coincide with impaired intestinal morphology and dysfunctional ileal immune response in growing-finishing pigs under constant chronic heat stress. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 13(1), 1-18.

Yu, J., Yin, P., Liu, F., Cheng, G., Guo, K., Lu, A., Zhu, X., Luan, W. & Xu, J. (2010). Effect of heat stress on the porcine small intestine: a morphological and gene expression study. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, 156(1), 119-128.

Zumbach, B., Misztal, I., Tsuruta, S., Sanchez, J. P., Azain, M., Herring, W., Holl, J., Long, T. & Culbertson, M. (2008). Genetic components of heat stress in finishing pigs: development of a heat load function. **Journal of Animal Science**, 86(9), 2082-2088.