



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

TIAGO SILVA ANDRADE

**SUPLEMENTAÇÃO DE BETAÍNA, LEVEDURA ATIVA, SELÊNIO ORGÂNICO E
VITAMINA E PARA FÊMEAS SUÍNAS**

FORTALEZA

2021

TIAGO SILVA ANDRADE

SUPLEMENTAÇÃO DE BETAÍNA, LEVEDURA ATIVA, SELÊNIO ORGÂNICO E
VITAMINA E PARA FÊMEAS SUÍNAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de concentração: produção animal.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A571s Andrade, Tiago Silva.
Suplementação de betaína, levedura ativa, selênio orgânico e vitamina e para fêmeas suínas / Tiago Silva Andrade. – 2022.
105 f.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe.
1. Aditivos. 2. Composição do leite. 3. Antioxidantes. I. Título.

CDD 636.08

TIAGO SILVA ANDRADE

SUPLEMENTAÇÃO DE BETAÍNA, LEVEDURA ATIVA, SELÊNIO ORGÂNICO E
VITAMINA E PARA FÊMEAS SUÍNAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de concentração: produção animal.

Aprovado em 27/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ednardo Rodrigues Freitas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Germano Augusto Jerônimo do Nascimento
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Nailton Bezerra Evangelista
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Profª. Dra. Lina Raquel dos Santos Araújo
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

A Deus por ter me guiado até aqui.

Ao meu pai, José Moreira de Andrade, por ter me ensinado a trilhar o caminho do bem. À minha mãe, Oscarina Maria Silva Andrade, pelo exemplo de vida, esforço, dedicação e por ter sido a minha maior incentivadora. À minha esposa Zaamarah, por ter sido minha base nos momentos difíceis dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado a coragem e força para vencer mais este desafio em minha vida. À Universidade Federal do Ceará e ao curso de Pós-graduação em Zootecnia, pela oportunidade e aprendizado adquirido.

Ao Prof. Dr. Pedro Henrique Watanabe, pela orientação, confiança, ensinamentos, ajudando a aprimorar a base do meu saber.

Ao Prof. Dr. José Nailton Bezerra Evangelista, pelos ensinamentos, amizade e conselhos desde os tempos de graduação.

Ao Prof. Dr. Bruno Silva, pela parceria firmada durante toda realização desse projeto.

Ao amigo Gabriel Gobira, por todo esforço e dedicação no auxílio da condução deste trabalho.

À minha mãe Oscarina que sempre me incentivou a trilhar pelo caminho do estudo e pelo caráter que hoje tenho.

Ao meu pai Moreira que sempre foi minha fonte de inspiração de como ser ético, profissional e honesto, além de me mostrar que para vencer na vida é preciso responsabilidade e esforço pessoal.

Aos meus irmãos Fabio, Daniel e Gabriel que por muitas vezes foram meus conselheiros e amigos, sempre me ajudando quando requisitados.

Às minhas grandes amigas que esta universidade me deu, Eloísa Helena Mendes Vieira e Ingrid Barbosa de Mendonça.

Aos estudantes de graduação de Veterinária e Zootecnia integrantes do Grupo de Pesquisa em Suinocultura (GPS) e Núcleo de Estudo em Suínos (NES) da Universidade Estadual do Ceará e Universidade Federal do Ceará, respectivamente.

A todos os colaboradores da granja Xerez, por todo apoio, sem vocês teria sido impossível a conclusão deste trabalho.

Agradeço à empresa ABVISTA, ADISSEO e DSM, pela doação dos produtos que possibilitaram a realização desse trabalho.

Por último agradeço à minha esposa Zaamarah, que por muitas vezes ficou sozinha com meus filhos sendo um deles recém-nascido. Obrigado por ser essa fortaleza em minha vida, por ter me dado força quando pensava que não iria aguentar. Esse trabalho também é seu.

“Conhecimento só é conhecimento quando é
passado adiante. ” (PAULO MARTINS
BRASIL)

RESUMO

Foram realizados três ensaios para avaliar os efeitos da suplementação dietética de betaína, levedura ativa, selênio orgânico e vitamina E para fêmeas suínas sob estresse térmico sobre respostas fisiológicas, desempenho reprodutivo, composição e produção do leite, desempenho das leitegadas e concentrações sanguíneas de enzimas antioxidantes. No primeiro ensaio, avaliou-se a suplementação de betaína e levedura ativa, sendo utilizadas 196 porcas (Topigs 20) distribuídas em esquema fatorial 4x4, sendo quatro suplementações (controle; suplementação de 14 g de betaína/porca/dia; suplementação de 7 g de levedura ativa /porca/dia; suplementação de 14 g de betaína e 7 g de levedura ativa/porca/dia) e quatro ordens de parto (OP) – 1^a, 2^a, 3^a-4^a, e acima de 5^a OP. As porcas acima da 5^a OP, suplementadas com betaína ou levedura, tiveram maior produção estimada de leite em relação às não suplementadas. A suplementação de betaína, associada ou não à levedura, para fêmeas acima da 5^a OP proporcionou maior tamanho de leitegada ao desmame em relação ao grupo controle. O fornecimento de betaína para fêmeas acima da 5^a OP proporcionou maior peso das leitegadas ao desmame em relação às não suplementadas. No segundo e terceiro ensaios foram avaliadas a suplementação de selênio orgânico e vitamina E para primíparas e secundíparas (Ensaio 2) e para porcas acima de 3^a OP (Ensaio 3). Em ambos os ensaios foram utilizadas 96 porcas, da linhagem TN70 (Ensaio 2) e Topigs 20 (Ensaio 3), distribuídas em esquema fatorial 4x2, com quatro grupos experimentais e 2 OP (1^a e 2^a OP para o Ensaio 2 e 3-4^a e acima de 5^a OP para o Ensaio 3). Para ambos os ensaios os grupos experimentais consistiram em: ConRA – controle com resfriamento adiabático; ConSRA – controle sem resfriamento adiabático; SeSRA – com suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico, sem resfriamento adiabático; SeESRA – com suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vitamina E por fêmea, sem resfriamento adiabático. No ensaio 2, as porcas submetidas a resfriamento adiabático apresentaram maior produção de leite e leitegadas com maior peso em relação às demais. As matrizes e leitegadas do SeESRA apresentaram níveis séricos de glutathiona peroxidase e peróxido dismutase mais elevados em relação aos demais grupos. As porcas do SeESRA apresentaram maior conteúdo de superóxido dismutase do que as fêmeas dos grupos ConRA e ConSRA, não diferindo das matrizes SeSRA. No Ensaio 3, as fêmeas suplementadas com selênio orgânico e vitamina E apresentaram menor intervalo desmame-estro do que as matrizes não suplementadas e não submetidas a resfriamento adiabático. As porcas ConRA apresentaram maior produção de leite e desmamaram leitões mais pesados e com maior ganho médio diário em relação aos outros grupos. As matrizes e leitegadas do SeESRA apresentaram níveis séricos

de glutathione peroxidase e superóxido dismutase mais elevados em relação aos demais grupos. As porcas do SeESRA apresentaram maior conteúdo de superóxido dismutase do que fêmeas dos grupos ConRA e ConSRA, não diferindo das matrizes SeSRA. Conclui-se que a suplementação de betaína e/ou levedura para porcas acima de 5ª OP resulta em leitegadas com maior ganho de peso diário e ao desmame. Quando não há resfriamento adiabático, a suplementação de selênio orgânico e vitamina E reduz o intervalo desmame-estro e favorece a melhora no status antioxidante das matrizes e leitões

Palavras-chave: aditivos; composição do leite; leitões lactentes; antioxidantes; estresse oxidativo.

ABSTRACT

Three trials were performed to evaluate the dietary supplementation of betaine, live yeast, organic selenium and tocopherol for hyperprolific sows under heat stress on physiological parameters, reproductive performance, milk composition, litter performance and blood concentrations of antioxidant enzymes. In the first trial, the betaine and live yeast supplementation was evaluated. A total of 196 sows (Topigs 20) were allotted in a 4x4 factorial design, with 4 experimental diets (control; supplementation of 14g of betaine/sow/day; supplementation of 7g of live yeast/sow/day; supplementation of 14g of betaine and 7g of live yeast/sow/day) and 4 parity orders (PO) - 1st, 2nd, 3rd-4th, and above the 5th PO. Sows above the 5th PO that fed betaine or live yeast had higher milk yield when compared to sows fed control diet. Betaine supplementation, associated or not with live yeast, for sows above the 5th PO provided a higher litter size at weaning when compared to the control group. The supply of betaine for sows above the 5th PO provided a higher live weight at weaning of their litters when compared to control group. In the second and third trial, the supplementation of organic selenium and tocopherol was evaluated for sows of 1st and 2nd PO (2nd trial) and for sows above the 3rd PO (3rd trial). In both trials, 96 sows (Topigs TN70 - 2nd trial; and Topigs 20 – 3rd trial) were allotted in a 4x2 factorial design, with 4 experimental groups and 2 PO (1st and 2nd PO for 2nd trial, and 3rd-4th and above 5th PO for 3rd trial). For both trials, the experimental groups consisted of: ConRA – control diet, with evaporative cooling system; ConSRA – control, without evaporative cooling system; SeSRA – dietary supplementation of 0.3 mg of organic selenium/kg, without evaporative cooling system; SeESRA – supplementation of 0.3mg organic selenium/kg and 90 IU tocopherol, without evaporative cooling system. In the 2nd trial, the sows with evaporative cooling system had higher milk yield and heavier litters when compared to the others. Sows from SeESRA and their litters had higher serum levels of glutathione peroxidase and superoxide dismutase when compared to the other groups. Sows from SeESRA had higher superoxide dismutase content than females from ConRA and ConSRA groups, not differing from SeSRA sows. In 3rd trial, the sows from SeESRA had a shorter weaning-estrus interval than non-supplemented sows. Sows from ConRA had a higher milk yield and weaned heavier piglets with higher average daily weight gain when compared to the other groups. Sows from SeESRA and their litters had higher serum levels of glutathione peroxidase and superoxide dismutase when compared to the other groups. Sows from SeESRA had higher superoxide dismutase content than females from ConRA and ConSRA groups, not differing from SeSRA sows. It is concluded that betaine and/or live yeast

supplementation for sows above the 5th OP results in litters with higher daily weight gain at weaning. When there is no adiabatic cooling, the supplementation of organic selenium and tocopherol reduces the weaning-estrus interval and favors an improvement in antioxidant status of sows and piglets.

Keywords: additives; milk composition; suckling piglets; antioxidants; oxidative stress.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Suplementação de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre as respostas fisiológicas de porcas durante a lactação	38
Tabela 2	– Suplementação de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre as respostas fisiológicas de porcas durante a lactação	41
Tabela 3	– Suplementação dietética de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre o desempenho reprodutivo de porcas durante a lactação	43
Tabela 4	– Desdobramento da interação entre a suplementação de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre a produção de leite de porcas durante a lactação	44
Tabela 5	– Suplementação dietética de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre o desempenho das leitegadas de porcas durante a lactação	46
Tabela 6	– População brasileira por situação em domicílio em 2003	47
Tabela 7	– Desdobramentos das interações entre a suplementação de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre o desempenho das leitegadas de porcas durante a lactação	49
Tabela 8	– Desdobramentos das interações entre a suplementação de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre o perfil de ácidos graxos do leite de porcas durante a lactação	51
Tabela 9	– Grupos experimentais sobre os parâmetros fisiológicos de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto	63
Tabela 10	– Grupos experimentais sobre o desempenho zootécnico de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto	64
Tabela 11	– Grupos experimentais sobre o desempenho das leitegadas de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto	66
Tabela 12	– Grupos experimentais sobre a composição do leite de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto	68

Tabela 13 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre as concentrações sanguíneas de glutathiona peroxidase (GSH-Px) e superóxido dismutase (SOD) de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto	70
Tabela 14 – Grupos experimentais sobre os parâmetros fisiológicos de porcas multíparas	82
Tabela 15 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre o desempenho zootécnico de porcas multíparas	83
Tabela 16 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre o desempenho das leitegadas de porcas multíparas	86
Tabela 17 – Desdobramento da interação entre os grupos experimentais e ordens de parto de porcas multíparas sobre o tamanho da leitegada ao desmame	87
Tabela 18 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre a composição do leite de porcas multíparas	88
Tabela 19 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre as concentrações sanguíneas de glutathiona peroxidase (GSH-Px) e superóxido dismutase (SOD) de porcas multíparas	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Estresse térmico em matrizes suínas	17
2.2	Respostas fisiológicas e adaptativas ao estresse térmico	17
2.2.1	<i>Frequência respiratória</i>	18
2.2.2	<i>Temperatura retal e temperatura de pele</i>	19
2.2.3	<i>Redução do consumo alimentar</i>	20
2.2.4	<i>Efeito do estresse térmico no desempenho de fêmeas suínas em gestação e lactação</i>	22
2.2.5	<i>Estresse oxidativo em porcas submetidas ao estresse térmico</i>	24
2.3	Aditivos utilizados para minimizar o estresse térmico e oxidativo em porcas gestantes e lactantes	26
2.3.1	<i>Betaína</i>	26
2.3.2	<i>Levedura Saccharomyces cerevisiae como probiótico</i>	28
2.3.3	<i>Vitamina E (α-tocoferol)</i>	30
2.3.4	<i>Selênio orgânico</i>	31
3	BETAÍNA E LEVEDURA ATIVA PARA PORCAS LACTANTES DE DIFERENTES ORDENS DE PARTO	33
3.1	Introdução	36
3.2	Material e métodos	37
3.3	Resultados e discussão	40
3.4	Conclusão	52
4	SELÊNIO ORGÂNICO E VITAMINA E PARA PORCAS DE 1ª E 2ª ORDEM DE PARTO SOB ESTRESSE TÉRMICO	53
4.1	Introdução	57
4.2	Material e métodos	58
4.3	Resultados e discussão	61
4.4	Conclusão	71
5	SELÊNIO ORGÂNICO E VITAMINA E PARA PORCAS MULTÍPARAS SOB ESTRESSE TÉRMICO	72
5.1	Introdução	76

5.2	Material e métodos	77
5.3	Resultados e discussão	80
5.4	conclusão	91
	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

A produtividade da fêmea suína vem aumentando a cada ano devido, principalmente, ao avanço genético e seleção baseada em parâmetros zootécnicos, como tamanho de leitegada, intervalo desmame-estro e eficiência na lactação (SILVA, 2010). Entretanto, tais características tornaram essa categoria animal mais sensível aos eventuais desafios impostos pelos sistemas produtivos. Assim, como as principais companhias produtoras de genética suína encontram-se na América do Norte e na Europa, um dos maiores desafios enfrentados pelas matrizes suínas ao serem introduzidas na suinocultura brasileira é a adaptação ao clima tropical.

O Brasil apresenta grande área territorial e clima diversificado entre as regiões. Em parte do país, observa-se temperatura do ar elevada associada à umidade relativa do ar também alta durante maior parte do ano. Por estas condições à exposição contínua de fêmeas suínas a este tipo de ambiente ocasiona a condição de estresse térmico, podendo afetar a produção de leite durante o período de lactação na maternidade e o comportamento estral, que ocasionam redução na taxa de concepção e aumento da mortalidade embrionária (RENAUDEAU et al., 2003).

A busca da máxima eficiência, durante muitos anos, esteve voltada para o atendimento das necessidades de sanidade, manejo e nutrição. Porém, os avanços obtidos nestas áreas têm sido limitados pelos fatores ambientais, principalmente pelo clima ao qual os animais são submetidos (FURTADO, 2020). Com isso, a produção de fêmeas suínas de elevada capacidade produtiva em clima tropical, além do menor desempenho reprodutivo associado ao estresse térmico apresentam desafio associado ao estresse oxidativo (OZAWA *et al.*, 2002; KIM *et al.*, 2013).

Uma das estratégias utilizadas para reduzir o impacto negativo na produção de porcas hiperprolíficas sob estresse térmico é o uso de aditivos nas rações. Neste sentido, objetivou-se avaliar o efeito da suplementação de betaína, levedura ativa, selênio orgânico e vitamina E para fêmeas suínas hiperprolíficas de diferentes ordens de parto, sobre as respostas fisiológicas, parâmetros reprodutivos, produção e composição do leite, desempenho produtivo de suas leitegadas, bem como as concentrações sanguíneas das enzimas antioxidantes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estresse térmico em matrizes suínas

O conforto térmico é dependente de diversos fatores; alguns relacionados ao animal, como peso, idade, estado fisiológico, tamanho do grupo, nível de alimentação e genética; e outros associados ao ambiente como temperatura, velocidade do vento, umidade relativa, tipo de piso e energia radiante (SARAIVA *et al.*, 2003). Em ambientes termoneutros, as matrizes suínas apresentam melhor eficiência na utilização dos nutrientes, consequência do menor esforço termorregulatório para manter a temperatura corporal, sendo de 12 a 18°C e a umidade relativa do ar deve-se encontrar entre 40 a 70% (BRIDI, 2006). Assim, as condições climáticas tropicais, cuja temperatura média se encontra acima da zona de termoneutralidade, resultam em situação de estresse térmico que limitam a produtividade do rebanho (O'GRADY *et al.*, 1985).

Estresse térmico é o desequilíbrio que ocorre no organismo do animal em resposta às condições ambientais adversas, tais como alta temperatura ambiente, alta umidade relativa do ar e alta radiação solar. O estresse por calor ocorre, então, quando a energia térmica que o animal recebe do ambiente, adicionada à carga calórica produzida pelo metabolismo, é maior que a capacidade do animal em eliminar para o ambiente o estoque de calor excedente (RODRIGUES, 2011). Nas condições de estresse térmico, as fêmeas suínas entram em balanço energético negativo, ou seja, ocorre a elevação na mobilização das reservas corporais (RENAUDEAU *et al.*, 2003; JUSTINO *et al.*, 2015; ROSS *et al.*, 2015).

2.2 Respostas fisiológicas e adaptativas ao estresse térmico em matrizes suínas

Suínos criados em clima tropical estão sujeitos a condições de estresse por altas temperaturas, fator que compromete o bem-estar e o desempenho produtivo dos animais. Quando submetidos a um desafio de curta duração, a diminuição da produção de calor metabólico e o aumento da dissipação do calor geralmente são eficientes para manutenção da homeotermia. No entanto, em condições de longa exposição, as respostas termorregulatórias incluem redução da taxa metabólica, alterações no sistema endócrino e, potencialmente alterações morfológicas (SILVA, 2006; COLLIN *et al.*, 2002; RENAUDEAU, HUC e NOBLET 2007; CAMPOS *et al.*, 2017; RENAUDEAU *et al.* 2011).

As respostas fisiológicas adaptativas ao calor incluem vasodilatação periférica, aumento da produção de suor, aumento da frequência respiratória, aumento da temperatura retal, aumento da temperatura da pele e dos batimentos cardíacos, redução no metabolismo basal e energético e, conseqüentemente, redução no consumo de ração (HILL *et al.*, 2012). Os suínos possuem glândulas sudoríparas rudimentares e poucas funcionais (RODRIGUES *et al.* 2011) para realizar sudorese significativa e, portanto, utiliza-se da ofegação e mudanças comportamentais para isso. Deste modo, a troca de calor do suíno ocorre na forma de calor sensível (condução, convecção e radiação) e latente (evaporação), sendo a eficiência dessa troca influenciada pela temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (PERDOMO, 1999; BORTOLOZZO, 2011).

Durante a fase de lactação, a maior parte da exigência nutricional das fêmeas é requerida para a síntese de leite, que é influenciada pelo tamanho da leitegada. Porém, nem sempre o consumo voluntário da porca é capaz de suprir a alta demanda por nutrientes do período (MARTINS *et al.* 2008), provocando a mudança do metabolismo anabólico para catabólico, condição essa que é agravada quando as porcas se encontram sob estresse por calor. Além disso, a síntese do leite envolve várias reações metabólicas que, durante esse processo, produzem as espécies reativas de oxigênio (ERO) como subprodutos da reação em cadeia do transporte de elétrons nas mitocôndrias, que podem também induzir ao estresse oxidativo (SORDILLO; AITKEN, 2009).

2.2.1 Frequência respiratória

Nas fêmeas suínas uma importante forma de perda de calor latente ocorre por meio do aumento da frequência respiratória, usando a perda evaporativa para manter o equilíbrio térmico corporal (FURLAN & MACARI, 2002). Este aumento constitui a principal e mais eficiente forma de dissipar calor em suínos submetidos a temperaturas acima da termoneutralidade (OLIVEIRA NETO, 2001). Enquanto a frequência respiratória normal em suínos adultos varia entre 15 a 25 movimentos por minuto (YAN & YAMAMOTO, 2000), em ambientes com temperaturas elevadas, o aumento da frequência respiratória acima de 40 movimentos, por minuto, pode indicar estresse térmico.

Rigo *et al.* (2019), ao estudarem os efeitos do sistema de resfriamento evaporativo com pressão negativa (SRE) e aspersão de água sobre o telhado (AAT), observaram que a frequência respiratória de fêmeas suínas em lactação em AAT foram superiores à das SRE, tanto no período da manhã quanto à tarde. De acordo com os mesmos autores, em ambos os

sistemas de resfriamento as frequências respiratórias ficaram acima do normal, porém a maior frequência observada para fêmeas submetidas a AAT indica a importância da mesma como mecanismos fisiológicos utilizados pelos suínos para aumentar a perda de calor para o meio ambiente acima da temperatura crítica superior.

Em experimento realizado por SILVA *et al.* (2006), avaliando o efeito do resfriamento do piso de porcas primíparas em lactação, verificaram alterações nas frequências respiratórias, sendo que porcas alojadas em pisos resfriados apresentaram frequência de 33 resp/min, enquanto porcas alojadas em pisos sem resfriamento houve aumento em 92 resp/min. MARTINS *et al.* (2008), mensurando a frequência respiratória de matrizes suínas na fase de lactação, verificaram a variação de 61,34 resp/min a 82,33 resp/min, e com base na matriz de correlação a frequência respiratória foi mais vulnerável às variações ambientais, especialmente à temperatura do ar, sendo este mecanismo o mais importante para dissipação de calor e manutenção da homeotermia, em matrizes suínas lactantes.

2.2.2 Temperatura retal e temperatura de pele

A temperatura retal é usada, frequentemente, como índice de adaptação fisiológica ao ambiente com temperatura acima da termoneutralidade. O aumento em seu valor significa que o animal está estocando calor; neste caso, o estresse térmico manifesta-se, pois, seu aumento indica que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes para manter a homeotermia (FERREIRA, 2002), portanto em situação de estresse térmico, ocorre aumento da frequência respiratória para acentuar a perda de calor por evaporação, visando compensar a perda mínima que ocorre por sudorese. Sob estas condições, a frequência respiratória começa a elevar-se antes da temperatura retal (ORLANDO *et al.*, 2000).

Embora as perdas evaporativas cutâneas não sejam expressivas nos suínos, a pele é um importante órgão termorregulador, por onde se realizam as trocas de calor, sendo sua temperatura influenciada, fisiologicamente, pelo fluxo sanguíneo que a percorre. Segundo Ashrae (2001), ao sentir desconforto térmico, o primeiro mecanismo fisiológico a ser ativado é a regulação vasomotora do fluxo sanguíneo local (vasodilatação ou vasoconstrição), reduzindo ou aumentando a resistência térmica da pele.

A perda de calor superficial para o ambiente pode ocorrer quando os animais se encontram em pisos frios, em razão da perda de calor por condução (LAGANÁ *et al.*, 1998). As matrizes suínas em períodos de lactação que possuem o metabolismo elevado com grande produção de calor se beneficiam, já que com o contato com este piso frio ela aumenta seu

conforto térmico e ganho na produção (LIMA *et al.*, 2011). O maior fluxo sanguíneo na região dos capilares superficiais tende a aumentar a temperatura superficial e este fluxo aumentado em períodos que o animal se encontra sob estresse, acontece para que o animal perca mais calor para o ambiente, com isso a temperatura superficial é maior que em períodos mais frios, comparado a períodos mais quentes (SILVA *et al.* 2009).

Rigo *et al.* (2019), ao investigarem os efeitos do sistema de resfriamento evaporativo com pressão negativa (SRE) e aspersão de água sobre o telhado (AAT), observaram que a temperatura retal das porcas foi menor de manhã em relação ao período da tarde independentemente do tipo de galpão. De acordo com os mesmos autores porcas sob AAT apresentaram maior temperatura retal que as alojadas em SRE, porém estiveram dentro do padrão fisiológico que é de 38 a 39,3°C. Neste mesmo estudo também foi observado aumento na temperatura de orelha, paleta, lombo e pernil no período da manhã para tarde e foi maior em porcas em AAT que em SER.

2.2.3 Redução do consumo alimentar

Fêmeas suínas sob condições de estresse térmico reduzem a ingestão de alimentos com o intuito de minimizar a produção de calor metabólico e aumentam o consumo de água (GOURDINE *et al.*, 2006; RENAUDEAU *et al.*, 2003; RIBEIRO, 2016). A redução no consumo alimentar consiste em um dos principais ajustes metabólicos dos animais para redução da produção de calor corporal, fato que pode se agravar conforme o estado fisiológico do animal (lactação, gestação, faixa de peso). O'Grady *et al* (1985), estudando matrizes lactantes, relataram redução de 12% na ingestão de ração, quando a temperatura variou de 21 para 27°C; esta variação foi ainda maior (25%) quando a temperatura variou de 16 para 27°C. Em estudo de meta-análise, Renaudeau, Gourdine e St-pierre (2011) reportaram redução de 80 g/dia no consumo do alimento, e 40 g/dia no ganho de peso para cada grau de aumento na temperatura ambiente entre 24 e 30°C, em suínos de 90 kg.

De acordo com Ribeiro (2016), para cada 1°C de aumento da temperatura no intervalo de 15 a 32°C, observa-se redução no consumo de ração de 148 g/dia, o que ocasiona queda na produção de leite de 227 g/dia em fêmeas suínas. Esta redução pode estar associada ao redirecionamento do fluxo sanguíneo da glândula mamária para pele na tentativa de regular a temperatura corporal causando, dessa forma, decréscimo na disponibilidade de nutrientes para síntese de leite e, portanto, comprometendo o desenvolvimento da leitegada (BARB *et al.*, 1991; BLACK *et al.*, 1993). Os efeitos negativos causados pelo estresse térmico são mais

prejudiciais durante os períodos médios (14 dias) e finais (23 dias) da lactação, quando a produção de leite e o consumo de ração são maiores (KEMP *et al.*, 2011).

Consequentemente, nas condições de estresse térmico, as fêmeas suínas entram em balanço energético negativo, ou seja, ocorre elevação na mobilização das reservas corporais (RENAUDEAU *et al.*, 2003; JUSTINO *et al.*, 2015; ROSS *et al.*, 2015). Matrizes suínas jovens sofrem desgaste ainda maior, pois apresentam menor capacidade de consumo alimentar, da ordem de 20% quando comparadas a porcas múltíparas (PRUNIER; QUESNEL, 2000; YOUNG *et al.* 2004). Segundo Boyd *et al.* (2000), isso pode ser em razão da menor capacidade gastrointestinal das fêmeas jovens para atender às demandas nutricionais para a produção de leite e para o desenvolvimento corporal, assim a redução de consumo pelas primíparas é mais prejudicial do que pelas porcas múltíparas por elas estarem ainda em fase de crescimento.

Matrizes suínas expostas a altas temperaturas ambientais possuem alterações na sensibilidade à insulina (PEARCE *et al.*, 2013), menores níveis circulantes de hormônios tireoidianos (CAMPOS *et al.*, 2014a), menor metabolismo basal (BERNABUCCI *et al.*, 2010; CAMPOS *et al.*, 2014b), menores níveis circulantes de hormônios anabólicos e, consequentemente, menor potencial de deposição de proteína e gordura na carcaça (BELLEGO *et al.*, 2002; RHOADS; BAUMGARD; SUAGEE, 2013).

Afsal *et al.* (2018) relataram que o eixo hipotálamo-hipófise-tireoide desempenha papel importante na regulação do gasto energético, afetando a taxa metabólica basal por meio das ações dos hormônios tireoidianos. Esses autores afirmaram ainda que, nos animais de interesse zootécnico submetidos ao estresse térmico por longo período, observa-se a diminuição da atividade do eixo hipotálamo-hipófise-tireoide com a finalidade de reduzir a produção de calor metabólico. Prunier *et al.* (1997) verificaram menores concentrações de T3 e de T4 em fêmeas suínas lactantes criadas sob 30°C em relação àquelas alojadas num ambiente de 20°C.

Rigo *et al.* (2019), ao avaliarem os efeitos do sistema de resfriamento evaporativo com pressão negativa (SRE) e aspensão de água sobre o telhado (AAT), verificaram que animais sob AAT apresentaram menores concentrações séricas de T4 que animais sob SRE (37,84 x 42,22 pmol. L⁻¹, respectivamente). Campos *et al.* (2014) observaram que a exposição ao estresse por calor resultou em diminuição dos hormônios T3 e T4, seguida por aumento gradual ao longo do tempo. Disseram que esse resultado sugere que os hormônios da tireoide também estão envolvidos na aclimação dos suínos, a uma carga de calor sustentada por um efeito direto ou indireto na taxa metabólica. Entretanto, afirmaram que ainda não está claro se o declínio de T3 e T4 em relação à duração da exposição a 30°C ocorre em resposta direta à inibição térmica do hipotálamo ou como efeito indireto de menor consumo de ração e metabolismo.

2.2.4 Efeito do estresse térmico no desempenho de fêmeas suínas em gestação e lactação

Em regiões de clima tropical como o Brasil, as fêmeas suínas estão constantemente expostas a temperaturas acima da sua zona de termoneutralidade (FERREIRA *et al.*, 2007), o que pode afetar direta ou indiretamente o desempenho produtivo e reprodutivo desses animais (ROSS *et al.*, 2015). Altas temperaturas podem afetar todos os estágios da vida reprodutiva e produtiva das fêmeas, desde o desenvolvimento da puberdade até a reprodução e nascimento dos leitões. Dentre os principais efeitos negativos do clima em matrizes suínas destaca-se o atraso do desenvolvimento normal dos níveis de hormônios em marrãs, redução da taxa de concepção, aumento da mortalidade embrionária e fetal, além de maior mortalidade de leitões por esmagamento, pois o estresse por calor ocasiona maior agitação das fêmeas, na tentativa de trocarem calor com o ambiente (KOKETSU *et al.*, 1996).

A fêmea suína quando exposta ao calor, mesmo por curto período do ciclo reprodutivo (03 dias antes do estro previsto, prolongando-se até 2 dias após a ocorrência do mesmo), pode aumentar ainda a incidência de cistos ovarianos, estros tardios, anestros e até mesmo de estros anovulatórios em leitoas (BLACK *et al.*, 1993; FERREIRA *et al.*, 2007). Para Bertoldo *et al.* (2012), dentro desse contexto, observa-se que a tensão causada pelo estresse por calor pode alterar várias funções fisiológicas e metabólicas, como crescimento, produção e reprodução. Dessa forma, o estresse térmico poderá prejudicar o ganho de peso pré-parto, levar à redução dos partos ou até mesmo ao aborto.

Os efeitos de altas temperaturas sobre o desempenho reprodutivo de fêmeas suínas podem ser explicados pela inibição da secreção de LH, o que pode afetar negativamente o crescimento folicular e ovulação, interferir no desenvolvimento normal dos embriões, e na habilidade destes em produzir sinais estrogênicos necessários para o reconhecimento materno da gestação (KOKETSU *et al.*, 1996; PRUNIER *et al.*, 1996). A restrição alimentar de porcas durante o período de lactação, não afeta apenas o LH, mas também resulta em diminuição da secreção de FSH, o que ocasiona menor crescimento folicular durante a lactação (KAUFFOLD, 2008).

Hale *et al.* (2017) avaliaram o tamanho e o número de folículos ovarianos, vacuolização e camada granulosa dos oócitos e a presença de marcadores de autofagia ovariana, entre um grupo de fêmeas que foram expostas ao estresse térmico e outro mantido na zona de termoneutralidade, e concluíram que a indução à autofagia ovariana ocorria em resposta ao estresse por calor.

Segundo Bortolozzo (2011), durante o verão, o estresse térmico altera o desenvolvimento dos folículos ovarianos e a qualidade do corpo lúteo, bem como dos oócitos e embriões, provocando efeitos deletérios na taxa de parto e aumento do número de natimortos. No entanto, além disso, há outros efeitos observados, como puberdade tardia, prolongamento do intervalo entre o desmame e o estro, redução na leitegada, na taxa de prenhez e anestro (DE RENSIS; ZIECIK; KIRKWOOD, 2017).

Em consequência ao efeito das altas temperaturas no período lactacional, a permanência das matrizes suínas fora da zona de conforto compromete o desempenho produtivo dos leitões, pela diminuição do consumo voluntário de ração e produção de leite (GAVA *et al.*, 2010). A ingestão insuficiente de nutrientes pode resultar na mobilização de diferentes tecidos corporais, aumentando o intervalo desmame estro e, conseqüentemente, os dias não produtivos das porcas (HAESE *et al.*, 2010).

De acordo com Teixeira *et al.* (2004), as médias de ganho de peso dos leitões de porcas submetidas ao sistema de resfriamento evaporativo foram 10,36% maior do que no sistema de ventilação forçada e 26,29% maior do que no sistema sem ventilação. Resultados de maior peso dos leitões ao desmame também foram obtidos por Romanini *et al.* (2008) e Morales *et al.* (2009) para porcas submetidas ao sistema de resfriamento evaporativo na maternidade. Silva *et al.* (2006), avaliando o efeito do resfriamento do piso de porcas primíparas em lactação, verificaram alterações significativas nos parâmetros fisiológicos destas, bem como no desempenho e produção de leite das mesmas, o que resultou em maior peso dos leitões ao desmame.

O estresse por calor também pode ocasionar alterações no comportamento das fêmeas em lactação. Essas mudanças comportamentais em razão do estresse térmico podem ocasionar variações na cinética de consumo diário, bem como na redução da ingestão total de alimento pelas fêmeas, redução do tempo de oferecimento de leite aos leitões e agitação com mudanças de posicionamento das porcas e, em decorrência desta agitação, ocorre o aumento da mortalidade de leitões por esmagamento (SILVA *et al.*, 2006).

Temperaturas acima da termoneutralidade não causam apenas redução no desempenho produtivo, mas observa-se também piora no estado imunológico dos suínos, resultando em queda da imunidade e maior propensão às infecções, havendo facilitação na transmissão de doenças gastrointestinais (NÄÄS; CALDARA; CORDEIRO, 2014). O estresse térmico também afeta o intestino delgado provocando atrofia e aumento da autólise das vilosidades em suínos (PEARCE *et al.*, 2013). Segundo Pearce *et al.* (2014), apenas 4 horas de estresse por calor pode causar autólise severa nas vilosidades intestinais de suínos, sendo

indicativo de dano epitelial grave. Os enterócitos são particularmente sensíveis à restrição de oxigênio e nutrientes (ROLLWAGEN *et al.*, 2006), o que contribui para redução da barreira intestinal (LAMBERT *et al.*, 2002; PEARCE *et al.*, 2013). Além disso, com a finalidade de dissipar calor, o fluxo sanguíneo é desviado das vísceras para periferia (LAMBERT *et al.*, 2002), levando à hipóxia intestinal (HALL *et al.*, 1999).

2.2.5 Estresse oxidativo em porcas submetidas ao estresse térmico

Na suinocultura, o avanço genético tornou os animais mais sensíveis ao estresse por calor, pois os genótipos modernos apresentam uma capacidade de produção de calor endógeno 18,1% superior à dos genótipos das décadas de 80 e 90 (BROWN-BRANDL *et al.*, 2004), agravando os efeitos negativos das altas temperaturas nestes animais. As categorias que mais sofrem com temperaturas elevadas são os suínos com mais de 80 kg de peso vivo, reprodutores, porcas gestantes e lactantes, pois, para manterem a termoneutralidade corporal, a temperatura ambiente não pode ser superior a 21°C (ROHR *et al.*, 2016).

Na tentativa de manter a termoneutralidade corporal, mecanismos de adaptação fisiológica são acionados pelo organismo dos animais. Todavia, essas adaptações podem ocasionar modificações no organismo do animal como, por exemplo, o desequilíbrio entre sistemas pró-oxidantes e antioxidantes. Além disso, fêmeas suínas hiperprolíficas, quando mantidas sob estresse térmico, apresentam peroxidação lipídica, oxidação de proteínas e danos oxidativos ao DNA elevados, quando comparadas com fêmeas mantidas em ambiente de termoneutralidade (OZAWA *et al.*, 2002; KIM *et al.*, 2013), caracterizando o estresse oxidativo.

Estresse oxidativo é definido como uma disparidade entre a produção de espécie reativa de oxigênio (ERO), também denominadas de radicais livres, e o sistema antioxidante de um organismo, em favor da geração excessiva de radicais livres ou em detrimento da velocidade de remoção desses (SIES, 1991; BARBOSA *et al.*, 2010). Segundo Falowo *et al.* (2014), uma porcentagem de 2 a 5% de oxigênio consumido durante uma reação metabólica é convertido em radicais livres sob a forma de ERO, que, em baixos níveis, são mediadores indispensáveis em muitos processos biológicos. Contudo, em quantidades elevadas, ou quando não são removidos dos organismos adequadamente, podem causar problemas metabólicos e danos em moléculas biológicas, o que caracteriza estresse oxidativo (AKTAN *et al.*, 2003; DEBLANC *et al.*, 2013).

As principais ERO distribuem-se em dois grupos, os radicais: hidroxila ($\text{HO}\cdot$), superóxido ($\text{O}_2\cdot^-$), peroxila ($\text{ROO}\cdot$) e alcoxila ($\text{RO}\cdot$); e os não radicalares: oxigênio (O_2), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e ácido hipocloroso (HClO). Dentre eles, o radical $\text{HO}\cdot$ é o mais deletério ao organismo, pela sua curta meia-vida, o que dificulta seu sequestro *in vivo*, e a forma mais deletéria do oxigênio ao organismo é o oxigênio singleto ($^1\text{O}_2$), podendo este ser a causa ou o intermediário da toxicidade fotoinduzida do O_2 em organismos vivos (BARREIROS *et al.*, 2006).

Berchieri-Ronchi *et al.* (2011) demonstraram que o estresse oxidativo sistêmico aumenta durante o final da gestação e lactação em porcas, corroborado por Zhao *et al.* (2013) que verificaram que o dano oxidativo ao DNA dos linfócitos aumenta a partir da metade do período gestacional (60 dias de gestação), mantendo-se elevado durante todo o período de lactação.

Sob estresse oxidativo, o organismo tenta controlar a toxicidade dos ERO através de um sistema de defesa antioxidante, que age inibindo a formação dos radicais livres, impedindo a ação desses ou, ainda, favorecendo o reparo e a reconstituição das estruturas biológicas lesadas (CLARKSON; THOMPSON, 2000; KOURY; DONANGELO, 2003). Tal sistema é dividido em enzimático e não enzimático, sendo esse último constituído por grande variedade de substâncias antioxidantes, que podem ter origem endógena ou dietética (AKTAN *et al.*, 2003; BARBOSA *et al.*, 2010; DALTO *et al.*, 2015).

Barbosa *et al.* (2010) definiram os antioxidantes como qualquer substância que, presente em menores concentrações que as do substrato oxidável, seja capaz de atrasar ou inibir a oxidação deste de maneira eficaz. Assim, uma substância antioxidante pode agir diretamente, neutralizando a ação dos radicais livres, ou indiretamente, participando dos sistemas enzimáticos com tal capacidade (HALLIWELL; WHITEMAN, 2004).

São conhecidos três sistemas enzimáticos antioxidantes que agem para impedir e/ou controlar a formação de radicais livres envolvidos com a iniciação das reações em cadeia que resultam na propagação e amplificação do processo oxidativo (FERREIRA; MATSUBARA, 1997; SCHNEIDER; OLIVEIRA, 2004). O primeiro é composto por enzimas superóxido dismutase, que catalisam a dismutação do radical $\text{O}_2\cdot^-$, convertendo-o em O_2 e H_2O_2 . O segundo sistema antioxidante é mais simples, formado pela enzima catalase que atua na dismutação do H_2O_2 em O_2 e água. O terceiro sistema é composto pela glutathiona (GSH) em conjunto com duas enzimas, a glutathiona peroxidase e a glutathiona redutase (BABIOR, 1997; BARREIROS *et al.*, 2006; VINCENT *et al.*, 2007).

O sistema antioxidante não enzimático inclui compostos sintetizados pelo organismo como bilirrubina, ácido úrico, albumina, ceruloplasmina entre outros, e aqueles oriundos da dieta como as vitaminas A, C, E e flavonoides (SCHENEIDER; OLIVEIRA, 2004; AKTAN *et al.*, 2003). Embora o potencial antioxidante *in vivo* dos compostos não enzimáticos dependa de fatores como capacidade de absorção e biodisponibilidade em condições fisiológicas, concentração plasmática ideal, tipos de radicais livres gerados no processo oxidativo, em qual compartimento celular foram gerados e como foram gerados, observa-se a ação de muitos destes compostos presentes nos alimentos principalmente como aditivos na proteção contra danos oxidativos aos animais (BIANCHI; ANTUNES, 1999).

2.3 Aditivos utilizados para minimizar o estresse térmico e oxidativo em porcas gestantes e lactantes

Uma das estratégias para reduzir o desgaste metabólico, bem como minimizar o impacto negativo que as altas temperaturas exercem sobre porcas gestantes e lactantes, que podem levar a um quadro de estresse oxidativo é o uso de aditivos nas rações. A inclusão de alguns aditivos nas rações de porcas em produção objetiva reduzir o impacto do estresse térmico e oxidativo nas fêmeas, estimular a saúde intestinal para que haja melhor aproveitamento dos nutrientes da dieta e, com isso, reduzir o desgaste corporal durante o período de lactação. Dentre os aditivos utilizados em dietas para fêmeas suínas, destacam-se as pró-vitaminas com efeito protetor quanto à mobilização corporal como a betaína, as leveduras ativas de ação probiótica (STAMATI *et al.*, 2006; JIMÉNEZ *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2010), além de aditivos antioxidantes de ação sinérgica como o selênio e a vitamina E (ABREU *et al.*, 2014).

2.3.1 Betaína

Betaína é um derivado do aminoácido glicina com três grupos de metil ligados ao átomo de nitrogênio desta molécula e, por esta razão, também é conhecida como aminoácido metilado, trimetilglicina, oxineurina ou ainda amina quaternária. Como produto comercial pode ser encontrada na forma natural, obtida através de separação por cromatografia a partir do melão da beterraba açucareira, pertencente à família *Chenopodiaceae*, onde está presente em grandes quantidades, ou na forma sintética como anidros de betaína, betaína monofosfatada ou betaína hidrocloreada (PEREIRA *et al.*, 2010).

A betaína é uma molécula com dupla função no metabolismo animal com potencial de estabilizar a função metabólica das células sob diferentes condições de estresse a baixo custo energético, sendo as suas propriedades osmoprotetoras relacionadas à sua alta solubilidade em água e natureza bipolar (FERNANDEZ-FIGARES *et al.*, 2002; PEREIRA *et al.*, 2010). Em virtude dessas características, a betaína é classificada como osmólito orgânico que, por definição, é toda substância capaz de afetar o movimento da água, acumulando-a rapidamente em nível intracelular, sem alterar o metabolismo entre a célula e a mitocôndria (CHAMBERS; KUNIN, 1985).

As células são incapazes de reter água, sendo indispensável a presença de um osmólito, que, em situações de desidratação celular, agem na manutenção de balanço hídrico e iônico, minimizando a perda de água durante o gradiente de osmose (KLASING *et al.*, 2002). Neste caso, a betaína retém a água no interior das células, auxiliando a função das bombas iônicas e economizando a energia usada no balanço eletrolítico (MOECKEL *et al.*, 2002).

A propriedade osmótica da betaína pode ser essencial para apoiar a função e crescimento intestinal; além disso, ela protege a flora intestinal contra variações osmóticas e melhora a atividade de fermentação microbiana, que, por sua vez, também contribui para aumentar a digestibilidade dos nutrientes (RATRIYANTO *et al.*, 2009). Diferente de outros sais, a betaína é altamente compatível com enzimas, podendo, ainda, estimular a atividade macromolecular, protegendo a função enzimática, uma vez que as temperaturas extremas e as concentrações de sais alteram a estrutura das enzimas, causando sua desnaturação (EKLUND *et al.*, 2005).

A ação protetora da betaína quanto à mobilização corporal de fêmeas suínas durante a lactação foi evidenciada por Ramis *et al.* (2011) que observaram que fêmeas primíparas alimentadas com 2,0 kg/t de betaína, cinco dias antes do parto até o desmame, mesmo consumindo menos ração perderam menos peso quando comparadas com as fêmeas do tratamento controle. De acordo com os mesmos autores, a betaína é uma substância osmoticamente ativa que ajuda na retenção de água nas células, auxiliando no controle do balanço eletrolítico, resultando em menor gasto energético nas funções de manutenção dos animais, sendo importante para animais cuja necessidade de consumo de ração deva ser priorizado, como em fêmeas suínas lactantes.

Outra função da betaína é a doação de grupos metil, que contribui para a síntese de reações metabólicas, desde a metilação de DNA, RNA e membranas celulares lipídicas até a síntese de metionina, carnitina e creatina (EKLUND *et al.*, 2005; HUANG *et al.*, 2008; PEREIRA *et al.*, 2010). O resultado da transferência de um grupo metil é a transformação da

betaína (trimetilglicina) em dimetilglicina. Estes podem ser separados, por oxidação, em fragmentos de carbono. Durante esta reação a dimetilglicina é degradada à sarcosina e, por último, à glicina (EKLUND *et al.*, 2005). Assim, a betaína, quando fornecida na dieta funciona como um poupador de metionina e/ou colina nos processos metabólicos, levando à redução dos custos de produção pelos ajustes das quantidades das mesmas utilizadas nas rações. (PARTRIDGE *et al.*, 2005).

Ramis *et al.* (2011) observaram que leitões de fêmeas suplementadas com betaína apresentaram maior ganho de peso diário e peso ao desmame em relação ao grupo controle, sugerindo que a produção de leite das porcas foi maior no grupo que recebeu betaína. Andrade *et al.* (2016), ao avaliaram o efeito da betaína em rações para fêmeas suínas de primeiro e segundo ciclo reprodutivo, verificaram que a substituição de até 50% da metionina digestível por betaína em dietas de porcas (do 84º dia de gestação até o 21º dia de lactação) foi capaz de manter o desempenho produtivo das leitegadas.

Van Wettere *et al.* (2012) constataram que fêmeas gestantes suplementadas com betaína obtiveram melhora no tamanho da leitegada, tanto nascidos vivos como nascidos totais. No mesmo trabalho, fêmeas gestantes alimentadas com ração contendo betaína alcançaram peso de leitegada ao nascimento superior em comparação com fêmeas não suplementadas. Segundo Huang *et al.* (2007), o aumento do peso da leitegada ao nascimento se deve ao fato que a betaína pode aumentar os níveis basais do hormônio de crescimento (GH), o qual atua na melhoria da transferência de nutrientes via placenta para os fetos (REHFELDT *et al.*, 2001; GATFORD *et al.*, 2009).

2.3.2 Levedura *Saccharomyces cerevisiae* como probiótico

O trato gastrointestinal é responsável pelas funções da digestão, absorção e por outros mecanismos fisiológicos do animal, sendo imprescindível a manutenção da sua saúde e funcionalidade (AMIT-ROMACH *et al.*, 2004). A saúde intestinal pode ser definida como um equilíbrio dinâmico no sistema digestório, ou seja, uma relação harmônica entre a microbiota benéfica e a patogênica do hospedeiro, trazendo como resultado bons índices de desempenho produtivo e reprodutivo do animal (LIAO & NYACHOTI., 2017).

Nesse aspecto, as estratégias nutricionais emergiram como técnicas para minimizar os efeitos negativos dos desafios ambientais no desempenho produtivo e reprodutivo da matriz moderna. A microbiota intestinal pode ser manipulada através da alimentação animal por meio de aditivos alimentares, tais como ácidos orgânicos, antibióticos, prebióticos e probióticos

(CHOCT, 2009; HEO *et al.*, 2013), que resultam em melhoria do bem-estar, desempenho produtivo e reprodutivo (ROBERFROID *et al.*, 1995), de fêmeas em fase de gestação e/ou lactação (VITAGILANO, 2013; ZANELLO *et al.*, 2013).

Nesse sentido, destacam-se os probióticos, sendo microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro, considerados melhoradores de desempenho nos suínos pelos seus mecanismos de ação: colonização e multiplicação no trato gastrointestinal por exclusão competitiva (competição no trato digestório entre as bactérias patogênicas e os microrganismos probióticos pelo sítio de ligação nas vilosidades intestinais), redução de pH do meio e modulação da microbiota (FREITAS *et al.*, 2014). Este último é pelo fato dos probióticos possuírem efeito antimicrobiano, reduzindo a quantidade de bactérias patogênicas desaminadoras de aminoácidos e produtoras de toxinas nocivas, reduzindo assim a massa e a parede do epitélio intestinal (ARAÚJO, 2018).

Os probióticos melhoram as propriedades de autoproteção do epitélio intestinal, pois aderem-se às células, bloqueiam os receptores e aumentam a produção de mucina, impedindo que microrganismos patogênicos tenham acesso às células epiteliais (CASTELLI, 2011; BIANCONI, 2019). Do mesmo modo, a interação de probióticos com as células epiteliais por adesão já pode desencadear uma cascata de sinalização levando à modulação imune (OELSCHLEGER, 2010).

Dentre os probióticos estudados estão as leveduras, sendo a *Saccharomyces cerevisiae var. boulardii* bastante utilizada, por não ser patogênica, ser termotolerante e resistente à ação do suco gástrico e antibióticos (LOPES, 2010), possuindo, assim, características desejáveis para um microrganismo com efeito probiótico, além de atuar na imunomodulação e na inibição de toxinas (ZANELLO *et al.*, 2013). Os efeitos tróficos de *S. cerevisiae* sobre a mucosa intestinal, provavelmente, são mediados pela liberação de poliaminas, como espermina e espermidina, durante seu catabolismo no intestino (BUTS, 2005; BUTS; KEYSER, 2006). Acredita-se que essas poliaminas estimulem a expressão de glicoproteínas na borda em escova, a expressão e a atividade de enzimas envolvidas na digestão de nutrientes e a produção de IgA secretória no intestino (BUTS *et al.*, 1994; QAMAR *et al.*, 2001).

A inclusão de leveduras nas dietas animais proporciona alguns bons resultados como melhora do equilíbrio da microflora no trato gastrointestinal (TGI), participa da maturação de tecidos no TGI, modula a resposta imune reduzindo, conseqüentemente, patógenos, reduz a diarreia pós-desmame e melhora a taxa de crescimento dos animais,

conforme observado nos trabalhos estudados por Vohra *et al.*, (2016). Em razão da sua ação gastrointestinal, o uso de levedura *S.cerevisiae* na dieta para leitões evidencia efeitos positivos sobre a resposta imune, desempenho pós-desmame e escore de diarreia (TRCKOVA *et al.*, 2013; UPADHAYA *et al.*, 2019). Nesse sentido, o melhor aproveitamento dos nutrientes, a partir da suplementação probiótica com *S. cerevisiae*, também foi evidenciado inclusive para animais em terminação (PALÁCIOS *et al.*, 2018) em razão da maior disponibilização dos nutrientes para absorção (HARDY, 2006).

Embora haja poucos estudos quanto à suplementação probiótica com *S. cerevisiae* para fêmeas suínas, Jurgens *et al.* (1997) reportaram maior concentração de gamaglobulinas no leite de fêmeas suplementadas no final da gestação (dia 93) até o final da lactação (dia 21). Em estudo mais recente, Araújo (2018), avaliando o efeito da suplementação de diferentes níveis de *S. cerevisiae* na dieta de fêmeas suínas, evidenciou melhora na eficiência de absorção e utilização de nutrientes por fêmeas alimentadas com o maior nível de inclusão de levedura, com consequente melhora na atividade reprodutiva pós-desmame.

2.3.3 Vitamina E (α -tocoferol)

O termo vitamina E refere-se a uma família de oito compostos homólogos sintetizados pelas plantas, sendo quatro tocoferóis – α , β , γ e δ – e quatro tocotrienóis – α , β , γ e δ – (HORWAT *et al.*, 2019). As diferenças entre α , β , γ e δ são pela localização e pelo número de grupos metilo presentes no anel, enquanto que a diferença entre tocoferóis e tocotrienóis se deve ao fato da cadeia lateral da molécula ser saturada ou insaturada, sendo os tocoferóis designados vitaminas saturadas e os tocotrienóis vitaminas insaturadas (MCDOWELL, 1989).

O α -tocoferol é a forma biologicamente mais ativa da vitamina E, sendo encontrado no organismo em lipoproteínas e membranas, e atuando no bloqueio da reação em cadeia da peroxidação lipídica, através do sequestro do radical peroxila (SOUZA *et al.*, 2007; MCDONALD *et al.*, 2011). Ao proteger os lipídeos da oxidação, a vitamina E se converte em um radical tocoferil, precisando ser regenerada para recuperar seu potencial antioxidante, o que é possível com a presença do ácido ascórbico, glutathiona-reduzida e a coenzima Q10 (CAMPOS, 2013).

A vitamina E possui atividade não enzimática e seu efeito antioxidante deve-se principalmente à sua capacidade de doar átomos de hidrogênios aos radicais livres, gerando produtos eletricamente estáveis ou menos reativos e, consequentemente, inibindo o processo de oxidação (LIMA-VERDE *et al.*, 2007; NWOSE *et al.*, 2008).

Uma das funções mais importantes da vitamina E é o seu papel como antioxidante, que impede a oxidação de lipídeos presentes na membrana celular e dentro das células (SOARES, 2017). Esta propriedade antioxidante da vitamina E também assegura a estabilidade dos eritrócitos e a manutenção da integridade dos vasos capilares (MACDOWELL, 1989). As vitaminas A, C, E são consideradas excelentes no combate aos radicais livres e se destacam no grupo dos antioxidantes não enzimáticos (DALTO *et al.*, 2015). O principal componente antioxidante da vitamina E, α -tocoferol, reduz peroxilas a partir de, por exemplo, ácidos graxos poli-insaturados ou lipoproteínas (SIES & STAHL, 1995).

Shelton *et al.* (2012) observaram aumento de 10,9% no ganho de peso dos leitões de matrizes suplementadas com 66 mg/kg de vitamina E. Já Pinelli-Saavedra e Scaife (2005), ao suplementar matrizes suínas com vitamina E e C, observaram aumento no ganho de peso dos leitões de 23,8%. Melhor resposta no desempenho reprodutivo também foi observado por Lipiński *et al.* (2019) ao avaliarem a suplementação de porcas com polifenóis e vitamina E na dieta. De acordo com os mesmos autores, foi observado maior atividade da glutathione peroxidase e superóxido dismutase nos leitões de porcas que receberam a combinação dos antioxidantes, afirmando que a redução do estresse oxidativo durante o parto e o desmame contribuiu para o aumento do peso da leitegada e aumento no peso corporal dos leitões ao desmame.

2.3.4 Selênio orgânico

O selênio é um micronutriente essencial que, uma vez incorporado às selenoproteínas, exerce importantes funções no organismo, participando da defesa antioxidante, do sistema imune e da regulação da função tireoidiana (RAYMAN, 2000). É um componente essencial da enzima glutathione peroxidase, uma selenoproteína que atua como antioxidante no plasma, protegendo as membranas celulares dos radicais livres e outros danos oxidativos, desativando a formação de peróxidos durante a oxidação dos lipídios da membrana celular (CATANIA *et al.*, 2009; CAMPOS, 2013).

O selênio, na forma orgânica de selenometionina, é absorvido pelo trato digestivo através de mecanismo ativo, semelhante ao da absorção de metionina, enquanto o selênio inorgânico e o selenocisteína não são ativamente transportados (LEESON e SUMMERS, 2001). O selenometionina é rapidamente absorvido e retido no organismo, mas ele é vagarosamente convertido em selenocisteína a qual é necessária para a síntese de proteínas funcionais (UNDERWOOD, 1999). A biodisponibilidade relativa de selênio, avaliada através da atividade

da glutathione peroxidase, não demonstrou diferença entre fontes orgânicas e o selenito de sódio (AMMERMAN et al., 1995). Contudo, Close (1998) verificou que o selênio orgânico apresenta maior biodisponibilidade (120 a 150%) em relação ao selenito de sódio (100%).

O selênio orgânico apresenta de modo geral, como vantagem a deposição nos tecidos, principalmente nos músculos, servindo como reserva na forma de selenometionina, assim o animal pode deslocar esse elemento de acordo com as necessidades metabólicas, já que o sistema antioxidante e imunológico depende do teor de selênio para o seu perfeito funcionamento (SURAI, 2006; SURAI; FISININ, 2014).

Avaliando fontes e níveis de selênio para porcas, Mahan (2000) verificou que o selênio orgânico aumentou o conteúdo de selênio no leite e a concentração de selênio no soro dos leitões em relação à fonte inorgânica, indicando que o selênio é transferido através da placenta e tecido mamário (Mahan *et al.*, 1977). Fortier *et al.* (2012), ao analisarem a relação entre o estresse oxidativo e suplementação dietética de substâncias com propriedades antioxidantes sobre o desempenho de porcas e suas leitegadas, verificaram que o fornecimento de 0,3 mg/kg de selênio para matrizes do estro até os 30 dias de gestação promoveu considerável aumento nas quantidades de DNA e proteína embrionária, o que foi correlacionado com maior número de células embrionárias e, conseqüentemente, maior tamanho de leitegada.

Diante do exposto, as matrizes suínas são continuamente desafiadas nos atuais sistemas de produção, por atingirem índices produtivos cada vez mais elevados ou por serem expostas a condições que desencadeia algum tipo de estresse. Assim, a avaliação destes aditivos nas rações de porcas sob estresse térmico se faz necessária. Esta prática pode melhorar o status redox e imunológico de matrizes suínas em produção (gestação e lactação), a qualidade da leitegada ao nascimento, o desempenho da leitegada na maternidade, além de minimizar o desgaste corporal dessas matrizes.

3 BETAÍNA E LEVEDURA ATIVA PARA PORCAS LACTANTES DE DIFERENTES ORDENS DE PARTO

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação dietética de betaína e levedura ativa para porcas multíparas sem resfriamento adiabático sobre o desempenho reprodutivo, parâmetros fisiológicos, composição e perfil de ácidos graxos do leite e desempenho das leitegadas. Foram distribuídas 192 porcas (Topigs Norvin) em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x4, sendo quatro suplementações (controle – sem suplementação de betaína e levedura ativa; suplementação de 14 g de betaína/porca/dia; suplementação de 7 g de levedura ativa/porca/dia; suplementação de 14 g de betaína e 7 g de levedura ativa/porca/dia) e quatro ordens de parto (1^a, 2^a, 3^a-4^a, e acima da 5^a OP), sendo cada porca e sua respectiva leitegada considerada como unidade experimental. As porcas acima da 5^a OP, suplementadas com betaína ou levedura ativa tiveram maior síntese de leite do que as matrizes do grupo controle. Fêmeas que consumiram a ração contendo betaína e levedura ativa apresentaram maior perda em relação às porcas que ingeriram a dieta controle. Em relação aos efeitos das ordens de partos, observou-se que as matrizes primíparas apresentaram menor consumo de ração e peso ao parto e desmame, além de maior perda de peso percentual do que fêmeas multíparas ($P < 0,05$). Houve interação entre os tratamentos sobre o ganho médio diário, peso e tamanho da leitegada ao desmame ($P < 0,05$). A suplementação de betaína, associada ou não à levedura ativa, para fêmeas acima da 5^a OP proporcionou maior tamanho de leitegada ao desmame em relação ao grupo controle. Matrizes acima da 5^a OP, que consumiram a dieta controle, desmamaram leitegadas menores do que as porcas de 1^a a 4^a OP. O fornecimento de betaína para fêmeas acima da 5^a OP proporcionou maior peso das leitegadas ao desmame em relação ao grupo controle. Porcas acima da 5^a OP, suplementadas com betaína e/ou levedura ativa desmamaram leitegadas com maior ganho médio diário. As leitegadas das matrizes de 2^a a 4^a OP, que receberam a dieta controle, apresentaram leitegadas desmamadas com maior peso e ganho de peso em relação às fêmeas acima da 5^a OP. Foram observadas diferenças significativas entre as ordens de parto sobre o desempenho das leitegadas, em que as porcas de 1^a e 2^a OP tiveram menor número de leitões nascidos totais ($P < 0,05$). As porcas primíparas, que consumiram a dieta controle e com suplementação de levedura ativa, apresentaram maior concentração no leite de C20:0 e C16:1, respectivamente. A suplementação de levedura para fêmeas de 2^a ordem de parto proporcionou maior teor de C20:3n6 e C20:4n6 no leite. O fornecimento dietético de levedura ativa associada à betaína para matrizes primíparas promoveu maior teor de C20:4n6

no leite. A suplementação dietética de betaína e levedura ativa para porcas acima da 5ª ordem de parto, sob estresse térmico, melhora a produção de leite e o desempenho das leitegadas. A suplementação destes aditivos modula benéficamente o perfil de ácidos graxos do leite de matrizes suínas de diferentes ordens de parto.

Termos para indexação: ácidos graxos, desempenho, composição do leite, probióticos, pró-vitamina

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of dietary supplementation of betaine and live yeast for multiparous sows without evaporative cooling system on reproductive performance, physiological parameters, fatty acid composition and profile of milk and litter performance. A total of 192 sows (Topigs 20) were allotted in a 4x4 completely factorial design, with 4 supplementations (control; supplementation of 14g of betaine/sow/day; supplementation of 7g of live yeast/sow/day; supplementation of 14g of betaine and 7g of live yeast/sow/day) and 4 parity order (1st, 2nd, 3rd-4th, and above the 5th PO), with each sow and its respective litter considered as an experimental unit. Sows above the 5th PO, supplemented with betaine or live yeast had a higher milk yield than the sows of the control group. Sows that fed diet containing betaine and live yeast had a higher weight loss when compared to the sows that fed the control diet. Regarding the effects of PO, it was observed that primiparous sows had lower feed intake and weight at farrowing and weaning, and also higher weight loss than multiparous sows ($P<0.05$). There was an interaction effect between treatments on average daily gain, live weight and litter size at weaning ($P<0.05$). Betaine supplementation, associated or not with live yeast, for sows above the 5th PO provided a greater litter size at weaning when compared to the control group. Sows above the 5th PO, which fed the control diet, weaned smaller litters than the 1st to 4th PO sows'. The supply of betaine for sows above the 5th PO provided a greater litter weight at weaning when compared to the control group. Sows above the 5th PO, supplemented with betaine and/or live yeast, weaned litters with higher average daily gain. Litters from 2nd to 4th PO sows', which fed the control diet, weaned litters with higher live weight and weight gain when compared to the sows above the 5th PO. Significant differences were observed between the parity order on litter performance. Sows from 1st and 2nd OP had a lower number of total born piglets ($P<0.05$). Primiparous sows, which fed the control diet and with live yeast supplementation, had higher concentrations of C20:0 and C16:1 in milk, respectively. Yeast supplementation for sows of 2nd PO provided higher content of C20:3n6 and C20:4n6 in milk. The dietary supply of live yeast associated with betaine to primiparous sows promoted a higher content of C20:4n6 in milk. Dietary supplementation of betaine and live yeast for sows above the 5th PO, under heat stress, improves milk production and litter performance. The supplementation of these additives beneficially modulates the fatty acid profile of the milk of multiparous sows.

Keywords: fatty acids, performance, milk composition, probiotics, provitamin.

3.1 Introdução

A lactação é um dos estágios mais desafiadores do ciclo reprodutivo da fêmea suína, principalmente para as porcas dos genótipos modernos, que apresentam menores quantidades de reservas corporais e padrão de consumo alimentar, muitas vezes, insuficiente para atender a elevada demanda nutricional da lactogênese (WEGNER *et al.*, 2014). Considerando as regiões de clima tropical, este cenário se torna ainda mais crítico, uma vez que as matrizes, em sua grande maioria, encontram-se em condições de estresse térmico.

Fêmeas em lactação, quando submetidas ao estresse por calor, reduzem o consumo de ração e aumentam a ingestão de água (JUSTINO *et al.*, 2015; HILL *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2006). Em decorrência disto, as porcas diminuem quantitativamente a produção de leite e apresentam perda excessiva de peso, colocando em risco a integridade corpórea e o desempenho reprodutivo subsequente destas fêmeas e de suas leitegadas. Adicionalmente, o estresse térmico também pode causar maior atrofia e autólise das vilosidades intestinais, comprometendo a capacidade de absorção dos nutrientes da dieta (PEARCE *et al.*, 2013).

Tendo em vista que os sistemas de climatização artificial dos galpões de maternidade, como o resfriamento de piso e evaporativo, são estratégias de maior custo e economicamente inviáveis para a maioria dos pequenos produtores, têm sido buscadas alternativas nutricionais que possam atenuar os efeitos deletérios do estresse térmico na suinocultura, destacando-se o uso de aditivos, como a betaína e levedura ativa.

A betaína é um derivado trimetilico do aminoácido glicina, que pode ser produzido endogenamente pela oxidação da colina ou obtido comercialmente através da separação por cromatografia do melaço de beterraba e como compostos sintéticos de anidros de betaína, betaína monofosfatada e hidrocloreto (FERNANDEZ-FIGARES *et al.*, 2002; HUANG *et al.*, 2008). No organismo, a betaína age como uma substância osmoticamente ativa, retendo água no interior das células e, conseqüentemente, reduzindo os gastos energéticos para o bombeamento de íons (MOECKEL *et al.*, 2002). Por ser um composto osmoticamente ativo, também pode proporcionar aumento da proliferação celular da mucosa intestinal, favorecendo maior absorção dos nutrientes da dieta (EKLUND *et al.*, 2005). Adicionalmente, pelo seu efeito osmoprotetor, supõe-se que a betaína possa ter papel crucial na proteção de células e órgãos contra danos induzidos pelo estresse térmico (RAMIS *et al.*, 2011).

Em relação às leveduras ativas, sua suplementação como probiótico na dieta de porcas lactantes pode ser uma alternativa interessante, em virtude da sua capacidade de modular beneficemente a microbiota intestinal, reduzindo a quantidade de bactérias patogênicas, o que

pode acarretar em melhor aproveitamento nutricional das dietas e, conseqüentemente, em melhor desempenho (FERRONI *et al.*, 2009; JANG *et al.*, 2013; JURGENS *et al.*, 1997; LU *et al.*, 2019). No entanto, ainda não estão estabelecidos na literatura quais os potenciais efeitos do fornecimento dietético de levedura para porcas expostas a condições de estresse térmico. Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação de betaína e levedura na dieta de porcas lactantes sem resfriamento adiabático sobre o desempenho destas fêmeas e de suas leitegadas, parâmetros fisiológicos, composição e perfil de ácidos graxos do leite.

3.2 Material e métodos

Todos os procedimentos experimentais seguiram os protocolos aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Ceará.

Foram distribuídas 192 porcas (Topigs Norvin) em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x4, considerando quatro suplementações e quatro ordens de parto (1^a, 2^a, 3^a-4^a, e acima da 5^a ordem), totalizando 16 tratamentos com 12 repetições cada, sendo que cada porca e sua respectiva leitegada foram consideradas como unidade experimental. As suplementações consistiram em: controle – sem suplementação de betaína e levedura ativa; suplementação de 14 g de betaína /porca/dia; suplementação de 7 g de levedura ativa/porca/dia; suplementação de 14 g de betaína e 7 g de levedura ativa/porca/dia. As dietas foram formuladas para atender às exigências nutricionais das porcas durante a lactação, de acordo com as recomendações contidas no manual da linhagem (Tabela 1). A suplementação de betaína e levedura ativa tiveram início a partir do primeiro dia após o parto, sendo fornecidas na primeira oferta de ração do dia, durante todo o período experimental, por meio dos aditivos comerciais Vistabet® e Vistacell® (AB Vista, Brasil), respectivamente. Visando garantir a ingestão dos aditivos, a quantidade ofertada dos mesmos foi previamente diluída em parte da ração e colocada no comedouro.

Durante todo o período experimental, foram registrados os dados de temperatura e a umidade por meio de um data logger (Didai Tecnologia Ltda., Campinas, Brasil), posicionado 1 metro acima do piso, sendo as médias de temperatura e umidade de 28,9°C e 78,4%, respectivamente. Os valores mínimos e máximos observados ao longo do experimento foram de 25,1 e 34,2°C, para temperatura, e de 51,6 e 97,4%, para umidade relativa.

Tabela 1 – Composição calculada e nutricional das rações experimentais para porcas durante a gestação e lactação.

Ingredientes (%)	Pré-lactação	Lactação
Milho grão	72,525	59,730
Farelo de soja 46	19,500	15,500
Soja integral extrusada	4,000	16,000
Açúcar	-	5,000
Calcário calcítico 38%	0,400	0,600
Fosfato bicálcico 18%	1,600	1,600
DL-Metionina 99%	-	0,100
L-Lisina 99%	0,055	0,320
L-Treonina 98,5%	0,020	0,250
Opticell ¹	1,000	-
Sal comum	0,500	0,500
Suplemento vitamínico-mineral ²	0,400	0,400
Total	100,000	100,000
Composição nutricional e energia		
Energia metabolizável (kcal/kg)	3232	3.335
Proteína bruta (%)	16,647	18,635
Extrato etéreo (%)	4,001	5,822
Fibra bruta (%)	3,831	3,344
Metionina total (%)	0,316	0,428
Lisina total (%)	0,877	1,215
Treonina total (%)	0,662	0,950
Cálcio disponível total (%)	0,800	0,887
Fósforo disponível (%)	0,521	0,523
Sódio (%)	0,218	0,217

1. Fibra sintética.

2. Cobalto (100.000mg/kg), Cobre (10.000 g/kg), Ferro (20.000 g/kg), Iodo (250.000 mg/kg), Manganês (8.750.000 mg/kg), Selênio (90.000 mg/kg), Zinco (25.000 g/kg), vitamina A (2.500.000,000), vitamina D3 (450.000,000 UI/kg), Vitamina E (7.620.000 UI/kg), vitamina K3 (625.000 mg/kg), vitamina B1 (550.000 mg/kg), vitamina B2 (1.250.000 mg/kg), vitamina B6 (750.000 mg/kg), vitamina B12 (7.500.000 mcg/kg), niacina (7.500.000 mg/kg), ácido pantotênico (4.250.000 mg/kg), ácido fólico (750.000 mg/kg), biotina (100,00 mg/kg), colima (20,530 g/kg), B.H.T. (12,000 g/kg), 6-Fitase (125.000,000 UI/kg).

Os parâmetros fisiológicos foram mensurados em quatro porcas de cada tratamento, selecionadas de acordo com o peso corporal e espessura de toucinho, aos 7, 14 e 21 dias após o parto, em três horários distintos (8, 12 e 16h), calculando-se os valores médios diários. A temperatura retal foi aferida por meio de um termômetro clínico veterinário, introduzido no reto das matrizes, durante 1 minuto. Para a frequência respiratória foi realizada a contagem dos movimentos do flanco das fêmeas durante 15 s, extrapolando-se os valores para 1 min. As temperaturas superficiais da nuca, pernil e glândula mamária das porcas foram verificadas por meio de um termômetro infravermelho laser (Raytec Minitemp MT4, São Paulo, Brasil).

Aos 110 dias de gestação, as matrizes foram transferidas para o galpão da maternidade, onde foram alojadas em gaiolas individuais, contendo comedouro, bebedouro e escamoteador. No momento da transferência, as fêmeas foram pesadas individualmente e a espessura de toucinho foi mensurada no ponto P2, obtido a 6,5 cm da linha média lombar a partir da última costela, em ambos os lados, com o uso do aparelho de ultrassom (Preg-Tone, Renco®, Brasil). As porcas receberam as dietas experimentais após o parto, em um regime alimentar gradual para estimular o aumento da ingestão até o oitavo dia pós-parto, iniciando com 2,0 kg no primeiro dia pós-parto e atingindo 9,0 kg no oitavo dia, mantendo-se constante até o desmame. O consumo de ração foi determinado através da diferença entre o peso da ração fornecida e o peso das sobras recolhidas diariamente.

Ao parto, foram registrados o peso e o número de leitões nascidos totais e vivos. Até 48 horas após o nascimento, as leitegadas foram padronizadas entre as porcas do mesmo tratamento e procederam-se novamente a contagem e a pesagem dos leitões. Durante o período experimental, não houve fornecimento de qualquer suplementação alimentar para os leitões e estes tiveram acesso à água *ad libitum*. Todos os leitões que morreram foram pesados, de modo a ter uma estimativa adequada do desenvolvimento da leitegada e da produção de leite.

No 18º dia de lactação, foram coletadas amostras de, aproximadamente, 200 mL de leite, nas mesmas porcas em que foram realizadas as determinações dos parâmetros fisiológicos. Para este procedimento, os leitões foram separados da matriz após o aleitamento e aguardou-se uma média de 50 minutos. Após esse período, aplicou-se 1,0 mL de ocitocina injetável na veia auricular e, em seguida, foi feita a ordenha manualmente em todos os tetos ativos da porca. As amostras de leite foram homogeneizadas e armazenadas em duplicata em recipientes estéreis à temperatura de -20°C para as posteriores análises. A determinação da composição química do leite foi realizada utilizando-se um analisador automático (Lactoscan Milk Analyzer, Milkotronic Ltda.), sendo determinados os teores de extrato seco, lipídeo, proteína e lactose. Para a determinação do perfil de ácidos graxos, prepararam-se os ésteres metílicos a partir dos ésteres de ácidos graxos e glicerol da gordura do leite, por reação de hidrólise e esterificação, de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2005). Os ésteres metílicos obtidos foram posteriormente analisados por cromatografia em fase gasosa.

Aos 24 dias de idade, os leitões de cada leitegada foram contados, pesados e desmamados. Após o desmame, as matrizes foram pesadas individualmente e a espessura de toucinho foi mensurada no ponto P2. Em seguida, estas fêmeas foram transferidas para o galpão de gestação, onde foram alojadas em gaiolas e passaram a receber 3,0 kg/dia de suas respectivas

dietas experimentais até apresentarem o estro, determinando-se, então, o intervalo desmame-estro (IDE).

A perda de composição corporal das matrizes foi estimada a partir do peso vivo vazio (PVV, kg) e espessura de toucinho (P2, mm) de acordo com as equações publicadas por Dourmad *et al.* (1997): perda de proteína (kg) = $2,28 (\pm 2,22) + 0,178 (\pm 0,017) PVV - 0,333 (\pm 0,067) P2$ e perda de lipídeo (kg) = $- 26,4 (\pm 4,5) + 0,221 (\pm 0,030) PVV + 1,331 (\pm 0,140) P2$. A estimativa da produção média diária de leite foi baseada no ganho de peso da leitegada, número de leitões e teor de matéria seca do leite (19%), de acordo com a equação de Noblet e Etienne (1986): PEL (kg/dia) = $([0,718*GPDL - 4,9]*n^{\circ} \text{ de leitões})/0,19$.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM (General Linear Models) do Statistical Analysis System (SAS, University Edition), considerando-se as porcas e suas respectivas leitegadas como unidade experimental. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

3.3 Resultados e discussão

Não houve interação ($P > 0,05$) entre a suplementação de betaína e levedura ativa e ordens de parto sobre os parâmetros fisiológicos das porcas (Tabela 2). Também não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) para os efeitos isolados.

Neste estudo, verificou-se que as porcas de todos os tratamentos experimentais apresentaram frequência respiratória e temperatura retal acima da faixa considerada normal para matrizes suínas lactantes, que é de 15 a 25 movimentos por minuto e $38,6^{\circ}\text{C}$, respectivamente (HANNAS, 1999; QUINIOU; NOBLET, 1999), indicando que estas fêmeas estavam em condição de estresse térmico.

Tabela 2 – Suplementação de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre as respostas fisiológicas de porcas durante a lactação.

Parâmetros	Suplementação (Supl.)				Ordem de parto (OP)				CV ¹ (%)	Valor de P		
	Controle	Betaína	Levedura	Betaína + levedura	1°	2°	3°-4°	≥5°		Supl.	OP	Supl. x OP ²
7 dias após o parto												
Temperatura, °C												
Nuca	34,09	33,69	34,39	33,73	34,61	33,51	33,57	34,23	3,26	0,148	0,117	0,283
Pernil	34,98	34,99	34,84	34,98	35,17	34,93	34,84	35,02	2,32	0,916	0,211	0,431
Glândula mamária	35,88	35,69	35,39	35,43	35,81	35,66	35,36	35,58	2,19	0,193	0,271	0,284
Retal	38,88	38,97	38,77	38,91	38,97	39,01	38,86	38,76	1,36	0,646	0,342	0,964
Frequência respiratória, mov./min	88,96	92,01	92,18	89,95	90,71	91,86	91,85	88,68	20,09	0,312	0,182	0,157
14 dias após o parto												
Temperatura, °C												
Nuca	35,34	34,91	35,40	35,49	35,81	35,66	35,35	35,58	2,95	0,217	0,374	0,123
Pernil	35,05	35,24	35,27	34,98	35,23	35,15	35,07	35,08	2,13	0,354	0,188	0,219
Glândula mamária	36,91	36,32	36,84	36,85	36,86	36,76	36,36	36,94	2,44	0,134	0,166	0,133
Retal	39,60	39,26	39,18	39,46	39,36	39,53	39,33	39,28	1,67	0,207	0,652	0,936
Frequência respiratória, mov./min	91,22	86,96	87,91	92,21	90,05	90,11	90,86	94,27	22,66	0,926	0,117	0,181
21 dias após o parto												
Temperatura, °C												
Nuca	34,67	34,62	35,11	35,01	35,15	34,76	34,77	34,73	2,84	0,320	0,405	0,586
Pernil	35,02	35,79	35,17	35,66	36,21	36,13	35,62	35,69	2,21	0,191	0,149	0,122
Glândula mamária	36,35	36,39	36,66	35,88	36,52	36,69	36,17	35,91	2,78	0,123	0,191	0,326
Retal	39,61	39,39	39,47	39,66	39,49	39,67	39,44	39,53	1,76	0,613	0,709	0,282
Frequência respiratória, mov./min	104,25	98,01	93,95	91,29	91,89	92,03	96,91	96,66	21,73	0,352	0,654	0,565

¹ Coeficiente de variação.² Interação entre as suplementações dietéticas e ordens de parto.

Houve interação entre a suplementação de betaína e levedura ativa e ordens de parto ($P < 0,05$) apenas sobre a produção de leite das matrizes (Tabela 3). Foram observados efeitos significativos da suplementação de betaína e levedura ativa sobre a perda de composição corporal de proteína ($P < 0,05$), em que as porcas que consumiram a ração contendo betaína e levedura ativa apresentaram maior perda em relação às fêmeas que não receberam os aditivos.

Houve efeito das ordens de parto sobre o consumo de ração total e médio diário, peso corporal e espessura de toucinho ao parto e desmame, perda de peso total e percentual, e perda de composição corporal de lipídeos ($P < 0,05$). As matrizes primíparas apresentaram menor consumo de ração e peso ao parto e desmame, além de maior perda de peso percentual do que porcas múltíparas. As fêmeas de 2^a a 4^a ordem de parto tiveram menor espessura de toucinho ao parto e desmame em relação às matrizes primíparas e acima de 5^a ordem, respectivamente. As porcas acima de 5^a ordem de parto tiveram menor perda de composição corporal de lipídeos.

Porcas em estresse térmico tendem a reduzir o consumo, a fim de minimizar a produção de calor metabólico, o que pode promover maior mobilização das reservas corporais (CHEN *et al.*, 2019; RENAUDEAU *et al.*, 2011; ZHAO *et al.*, 2011). Adicionalmente, o estresse por calor também pode causar maior atrofia e autólise das vilosidades intestinais (PEARCE *et al.*, 2013). De acordo com Pearce *et al.* (2014), 4 horas de estresse térmico são suficientes para causar danos severos no epitélio intestinal de suínos em crescimento, o que pode comprometer a capacidade absorptiva destes animais. Considerando que a betaína e levedura favorecem maior aproveitamento dos nutrientes da ração, esperava-se que a suplementação destes aditivos para as matrizes proporcionasse melhor desempenho. Contudo, não foram observados efeitos significativos das dietas experimentais sobre o peso corporal, espessura de toucinho e perda de peso percentual das fêmeas, corroborando com Cabezón *et al.* (2017) e Zanello *et al.* (2013), que também não verificaram diferenças sobre estas variáveis com a suplementação de betaína e levedura, respectivamente, para porcas lactantes.

Em relação aos efeitos das ordens de parto, observou-se que as matrizes primíparas tiveram menor consumo de ração, peso corporal ao parto e desmame, além de maior perda de peso percentual. Isso se justifica pelo fato destas fêmeas não estarem totalmente desenvolvidas corporalmente e, portanto, apresentarem capacidade de ingestão alimentar até 20% menor quando comparada com porcas múltíparas (YOUNG *et al.*, 2004), o que acaba levando a maior catabolismo lactacional e, conseqüentemente, a maior perda de peso.

Tabela 3 – Suplementação dietética de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre o desempenho reprodutivo de porcas durante a lactação.

Parâmetros	Suplementação (Supl.)				Ordem de parto (OP)				CV ¹ (%)	Valor de P		
	Controle	Betaína	Levedura	Betaína + levedura	1°	2°	3°-4°	≥5°		Supl.	OP	Supl. x OP ²
Consumo de ração total, kg	112,88	114,71	112,63	110,09	101,75b	118,49a	113,32a	116,74a	11,39	0,492	<0,001	0,529
Consumo médio diário, kg	4,89	4,86	4,87	4,78	4,33c	5,17a	5,00ab	4,90b	8,53	0,679	<0,001	0,382
Produção de leite ³ , kg	10,89	11,36	11,66	11,93	10,77	12,13	12,26	10,69	20,13	0,227	0,001	0,012
Peso corporal, kg												
Ao parto	223,61	228,21	218,72	225,77	201,17c	219,17b	223,14b	252,83a	7,86	0,116	<0,001	0,258
Ao desmame	206,72	207,52	200,07	203,02	174,07c	196,14b	206,53b	240,60a	9,61	0,316	<0,001	0,705
Perda de peso corporal, kg	44,50	47,08	47,66	51,24	52,33a	48,29ab	47,45ab	42,41b	24,83	0,099	0,006	0,127
Perda de peso percentual, %	18,00	18,69	19,31	20,34	23,12a	19,78b	18,57b	14,88c	24,42	0,155	<0,001	0,166
Espessura de toucinho, mm												
Ao parto	15,38	15,26	15,78	15,63	16,21a	14,97b	15,20b	15,68ab	10,38	0,471	0,007	0,117
Ao desmame	14,70	14,88	13,63	14,63	14,68ab	13,07b	14,07b	16,01a	20,08	0,225	0,003	0,107
Intervalo desmame-estro, dias	4,30	4,01	4,02	4,51	4,21	4,21	4,08	4,33	8,53	0,296	0,567	0,014
Perda de comp. corporal, kg ⁴												
Proteína	7,74b	8,33ab	7,94ab	9,07a	8,98	8,09	8,22	7,80	25,47	0,036	0,123	0,306
Lipídio	11,61	11,66	13,67	12,51	13,61a	13,62a	12,47a	9,77b	38,87	0,194	0,001	0,236

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre as suplementações dietéticas e ordens de parto.

³ A estimativa da produção média diária de leite foi baseada no ganho de peso da leitegada (GPDL), número de leitões da leitegada e teor de matéria seca do leite (19%), de acordo com a equação de Noblet and Etienne (1986): $PEL (kg/dia) = ([0,718 * GPDL - 4,9] * n^{\circ} \text{ de leitões}) / 0,19$.

⁴ A perda de composição corporal das porcas foi estimada a partir do peso vivo vazio (PVV, kg) e espessura de toucinho (P2, mm) de acordo com as equações publicadas por Dourmad et al. (1997):
 Proteína (kg) = $2,28 (\pm 2,22) + 0,178 (\pm 0,017) PVV - 0,333 (\pm 0,067) P2$ e Lipídeo (kg) = $- 26,4 (\pm 4,5) + 0,221 (\pm 0,030) PVV + 1,331 (\pm 0,140) P2$.

a,b Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Maior mobilização corporal no período de lactação é uma das principais causas de falhas reprodutivas nos partos subsequentes, visto que em maior magnitude, pode causar redução na concentração plasmática do hormônio luteinizante (LH) e, conseqüentemente, aumentar o IDE (TOKACH *et al.*, 1992; VARLEY *et al.*, 1996). Ramis *et al.* (2011) e Jang *et al.* (2013) verificaram que a suplementação de betaína e levedura, respectivamente, proporcionou redução no IDE das porcas em relação ao grupo controle, e associaram este resultado ao melhor aproveitamento de energia e nutrientes das dietas, o que pode ter favorecido maior secreção de insulina e fator de crescimento semelhante à insulina tipo 1 (IGF-1) e, portanto, proporcionado maiores pulsos de LH. Neste trabalho, no entanto, não foram observados efeitos dos tratamentos experimentais sobre o IDE das matrizes, corroborando com os resultados relatados por Cabezón *et al.* (2017).

Nos desdobramentos das interações (Tabela 4), observou-se que as fêmeas alimentadas com ração controle apresentaram a menor produção de leite em relação às suplementadas com betaína ou levedura, contudo, não diferiram em relação às suplementadas com a associação de betaína e levedura. Quanto ao efeito da ordem de parto, houve diferença significativa apenas quando se compararam as matrizes do grupo controle, constatando-se menor produção de leite para as fêmeas acima da 5ª ordem em relação as porcas de 2ª a 4ª ordem de parto, não diferindo das primíparas.

Tabela 4 – Desdobramento da interação entre a suplementação de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre a produção de leite de porcas durante a lactação.

Ordens de parto	Suplementação			
	Controle	Betaína	Levedura	Betaína + levedura
1º	10,89 AB	9,63 a	11,35	11,22
2º	12,37 A	11,57 a	11,61	12,97
3º-4º	12,49 A	12,08 a	12,17	12,29
≥5º	7,87 Bb	12,15 a	11,54 a	11,26 ab

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Este efeito observado pode ser justificado pelo fato de que porcas mais velhas geralmente apresentam menor eficiência produtiva e reprodutiva do que fêmeas mais jovens, pelo intenso desgaste metabólico (BIERHALS *et al.*, 2011; MELLAGI *et al.*, 2013). Neste estudo, as matrizes acima da 5ª ordem de parto, suplementadas dieteticamente com levedura ou betaína, apresentaram maior produção estimada de leite do que as porcas que receberam a dieta

controle. Tendo em vista que a levedura afeta positivamente a microbiota intestinal (SWEENEY *et al.*, 2012) e que a betaína, por ser uma substância osmoticamente ativa, favorece a proliferação das células intestinais (RATRIYANTO *et al.*, 2009), pode-se inferir que estes aditivos proporcionaram maior aproveitamento nutricional e, conseqüentemente, maior síntese de leite. Diante disso, sugere-se que o fornecimento dietético de levedura e betaína pode ser importante alternativa para melhorar o desempenho lactacional de matrizes mais velhas sob estresse térmico.

Houve interação entre as dietas experimentais e ordens de parto ($P < 0,05$) das matrizes sobre o ganho de peso médio da leitegada, peso e tamanho da leitegada ao desmame (Tabela 5). Não foram observadas efeito da suplementação de betaína e/ou levedura ativa sobre o desempenho produtivo das leitegadas ($P > 0,05$). Em relação às ordens de parto, observaram-se efeitos sobre o tamanho da leitegada ao parto, peso do leitão ao parto e ganho médio diário dos leitões ($P < 0,05$). As porcas de 1ª e 2ª ordem de parto tiveram menor número de leitões nascidos totais. As fêmeas primíparas apresentaram menor número de leitões nascidos vivos em relação as matrizes de 3ª a 4ª ordem de parto. Os leitões das porcas de 1ª e 2ª ordem de parto nasceram mais pesados em comparação com os das fêmeas acima da 5ª ordem. As matrizes de 2ª a 4ª ordem de parto desmamaram leitões com maior ganho médio diário do que as primíparas.

Ao analisar os efeitos da levedura e betaína sobre o desempenho das leitegadas, Ferroni *et al.* (2009) e Van Wettere *et al.* (2012) verificaram que a suplementação destes aditivos em porcas gestantes proporcionou maior número de leitões nascidos vivos. No entanto, em estudos mais recentes (Lu *et al.*, 2019; Andrade *et al.*, 2016), não foram observados efeitos significativos entre o fornecimento destes aditivos sobre o tamanho da leitegada ao nascer. No presente estudo, a suplementação com os referidos aditivos ocorreu apenas na fase de lactação, impossibilitando qualquer efeito destes sobre o número de leitões nascidos.

Tabela 5 – Suplementação dietética de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre o desempenho das leitegadas de porcas durante a lactação.

Parâmetros	Suplementação (Supl.)				Ordem de parto (OP)				CV ¹ (%)	Valor de P		
	Controle	Betaína	Levedura	Betaína + levedura	1°	2°	3°-4°	≥5°		Supl.	OP	Supl. x OP ²
Tamanho de leitegada, n												
Ao parto (total)	15,14	14,34	15,66	14,85	13,85b	13,90b	16,30a	15,94a	20,17	0,296	0,001	0,535
Ao parto (vivo)	13,24	12,90	13,50	13,75	12,81b	13,02ab	14,61a	13,88ab	20,47	0,234	0,018	0,845
As 48 horas	12,77	12,95	13,00	13,00	12,97	13,02	12,95	12,80	5,29	0,378	0,532	0,552
Ao desmame	11,62	11,87	12,06	12,00	11,81	12,08	12,10	11,55	8,98	0,277	0,067	0,006
Peso médio do leitão, kg												
Ao parto	1,36	1,39	1,37	1,36	1,40a	1,39a	1,33ab	1,26b	10,38	0,130	0,009	0,672
As 48 horas	1,45	1,46	1,47	1,54	1,47	1,53	1,48	1,43	18,57	0,500	0,453	0,370
Ao desmame	5,87	6,01	5,92	6,15	5,78	6,10	6,04	6,02	12,22	0,348	0,285	0,636
Ganho de peso do leitão, kg	0,212	0,210	0,210	0,219	0,201b	0,217a	0,219a	0,213ab	11,91	0,397	0,011	0,691
Peso de leitegada, kg												
Ao parto	18,01	18,10	18,50	18,07	17,68	18,09	19,52	17,90	14,34	0,153	0,059	0,591
As 48 horas	18,63	18,99	19,48	20,20	19,30	20,23	19,41	18,35	19,59	0,296	0,214	0,430
Ao desmame	68,34	71,44	71,45	73,87	68,36	73,77	73,04	69,92	14,59	0,138	0,085	0,026
Ganho de peso da leitegada, kg	2,34	2,42	2,49	2,55	2,29	2,59	2,58	2,34	15,74	0,115	0,004	0,007

¹ Coeficiente de variação.² Interação entre as suplementações dietéticas e ordens de parto.^{a,b} Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Nos desdobramentos das interações (Tabela 6), observou-se efeito da suplementação nas porcas acima da 5ª ordem, onde o tamanho da leitegada ao desmame das fêmeas alimentadas com ração controle foi menor em relação às fêmeas suplementadas com betaína ou com a associação de betaína e levedura, não diferindo das suplementadas apenas com levedura. O peso da leitegada ao desmame do grupo controle foi menor que o grupo suplementado com betaína, não diferindo dos grupos suplementados com levedura e com a associação betaína e levedura. Já o ganho de peso da leitegada das porcas não suplementadas foi menor, diferindo dos demais grupos.

Quanto ao efeito da ordem, houve diferença significativa apenas quando se compararam as matrizes do grupo controle, verificando-se menor tamanho da leitegada ao desmame das porcas acima da 5ª ordem em relação às demais. O peso da leitegada ao desmame e o ganho de peso da leitegada das fêmeas acima da 5ª ordem foi menor que das fêmeas de 2ª a 4ª ordem de parto, não diferindo das primíparas.

Tabela 6. Desdobramentos das interações entre a suplementação de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre o desempenho das leitegadas de porcas durante a lactação.

	Suplementação			
	Controle	Betaína	Levedura	Betaína + levedura
Tamanho da leitegada ao desmame				
1º OP ¹	12,00 A	11,37	12,25	11,62
2º OP	11,90 A	12,00	12,10	12,33
3º-4º OP	12,40 A	12,00	12,09	11,94
≥5º OP	10,20 Bb	12,12 a	11,80 ab	12,10 a
Peso da leitegada ao desmame				
1º OP	67,61 AB	63,95	70,87	71,03
2º OP	73,75 A	69,90	73,30	78,13
3º-4º OP	73,46 A	73,81	72,59	72,32
≥5º OP	58,54 Bb	78,11a	69,04 ab	74,01 ab
Ganho de peso da leitegada				
1º OP	2,30 AB	2,11	2,38	2,36
2º OP	2,64 A	2,47	2,53	2,72
3º-4º OP	2,62 A	2,54	2,56	2,59
≥5º OP	1,82 Bb	2,55 a	2,48 a	2,52 a

¹ OP: ordem de parto

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

As porcas acima da 5ª ordem de parto, que receberam o fornecimento dietético de betaína, desmamaram leitegadas mais pesadas em relação às fêmeas do grupo controle, corroborando com os resultados relatados por Ramis *et al.* (2011), que também verificaram

maior peso ao desmame das leitegadas de matrizes suplementadas com este aditivo. Os autores justificaram este resultado, pela possível ação da betaína como osmólito organicamente ativo, o que pode ter reduzido a demanda energética dos leitões para manutenção e proporcionado maior digestibilidade dos nutrientes. Ainda de acordo com esses autores, o maior teor de betaína secretado no leite das porcas, pode ter alterado a retenção de água nas células musculares dos leitões e, portanto, favorecido maior peso ao desmame.

Neste estudo, as leitegadas das matrizes de 2^a a 4^a ordem de parto, que receberam a dieta controle, apresentaram melhor desempenho em relação às fêmeas acima da 5^a ordem. Quando não há fornecimento de nenhum tipo de suplementação ou sucedâneo para os leitões, o desempenho destes animais reflete diretamente a quantidade e qualidade nutricional do leite das porcas (HURLEY, 2015). Dessa forma, esse resultado pode ser associado com a maior produção de leite das matrizes de 2^a a 4^a ordem de parto do grupo controle.

Na avaliação da composição do leite observou-se que não houve interação significativa ou efeitos isolados da suplementação ou ordem de parto sobre a proporção de extrato seco, lipídios, proteína e lactose. Contudo, no perfil de ácidos graxos houve interação significativa na proporção dos ácidos C20:0, C16:1, C20:3n6 e C20:4n6, enquanto a proporção de C16:0 (ácido palmítico) e C18:3n6 (ácido γ -linolênico) foi influenciada pela ordem de parto. As porcas de 2^a ordem apresentaram maior teor do ácido palmítico do que as fêmeas acima da 3^a a 5^a ordem de parto. As matrizes primíparas tiveram maior concentração do ácido γ -linolênico do que as porcas de 2^a ordem de parto.

Os resultados obtidos no presente estudo em relação à proporção de extrato seco, lipídios, proteína e lactose corroboram com Jang *et al.* (2013) e Ramis *et al.* (2011), que verificaram que o fornecimento de levedura e betaína, respectivamente, não afetou a composição do leite das porcas, porém esse resultado diferiu do que foi relatado por Jurgens *et al.* (1997), que observaram aumento significativo nos sólidos totais e proteína do leite de fêmeas suínas suplementadas com levedura. Em relação ao perfil de ácidos graxos do leite, Andrade *et al.* (2016) relataram que não houve efeitos das ordens de parto e da suplementação de betaína para matrizes durante o terço final da gestação e lactação, corroborando com Ramis *et al.* (2011).

Tabela 7. Suplementação dietética de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre a composição química e perfil de ácidos graxos do leite de porcas durante a lactação. (continua)

Parâmetros	Suplementação (Supl.)				Ordem de parto (OP)				CV ¹ (%)	Valor de P		
	Controle	Betaína	Levedura	Betaína + levedura	1°	2°	3°-4°	≥5°		Supl.	OP	Supl. x OP ²
Extrato seco, %	18,24	18,32	17,84	18,48	19,17	17,67	18,01	18,02	9,89	0,862	0,363	0,965
Lipídio, %	9,67	9,52	9,10	9,47	10,67	8,90	9,07	9,12	19,28	0,897	0,163	0,969
Proteína, %	5,31	4,84	5,33	5,34	5,23	4,97	5,29	5,33	11,14	0,165	0,531	0,573
Lactose, %	5,37	5,25	5,41	5,31	5,21	5,34	5,39	5,40	5,38	0,589	0,472	0,467
Ácidos graxos saturados												
Total (%)	49,73	44,61	42,71	42,54	41,12	54,85	45,92	37,71	33,09	0,638	0,063	0,627
C4:0	0,988	1,409	1,095	1,484	1,255	0,695	1,811	1,214	100,52	0,796	0,281	0,953
C6:0	0,009	0,009	0,017	0,006	0,012	0,005	0,012	0,012	110,55	0,209	0,498	0,734
C8:0	0,005	0,005	0,009	0,005	0,003	0,005	0,008	0,008	125,96	0,601	0,562	0,224
C10:0	0,002	0,003	0,006	0,002	0,003	0,002	0,005	0,004	93,34	0,152	0,272	0,147
C12:0	0,005	0,020	0,015	0,019	0,017	0,013	0,011	0,008	71,60	0,058	0,147	0,342
C14:0	0,210	0,260	0,239	0,218	0,282	0,243	0,200	0,201	50,13	0,733	0,294	0,466
C16:0	1,703	1,948	1,981	1,856	2,091ab	2,364a	1,450b	1,582b	36,57	0,749	0,007	0,169
C18:0	0,350	0,274	0,230	0,182	0,252	0,274	0,270	0,241	81,26	0,315	0,975	0,811
C20:0	0,013	0,008	0,006	0,008	0,016	0,006	0,007	0,007	58,15	0,015	0,002	0,005
Ácidos graxos monoinsaturados												
Total (%)	27,94	30,60	30,53	29,67	34,61	25,10	29,69	29,35	34,92	0,926	0,351	0,686
C14:1	0,004	0,009	0,009	0,007	0,008	0,005	0,008	0,008	67,86	0,125	0,588	0,087
C16:1	0,460	0,542	0,736	0,537	0,654	0,415	0,620	0,586	44,29	0,103	0,244	0,019
C18:1n9	1,927	2,077	1,898	1,987	2,562	1,503	1,932	1,891	67,14	0,989	0,449	0,804
C20:1n9	0,004	0,009	0,011	0,008	0,013	0,003	0,008	0,007	84,12	0,193	0,065	0,157
Ácidos graxos poli-insaturados												
Total (%)	22,32	24,78	26,74	27,78	24,27	20,05	24,39	32,94	42,16	0,688	0,057	0,987
C18:2n6	1,661	1,981	2,035	2,242	2,097	1,438	1,789	2,595	50,64	0,638	0,059	0,956
C18:3n6	0,003	0,010	0,009	0,007	0,012a	0,002b	0,008ab	0,008ab	82,77	0,098	0,031	0,303

Tabela 7. Suplementação dietética de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre a composição química e perfil de ácidos graxos do leite de porcas durante a lactação. (continuação)

C18:3n3	0,146	0,154	0,176	0,143	0,160	0,122	0,161	0,177	67,79	0,889	0,714	0,560
C20:2	0,013	0,025	0,021	0,017	0,024	0,009	0,025	0,017	78,81	0,348	0,138	0,395
C20:3n6	0,006	0,007	0,011	0,005	0,008	0,009	0,006	0,006	61,06	0,008	0,437	0,009
C20:3n3	0,036	0,021	0,018	0,018	0,028	0,025	0,021	0,019	79,45	0,070	0,654	0,920
C20:4n6	0,002	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	75,12	0,048	0,666	0,008

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre as suplementações dietéticas e ordens de parto.

^{a,b} Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Nos desdobramentos das interações (Tabela 8), observou-se que as porcas primíparas não suplementadas e as suplementadas apenas com levedura ativa apresentaram maior concentração no leite do ácido araquídico (C20:0) e palmitoleico (C16:1), respectivamente. A suplementação de levedura ativa para as fêmeas de 2ª ordem de parto proporcionou maior teor no leite do ácido dihomo- γ -linolênico (C20:3n6) e araquidônico (C20:4n6). O fornecimento dietético de levedura ativa associada à betaína para as matrizes primíparas promoveu maior teor do ácido araquidônico no leite. Porcas não suplementadas com betaína e levedura ativa acima da 5ª ordem de parto apresentaram maior concentração dos ácidos palmitoleico, dihomo- γ -linolênico e araquidônico em relação às fêmeas de outras ordens de parto.

Tabela 8 – Desdobramentos das interações entre a suplementação de betaína e/ou levedura e ordens de parto sobre o perfil de ácidos graxos do leite de porcas durante a lactação.

	Suplementação			
	Controle	Betaína	Levedura	Betaína + levedura
C20:0				
1° OP ¹	0,034Aa	0,017Ab	0,007c	0,006c
2° OP	0,003B	0,006B	0,003	0,010
3°-4° OP	0,006B	0,005B	0,006	0,009
≥5° OP	0,007B	0,006B	0,006	0,007
C16:1				
1° OP	0,326Bb	0,528b	1,224Aa	0,538b
2° OP	0,375B	0,323	0,604B	0,557
3°-4° OP	0,480B	0,731	0,671B	0,598
≥5° OP	0,859A	0,585	0,444B	0,456
C20:3n6				
1° OP	0,005AB	0,007	0,010B	0,011
2° OP	0,007ABb	0,007b	0,021Aa	0,005b
3°-4° OP	0,002Bb	0,007ab	0,011Ba	0,005ab
≥5° OP	0,009A	0,007	0,005B	0,005
C20:4n6				
1° OP	0,001Bb	0,004b	0,003ABb	0,009Aa
2° OP	0,001Bb	0,002b	0,008Aa	0,001Bb
3°-4° OP	0,001B	0,004	0,004AB	0,003B
≥5° OP	0,004A	0,005	0,002B	0,002B

¹ OP: ordem de parto

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Neste estudo, observou-se que o fornecimento dietético de betaína associada com a levedura promoveu melhora no teor do ácido araquidônico (C20:4n6) no leite das porcas primíparas. Foi também verificada maior concentração do ácido palmitoleico (C16:1) nas

marrãs, e dihomo- γ -linolênico (C20:3n6) e araquidônico (C20:4n6) nas fêmeas de 2ª ordem de parto, que consumiram a dieta contendo levedura. Essa modulação dietética dos ácidos graxos do leite, especialmente os poli-insaturados ômega-6, como o ácido dihomo- γ -linolênico e araquidônico, pode ser benéfica para leitões lactentes, uma vez que são precursores dos eicosanoides, moléculas envolvidas no processo inflamatório e que, portanto, são importantes na proteção do organismo contra infecções e lesões (PERINI *et al.* 2010).

3.4 Conclusão

A suplementação dietética de betaína ou levedura é benéfica para porcas a partir da 5ª ordem de parto, sendo capaz de aumentar a produção de leite e o desempenho da leitegada.

4 SELÊNIO ORGÂNICO E VITAMINA E PARA PORCAS DE 1ª E 2ª ORDEM DE PARTO SOB ESTRESSE TÉRMICO

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação dietética de selênio orgânico e vitamina E para porcas de 1ª e 2ª ordem de parto sem resfriamento adiabático sobre as respostas fisiológicas, desempenho reprodutivo, composição do leite, desempenho das leitegadas e concentrações sanguíneas das enzimas antioxidantes (GSH-Px e SOD). Foram distribuídas 96 porcas da linhagem TN70 (Topigs Norsvin®) em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x2, com quatro grupos experimentais e duas ordens de parto (1ª e 2ª ordem), sendo cada porca e sua respectiva leitegada considerada como unidade experimental. Os grupos experimentais consistiram em: ConRA – porcas sem suplementação de selênio orgânico e vitamina E, com resfriamento adiabático; ConSRA – sem suplementação de selênio orgânico e vitamina E, sem resfriamento adiabático; SeSRA – com suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico, sem resfriamento adiabático; SeESRA – com suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vitamina E, sem resfriamento adiabático. Não houve interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e ordens de parto sobre as respostas fisiológicas das porcas. As matrizes ConRA apresentaram menor frequência respiratória, temperatura retal e de superfície corporal em relação às fêmeas dos outros grupos ($P < 0,05$). Não houve interação entre os grupos experimentais e as ordens de parto sobre o desempenho das porcas e de suas leitegadas ($P > 0,05$). As porcas sem resfriamento adiabático apresentaram menor produção diária de leite e desmamaram leitegadas com menor peso e ganho médio diário em relação aos outros grupos ($P < 0,05$). Observou-se que as porcas ConRA apresentaram maior tamanho de leitegada ao desmame em relação às fêmeas do SeESRA. Não houve efeito de interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e as ordens de parto sobre as concentrações sanguíneas das enzimas antioxidantes. Fêmeas do SeESRA apresentaram maiores concentrações de GSH-Px em relação aos demais grupos experimentais e maiores níveis de SOD do que as fêmeas dos grupos ConRA e ConSRA. As leitegadas de fêmeas do grupo SeESRA apresentaram maiores níveis de GSH-Px e SOD em relação aos demais grupos experimentais. Para as ordens de parto, verificou-se que as porcas primíparas apresentaram menor consumo de ração, produção diária de leite, peso corporal ao parto e desmame, espessura de toucinho ao parto, além de maior perda percentual de peso. As porcas de 2ª ordem de parto tiveram menor tamanho de leitegada ao parto e 48h após o parto, porém observou-se que os leitões apresentaram maior peso e maior

ganho médio diário ao desmame. Não foram observados efeitos ($P > 0,05$) dos grupos experimentais e das ordens de parto sobre a composição do leite. Porcas submetidas a resfriamento adiabático apresentam maior produção de leite e leitegadas com maior peso em relação às aquelas não submetidas a mesma condição, independente da suplementação com selênio orgânico ou vitamina E. Matrizes primíparas apresentam pior desempenho produtivo durante a lactação e desmamam leitegadas mais leves do que porcas de 2ª ordem de parto. A suplementação de selênio orgânico e vitamina E melhora o status oxidativo de fêmeas suínas de 1ª e 2ª ordens de parto e seus leitões, porém não resulta em melhor desempenho reprodutivo em condição de estresse por calor.

Palavras-chave: antioxidantes, desempenho, estresse oxidativo, leitões, microminerais.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects of dietary supplementation of organic selenium and tocopherol for sows from 1st and 2nd parity order, without evaporative cooling system on physiological parameters, reproductive performance, milk composition, litter performance and blood concentrations of antioxidant enzymes. A total of 96 sows (Topigs TN70) were allotted in a 4x2 completely factorial design, with 4 experimental groups and 2 PO (1st and 2nd), with each sow and its respective litter considered as experimental unit. The experimental groups consisted of: ConRA – control diet, with evaporative cooling system; ConSRA – control diet, without evaporative cooling system; SeSRA – supplementation of 0.3 mg/kg organic selenium, without evaporative cooling system; SeESRA – supplementation of 0.3mg/kg organic selenium and 90 IU of tocopherol, without evaporative cooling system. There was no interaction effect ($P>0.05$) between experimental groups and PO on the physiological parameters of sows. Sows from ConRA had lower respiratory rate, rectal temperature and body surface temperature when compared to the others sows ($P<0.05$). There was no interaction effect between experimental groups and PO on the performance of sows and their litters ($P>0.05$). Sows without evaporative cooling system had lower daily milk yield and weaned litters with lower weight and average daily gain when compared to the other groups ($P<0.05$). It was observed that sows from ConRA had a higher number of litter at weaning when compared to sows from SeESRA. There was no interaction effect ($P>0.05$) between experimental groups and PO on blood concentrations of antioxidant enzymes. Sows from SeESRA had higher concentrations of GSH-Px when compared to other experimental groups and higher levels of SOD than sows from ConRA and ConSRA. The litters of sows from the SeESRA group showed higher levels of GSH-Px and SOD when compared to the other experimental groups. For PO, it was observed that primiparous sows had lower feed intake, daily milk yield, body weight at farrowing and weaning, backfat thickness at farrowing, and also a higher weight loss. Sows of 2nd PO had a smaller litter size at farrowing and 48h after farrowing, but it was observed that the piglets had higher weight and higher average daily gain at weaning. No effects ($P>0.05$) of experimental groups and PO on milk composition were observed. Sows from ConRA have higher milk yield and higher litter weight than the others groups. Primiparous sows have worse productive performance during lactation and weaned lighter litters than 2nd PO sows'. Organic selenium and vitamin E supplementation improves the oxidative status of sows from 1st and 2nd parity orders and their piglets, but does not result in better reproductive performance under heat stress conditions.

Keywords: antioxidants, performance, oxidative stress, piglets, microminerals.

4.1 Introdução

Na suinocultura, a intensa seleção baseada em parâmetros zootécnicos, como tamanho de leitegada, intervalo desmame-estro e eficiência na lactação, permitiu maior produtividade das matrizes dos genótipos modernos. No entanto, esse avanço genético tornou as porcas mais sensíveis ao clima e, portanto, mais susceptíveis ao estresse térmico, pela sua maior capacidade de produção de calor endógeno (WEGNER *et al.*, 2014).

Quando alojadas em ambientes com elevadas temperaturas, estas fêmeas tendem a reduzir o consumo, a fim de minimizar a produção de calor metabólico, o que pode promover maior catabolismo (JUSTINO *et al.*, 2015; RENAUDEAU *et al.*, 2011; ZHAO *et al.*, 2011). Tal adaptação pode agravar o quadro de estresse oxidativo, que naturalmente ocorre em porcas hiperprolíficas durante a gestação e lactação, uma vez que a maior mobilização das reservas corporais promove aumento de macromoléculas circulantes, como lipídeos e proteínas, que podem ser alvos das espécies reativas ao oxigênio (BERCHIERI-RONCHI *et al.*, 2011; KIM *et al.*, 2013; ZHAO; KIM, 2020). De acordo com Surai e Fisinin (2016), o estresse oxidativo possui efeitos deletérios sobre diversos processos fisiológicos das fêmeas suínas, como a maturação de oócitos e o desenvolvimento embrionário e fetal. Em porcas jovens, esse processo pode ser ainda mais intenso, o que pode interferir no seu desempenho reprodutivo futuro e comprometer sua longevidade.

Visando buscar estratégias nutricionais que possam atenuar os efeitos deletérios do estresse térmico e oxidativo nas matrizes suínas de linhagens modernas, diversas pesquisas têm sido realizadas nos últimos anos, com enfoque em substâncias com capacidade antioxidante, como o selênio e vitamina E.

O selênio é um micromineral cofator essencial de pelo menos 25 selenoproteínas, das quais 16 têm papel antioxidante (PAPPAS *et al.*, 2008), sendo a glutathione peroxidase, catalase e superóxido desmutase, as mais conhecidas. Na nutrição animal, o selênio pode ser suplementado nas dietas na forma inorgânica e orgânica, sendo que esta última tem sido a forma mais utilizada, em virtude da sua capacidade de deposição nos tecidos, principalmente nos músculos, atuando como fonte de reserva de selenometionina no organismo dos animais. Já a vitamina E possui uma atividade não enzimática e seu efeito antioxidante deve-se principalmente à sua capacidade de doar átomos de hidrogênios aos radicais livres, gerando produtos eletricamente estáveis ou menos reativos e, conseqüentemente, inibindo o processo de oxidação (LIMA-VERDE *et al.*, 2007; NWOSE *et al.*, 2008).

Estudos que avaliam a utilização de selênio orgânico e vitamina E na dieta de porcas lactantes e seus possíveis efeitos sobre suas progênes são escassos e os resultados têm sido variáveis (CHEN *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2016; FORTIER *et al.*, 2012; SHELTON *et al.*, 2014). Além disso, ainda não foram analisadas as implicações do fornecimento destes aditivos sobre as respostas fisiológicas e composição do leite de matrizes suínas submetidas ao estresse térmico. Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação dietética de selênio orgânico e vitamina E para porcas de 1ª e 2ª ordem de parto, sem resfriamento adiabático, sobre os parâmetros reprodutivos, respostas fisiológicas, produção e composição do leite, desempenho produtivo de suas leitegadas, bem como as concentrações sanguíneas das enzimas antioxidantes.

4.2 Material e métodos

Os procedimentos experimentais seguiram os protocolos aprovados pelo Comitê e Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Ceará.

Foram distribuídas 96 porcas (Topigs Norvin) em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2, considerando quatro grupos experimentais e duas ordens de parto (1ª e 2ª ordem), considerando a porca e sua respectiva leitegada como a unidade experimental. Os grupos experimentais consistiram em: ConRA – sem suplementação de selênio orgânico e vitamina E, com resfriamento adiabático; ConSRA – sem suplementação de selênio orgânico e vitamina E, sem resfriamento adiabático; SeSRA – suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico, sem resfriamento adiabático; SeESRA – suplementação de 0,3 mg-kg de selênio orgânico e 90 UI de vitamina E, sem resfriamento adiabático.

As rações foram formuladas para atender às exigências nutricionais das porcas no terço final da gestação e lactação, de acordo com as recomendações contidas no manual da linhagem (Tabela 1). O selênio orgânico e a vitamina E foram incorporados nas dietas de forma *on top*, através da adição de aditivos comerciais (Adisseo, Brasil). A suplementação de selênio orgânico e vitamina E teve início aos 85 dias de gestação, sendo fornecidos na primeira oferta de ração do dia, durante todo o período experimental. Visando garantir a ingestão de selênio orgânico e/ou vitamina E, a quantidade ofertada dos aditivos foi previamente diluída em parte da ração e colocada no comedouro.

O resfriamento adiabático utilizado para as fêmeas ConRA foi realizado a partir de equipamento DuctoFan (Axial Munters, Marau – RS, Brasil), com ventilação localizada na cernelha das fêmeas a partir do alojamento no galpão de maternidade.

No momento da transferência para o galpão maternidade, aos 110 dias de gestação, as matrizes foram pesadas individualmente e a espessura de toucinho foi mensurada no ponto P2, obtido a 6,5 cm da linha média lombar a partir da última costela, em ambos os lados, com o uso do aparelho de ultrassom (Preg-Tone, Renco®, Brasil).

Durante todo o período experimental, foram registrados os dados de temperatura e umidade por meio de um data logger (Didai Tecnologia Ltda., Campinas, Brasil), posicionado 1 metro acima do piso, sendo as médias de temperatura e umidade de 27,8 °C e 78,4%, respectivamente. Os valores mínimos e máximos observados ao longo do experimento foram de 23,5 e 34,1 °C, para temperatura, e de 51,8 e 97,6%, para umidade relativa.

Os parâmetros fisiológicos foram mensurados em quatro porcas de cada tratamento, selecionadas de acordo com o peso corporal e espessura de toucinho, aos 7, 14 e 21 dias após o parto, em três horários distintos (8, 12 e 16h), calculando-se os valores médios diários. A temperatura retal foi aferida por meio de um termômetro clínico veterinário, introduzido no reto das matrizes, durante 1 minuto. Para a frequência respiratória foi realizada a contagem dos movimentos do flanco das fêmeas durante 15 s, extrapolando-se os valores para 1 min. As temperaturas superficiais da nuca, pernil e glândula mamária das porcas foram verificadas por meio de um termômetro infravermelho laser (Raytec Minitemp MT4, São Paulo, Brasil).

Ao parto, foram registrados o peso e o número de leitões nascidos totais e vivos. Até 48 horas após o nascimento, as leitegadas foram padronizadas entre as porcas do mesmo tratamento e procedeu-se novamente a contagem e pesagem dos leitões. Durante o período experimental, não houve fornecimento de qualquer suplementação alimentar para os leitões e estes tiveram acesso à água *ad libitum*. Todos os leitões que morreram foram pesados, de modo a ter uma estimativa adequada do desenvolvimento da leitegada e da produção de leite.

Após o parto, as porcas receberam ração em um regime alimentar gradual para estimular o aumento da ingestão até o oitavo dia pós-parto, iniciando com 2,0 kg no 1º dia pós-parto e atingindo 9,0 kg no oitavo dia, mantendo-se constante até o desmame. O consumo de ração foi determinado através da diferença entre o peso da ração fornecida e o peso das sobras recolhidas diariamente.

No 18º dia de lactação, foram coletadas amostras de leite e sangue nas porcas em que foram realizadas as determinações dos parâmetros fisiológicos. Neste mesmo período, foram selecionados dois leitões de cada leitegada dessas matrizes para coleta de sangue. Na coleta do leite, os leitões foram, inicialmente, separados da matriz após o aleitamento e aguardou-se uma média de 50 minutos. Após esse período, aplicou-se 1,0 mL de ocitocina

injetável na veia auricular e, em seguida, foi feita a ordenha manualmente em todos os tetos ativos da porca. As amostras de leite foram homogeneizadas e armazenadas em duplicata em recipientes estéreis à temperatura de -20°C para as posteriores análises. A determinação da composição química do leite foi realizada utilizando-se um analisador automático (Lactoscan Milk Analyzer, Milkotronic Ltda.), sendo determinado o pH, densidade, teores de extrato seco, lipídeo, proteína e lactose.

A coleta de sangue foi realizada através de punção na veia jugular com auxílio de seringas e tubos Vacutainer®. Após esse procedimento, as amostras foram centrifugadas a 4000 RPM durante 5 minutos, em temperatura ambiente, e os sobrenadantes obtidos foram armazenados em tubos Eppendorfs® a -20°C , sendo posteriormente utilizados para determinação dos teores de glutathiona peroxidase e superóxido dismutase.

A atividade de glutathiona peroxidase foi determinada utilizando o kit RANSEL® (RANDOX Laboratories, Reino Unido), de acordo com o método descrito por Paglia e Valentine (1967). A atividade da glutathiona peroxidase foi expressa como UI/mg de proteína.

A atividade da enzima superóxido dismutase foi medida utilizando o kit RANSOD® (RANDOX Laboratories, Reino Unido). Este método emprega xantina e xantina oxidase para produzir radicais superóxido que reagem com o ácido 2-(4-iodofenil)-3-(4-nitrofenil)-5-cloreto de feniltetrazol para formar o composto formazan vermelho (McCord & Fridovich, 1969). A atividade da enzima foi medida pelo grau de inibição desta reação a 505nm e expressa em UI/mg de proteína.

Aos 24 dias de idade, os leitões de cada leitegada foram contados, pesados e desmamados. Após o desmame, as matrizes foram pesadas individualmente e a espessura de toucinho foi mensurada no ponto P2. Em seguida, estas fêmeas foram transferidas para o galpão de gestação, onde foram alojadas em gaiolas e passaram a receber 3,0 kg/dia de suas respectivas dietas experimentais até apresentarem o estro, determinando-se, então, o intervalo desmame-estro (IDE).

Foi estimada a perda de composição corporal das matrizes a partir do peso vivo vazio (PVV, kg) e espessura de toucinho (P2, mm) de acordo com as equações publicadas por Dourmad et al. (1997): proteína (kg) = $2,28 (\pm 2,22) + 0,178 (\pm 0,017) \text{PVV} - 0,333 (\pm 0,067) \text{P2}$ e lipídeo (kg) = $-26,4 (\pm 4,5) + 0,221 (\pm 0,030) \text{PVV} + 1,331 (\pm 0,140) \text{P2}$. A estimativa da produção média diária de leite foi baseada no ganho de peso da leitegada, número de leitões e teor de matéria seca do leite (19%), de acordo com a equação de Noblet e Etienne (1986): PEL (kg/dia) = $([0,718 * \text{GPD} - 4,9] * n^{\circ} \text{ de leitões}) / 0,19$.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM (General Linear Models) do Statistical Analysis System (SAS, University Edition), considerando-se as porcas e suas respectivas leitegadas como unidade experimental. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

4.3 Resultados e discussão

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e ordens de parto sobre os parâmetros fisiológicos das porcas (Tabela 9). As matrizes alojadas com resfriamento adiabático apresentaram menor frequência respiratória, temperatura retal e de nuca em relação às fêmeas não submetidas a resfriamento adiabático, com ou sem suplementação de selênio orgânico e vitamina E ($P < 0,05$).

Os suínos são animais homeotérmicos e, portanto, mantêm sua temperatura corporal relativamente constante, ajustando o calor produzido no organismo com o do ambiente. Tal processo é eficiente quando a temperatura está dentro dos limites da zona de termoneutralidade, que varia de 12 a 22°C, para porcas gestantes e lactantes (QUINIOU; NOBLET, 1999). Quando expostas às temperaturas acima desta faixa, as matrizes podem apresentar alterações fisiológicas, como o aumento da frequência respiratória, para manutenção da homeostase térmica (HILL *et al.*, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2010).

Como as temperaturas média e máxima atingiram valores de 27,8 e 34,1°C, respectivamente, observou-se que as fêmeas de todos os grupos apresentaram frequência respiratória acima da faixa considerada normal para porcas gestantes e lactantes, que é de 15 a 25 movimentos por minuto (HANNAS, 1999; QUINIOU; NOBLET, 1999). Verificou-se, ainda, que mesmo com o aumento da frequência respiratória, as matrizes estudadas não conseguiram dissipar o calor e apresentaram a temperatura retal acima da normalidade, que é 38,6°C para fêmeas suínas lactantes (HANNAS, 1999), indicando que estavam em condição de estresse térmico. O ar mais frio direcionado na cabeça das porcas com resfriamento adiabático, provavelmente influenciou a sensação térmica desses animais (NÄÄS *et al.*, 2013), explicando a diferença observada na temperatura retal e superficial destas matrizes em relação às fêmeas dos demais grupos, corroborando com Perin *et al.* (2016) que também observaram redução na temperatura de porcas com resfriamento adiabático.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e as ordens de parto sobre o desempenho das porcas (Tabela 10). Contudo, observou-se efeito significativo do grupo experimental apenas para a produção diária de leite, enquanto, para ordem de parto houve

diferença significativa no consumo médio total e diário de ração, produção diária de leite, peso corporal ao parto e aos desmame, perda de peso percentual e espessura de toucinho. As matrizes do grupo que recebeu resfriamento adiabático apresentaram maior produção diária de leite em relação às que não receberam resfriamento, com ou sem suplementação de selênio orgânico e vitamina E.

Fêmeas suínas em condição de estresse térmico tendem a reduzir o consumo de ração, com o intuito de minimizar a produção de calor metabólico, o que pode levar à maior mobilização de reservas corporais e, conseqüentemente, a menor peso e espessura de toucinho (GOURDINE *et al.*, 2006; RENAUDEAU *et al.*, 2011). No entanto, neste trabalho, não foram verificadas diferenças entre os grupos experimentais sobre essas variáveis, corroborando com Zhao *et al.* (2011), que também não observaram efeitos do estresse térmico sobre o desempenho produtivo de porcas lactantes.

Em relação aos efeitos das ordens de parto, observou-se que as matrizes primíparas tiveram menor consumo médio e total de ração do que as porcas de 2ª ordem, o que se justifica pelo fato de marrãs apresentarem uma capacidade de ingestão alimentar até 20% menor quando comparada com fêmeas múltíparas (YOUNG *et al.*, 2004). Como as matrizes primíparas apresentaram menor peso ao parto e desmame, além de maior perda de peso percentual, pode-se inferir que a quantidade de ração consumida não foi capaz de suprir as necessidades nutricionais destas fêmeas, o que causou maior mobilização de reservas corporais, corroborando com os dados relatados por Andrade *et al.* (2016).

Tabela 9 – Grupos experimentais sobre os parâmetros fisiológicos de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto.

Parâmetros	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV % ¹	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	1ª OP	2ª OP		Grupos	OP	Grupos*OP
7 dias após o parto										
Temperatura, °C										
Nuca	34,12b	36,37a	36,64a	36,92a	35,98	36,22	3,12	0,041	0,427	0,852
Pernil	35,59	36,25	36,71	36,67	36,05	36,56	2,42	0,136	0,774	0,884
Glândula mamária	36,59	37,14	37,29	37,45	37,14	37,09	1,57	0,095	0,164	0,992
Retal	38,51b	39,02a	39,03a	39,02a	38,84	38,95	1,57	0,035	0,879	0,758
Frequência respiratória, mov./min.	46,83b	71,80a	79,44a	74,94a	67,45	69,05	32,06	0,031	0,132	0,479
14 dias após o parto										
Temperatura, °C										
Nuca	34,54b	36,61a	36,25a	36,81a	36,05	36,12	2,85	0,013	0,443	0,745
Pernil	35,85	36,54	36,51	36,70	36,22	36,14	2,51	0,336	0,337	0,821
Glândula mamária	36,93	37,51	37,61	37,85	37,45	37,51	1,82	0,156	0,169	0,967
Retal	38,43b	39,53a	39,26a	39,22a	39,33	38,92	1,32	0,011	0,284	0,854
Frequência respiratória, mov./min.	57,00b	82,73a	76,44a	82,80a	74,92	74,31	22,92	0,046	0,431	0,321
21 dias após o parto										
Temperatura, °C										
Nuca	34,31b	36,06a	36,08a	36,04a	35,44	35,82	2,11	0,001	0,724	0,687
Pernil	35,41	36,51	36,94	36,95	36,41	36,67	1,79	0,103	0,682	0,792
Glândula mamária	36,73	37,45	37,53	37,86	37,21	37,49	1,58	0,206	0,139	0,419
Retal	38,50b	39,09a	39,27a	39,35a	38,97	39,25	1,82	0,009	0,233	0,354
Frequência respiratória, mov./min.	47,69b	82,01a	89,38a	78,04a	73,68	75,01	19,32	0,004	0,641	0,317

¹ Coeficiente de variação.² Interação entre os grupos experimentais e ordens de parto.^{a,b} Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

Tabela 10 – Grupos experimentais sobre o desempenho zootécnico de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto.

Parâmetros	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV ¹ %	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	1ª	2ª		Grupos	OP	Grupos*OP
Consumo de ração total, kg	124,01	123,28	120,57	117,89	114,59b	128,28a	10,21	0,566	0,001	0,111
Consumo médio diário, kg	5,16	5,13	5,02	4,91	4,77b	5,34a	10,20	0,565	0,001	0,111
Produção diária de leite ³ , kg	13,77a	11,46b	11,25b	10,11b	10,94b	12,35a	19,12	<0,001	0,002	0,943
Peso corporal, kg										
Ao parto	230,50	235,58	232,68	234,93	220,56b	246,28a	5,65	0,545	<0,001	0,705
Ao desmame	189,92	188,54	192,07	191,64	176,44b	204,64a	7,29	0,831	<0,001	0,999
Perda de peso corporal, kg	40,57	47,03	42,31	43,29	44,11	42,49	24,15	0,194	0,457	0,282
Perda de peso percentual, %	17,62	20,04	18,20	18,48	19,97a	17,20b	23,45	0,269	0,002	0,345
Espessura de toucinho, mm										
Ao parto	14,90	14,57	15,95	15,98	14,77b	15,93a	14,73	0,072	0,014	0,083
Ao desmame	12,77	12,23	13,08	12,44	11,99	12,62	0,142	0,182	0,077	0,142
Intervalo desmame estro, dias	3,95	3,96	4,09	4,07	4,06	3,97	18,34	0,814	0,474	0,077
Perda de composição corporal, kg ⁴										
Proteína	31,49	36,66	33,18	33,60	34,36	33,11	23,56	0,168	0,448	0,278
Lipídio	9,41	9,95	7,68	9,62	9,23	9,10	40,45	0,166	0,868	0,453

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre os grupos experimentais e ordens de parto.

³ A estimativa da produção média diária de leite foi baseada no ganho de peso da leitegada (GPD), número de leitões da leitegada e teor de matéria seca do leite (19%), de acordo com a equação de Noblet and Etienne (1986): $PEL (kg/dia) = ([0,718 * GPD - 4,9] * n^{\circ} \text{ de leitões}) / 0,19$.

⁴ A perda de composição corporal das porcas foi estimada a partir do peso vivo vazio (PVV, kg) e espessura de toucinho (P2, mm) de acordo com as equações publicadas por Dourmad et al. (1997): Proteína (kg) = $2,28 (\pm 2,22) + 0,178 (\pm 0,017) PVV - 0,333 (\pm 0,067) P2$ e Lipídeo (kg) = $- 26,4 (\pm 4,5) + 0,221 (\pm 0,030) PVV + 1,331 (\pm 0,140) P2$.

^{a,b} Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

Neste estudo, as matrizes não submetidas a resfriamento adiabático tiveram menor produção estimada de leite do que as fêmeas do que receberam resfriamento localizado. Isso pode ser explicado pelo redirecionamento do fluxo sanguíneo da glândula mamária para a pele que ocorre, em condições de estresse térmico, na tentativa de regular a temperatura corporal, causando decréscimo na disponibilidade de nutrientes para síntese do leite (BARB *et al.*, 1991; BLACK *et al.*, 1993).

De acordo com Chen *et al.* (2019), a produção de leite também é afetada pelo estresse oxidativo, pois a síntese de peptídeos do leite pode ser bloqueada quando as espécies reativas de oxigênio são produzidas além da capacidade antioxidante celular das porcas. Ao avaliarem os efeitos da suplementação de selênio e vitamina E no final da gestação de vacas e ovelhas, respectivamente, Moeni *et al.* (2009) e Meyer *et al.* (2011) verificaram que a produção de leite melhorou notoriamente. No entanto, ainda não há na literatura estudos que avaliam os possíveis efeitos do fornecimento destes aditivos sobre a produção de leite em suínos.

Neste trabalho, como as porcas do SeSRA e SeESRA não diferiram das matrizes do ConSRA, pode-se inferir que os níveis fornecidos de selênio e vitamina E podem ter sido insuficientes para reduzir os efeitos deletérios do estresse oxidativo nestas fêmeas.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e as ordens de parto sobre o desempenho das leitegadas (Tabela 11). Efeitos significativos entre os grupos experimentais foi observado no tamanho e peso da leitegada ao desmame e no ganho médio diário da leitegada. O tamanho da leitegada ao desmame das porcas que receberam resfriamento adiabático foi maior que o das fêmeas suplementadas com a associação de selênio orgânico e vitamina E sem resfriamento. Em relação ao peso da leitegada ao desmame e ganho médio diário da leitegada, verificou-se melhor desempenho das porcas que receberam resfriamento, diferindo dos demais grupos experimentais. Acerca das ordens de parto, observou-se que matrizes primíparas tiveram maior número de leitões nascidos totais e vivos, e 48h após o parto, embora tenha sido observadas leitegadas com menor peso (ao parto, 48h após o parto e ao desmame) e ganho médio diário em relação às fêmeas de 2ª ordem de parto ($P < 0,05$).

Tabela 11 – Grupos experimentais sobre o desempenho das leitegadas de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto.

Parâmetros	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV ¹ %	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	1ª	2ª		Grupos	OP	Grupos*OP
Tamanho da leitegada, n										
Ao parto total	15,14	14,70	15,48	14,20	15,81a	13,95b	20,60	0,513	0,004	0,124
Ao parto vivo	14,10	13,33	13,97	13,38	14,34a	13,06b	22,64	0,775	0,047	0,233
48h após o parto	13,73	13,58	13,53	13,16	13,69a	13,31b	5,65	0,074	0,015	0,097
Ao desmame	12,59a	11,93ab	11,81ab	11,16b	11,82	11,93	10,17	0,001	0,657	0,813
Peso médio do leitão, kg										
Ao parto	1,44	1,43	1,45	1,48	1,31b	1,59a	13,13	0,821	<0,001	0,096
48h após o parto	1,62	1,57	1,59	1,56	1,42b	1,75a	17,02	0,879	<0,001	0,233
Ao desmame	6,63	6,43	6,12	6,31	6,01b	6,74a	10,27	0,072	<0,001	0,692
Ganho médio diário do leitão, kg	0,227	0,219	0,206	0,216	0,208b	0,226a	12,73	0,084	0,002	0,837
Peso da leitegada, kg										
Ao parto	19,57	19,07	20,54	19,24	18,55b	20,66a	19,89	0,578	0,010	0,092
48h após o parto	22,39	21,35	21,47	20,51	19,53b	23,32a	16,88	0,372	<0,001	0,715
Ao desmame	83,55a	74,14b	73,40b	70,20b	70,35b	80,29a	12,98	<0,001	<0,001	0,910
Ganho médio diário leitegada, kg	2,77a	2,39b	2,35b	2,20b	2,27b	2,58a	16,38	<0,001	0,004	0,995

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre os grupos experimentais e ordens de parto.

^{a,b} Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

Hu *et al.* (2011) e Shelton *et al.* (2012) relataram que porcas suplementadas com selênio e vitamina E desmamaram leitgadas com ganho de peso significativamente maior em relação ao grupo controle. Neste estudo, no entanto, não foram observados efeitos benéficos do fornecimento dietético destes aditivos sobre o desempenho dos leitões. As matrizes do ConRA apresentaram leitgadas com maior peso ao desmame e GMD em relação às fêmeas dos outros grupos, corroborando com Justino *et al.* (2015), que verificaram que porcas com resfriamento adiabático desmamaram leitões mais pesados em comparação com os das matrizes em estresse térmico. Quando não há fornecimento de nenhum tipo de suplementação ou sucedâneo para os leitões, o desempenho destes animais reflete diretamente a quantidade e qualidade nutricional do leite das porcas (HURLEY, 2015). Dessa forma, como não foram observadas diferenças significativas na composição nutricional do leite, esse resultado pode ser relacionado com a maior produção de leite das fêmeas do ConRA.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e as ordens de parto, tampouco efeitos isolados ($P > 0,05$) sobre a composição do leite das porcas (Tabela 12). Segundo Vieira *et al.* (2020), marrãs possuem potencial genético de produção de leite semelhante às porcas de 2ª ordem de parto. Contudo, neste estudo, verificou-se menor produção de leite e, conseqüentemente, pior desempenho das leitgadas das fêmeas primíparas. Tendo em vista que o estado metabólico das porcas afeta diretamente a distribuição de energia e/ou proteína para o tecido mamário (BIERHALS *et al.*, 2011), a menor produção de leite das marrãs pode ser relacionada com o maior catabolismo lactacional observado nestas matrizes.

Tabela 12. Grupos experimentais sobre a composição do leite de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto.

Parâmetros	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV ¹ %	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	1 ^a	2 ^a		Grupos	OP	Grupos*OP ²
Densidade, g/cm ³	1,00	1,01	1,03	1,02	1,02	1,01	4,51	0,803	0,896	0,667
Extrato seco, %	18,49	18,60	18,79	19,10	18,75	18,74	7,63	0,886	0,976	0,605
Lipídio, %	9,88	9,92	9,97	10,37	10,03	10,04	12,35	0,892	0,976	0,427
Proteína, %	5,50	5,53	5,59	5,67	5,58	5,57	7,01	0,884	0,963	0,643
Lactose, %	5,08	5,14	5,22	5,15	5,16	5,13	3,88	0,696	0,767	0,223
pH	5,58	5,59	5,70	5,74	5,63	5,68	4,57	0,643	0,626	0,666

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre os grupos experimentais e ordens de parto.

^{a,b} Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

Não houve efeito de interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e as ordens de parto sobre as concentrações sanguíneas das enzimas antioxidantes (Tabela 13). As matrizes do SeESRA apresentaram níveis séricos de glutathiona peroxidase (GSH-Px) mais elevados ($P < 0,05$) em relação aos demais grupos experimentais. Porcas do SeESRA apresentaram maior conteúdo de superóxido dismutase (SOD) no sangue do que fêmeas dos grupos ConRA e ConSRA ($P < 0,05$). As leitegadas de fêmeas do grupo SeESRA apresentaram maiores níveis de GSH-Px e SOD ($P < 0,05$) em relação aos demais grupos experimentais com maior concentração desta enzima e da superóxido dismutase em relação aos demais tratamentos.

Neste estudo, a suplementação de selênio e vitamina E para porcas sem resfriamento adiabático promoveu maior concentração das enzimas superóxido dismutase e glutathiona peroxidase, aos 18 dias de lactação, indicando que o fornecimento desses nutrientes favorece status antioxidante superior até mesmo ao de fêmeas que foram alojadas em gaiolas com resfriamento adiabático. Este resultado corrobora com Chen *et al.* (2019), que verificaram melhora na atividade antioxidante de porcas suplementadas com 0,3 e 1,2 mg/kg de selênio, tanto em galpões climatizados quanto sem climatização.

Consistente com a melhora do status antioxidante das matrizes, os leitões destas fêmeas também apresentaram maiores níveis séricos de glutathiona peroxidase e superóxido dismutase. Isso indica que, mesmo em condições de estresse térmico, a suplementação dietética de selênio e vitamina E durante o terço final de gestação e lactação pode aumentar a atividade de enzimas antioxidantes não só das porcas, mas também de suas leitegadas, aos 18 dias de idade, favorecendo melhor status antioxidante destes animais em período próximo ao desmame, caracterizado por índices críticos de estresse e desequilíbrio oxidativo.

Tabela 13 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre as concentrações sanguíneas de glutatona peroxidase (GSH-Px) e superóxido dismutase (SOD) de porcas de 1ª e 2ª ordem de parto.

Parâmetros (UI/mg de proteína)	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV ¹ %	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	1ª	2ª		Grupo	OP	Grupo* OP ²
Porcas										
GSH-Px	25,19b	23,27b	28,42b	35,64a	28,83	27,43	2,15	0,001	0,593	0,236
SOD	104,92b	103,54b	111,82ab	126,64a	112,19	111,27	7,29	0,015	0,893	0,968
Leitões										
GSH-Px	21,96b	20,53b	24,15b	31,58a	24,53	24,55	3,12	<0,001	0,654	0,663
SOD	101,69b	99,55b	103,88b	109,96a	104,07	103,47	6,14	0,008	0,654	0,651

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre os grupos experimentais e ordens de parto.

^{a,b} Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio e 90 UI de vit. E orgânico sem resfriamento adiabático.

4.4 Conclusão

A suplementação de selênio orgânico e vitamina E melhora o status oxidativo de fêmeas suínas de 1^a e 2^a ordens de parto e seus leitões, porém não resulta em melhor desempenho reprodutivo em condição de estresse por calor.

5 SELÊNIO ORGÂNICO E VITAMINA E PARA PORCAS MULTÍPARAS SOB ESTRESSE TÉRMICO

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação dietética de selênio orgânico e vitamina E para porcas multíparas em estresse térmico sobre as respostas fisiológicas, parâmetros reprodutivos, composição do leite e desempenho produtivo das leitegadas. Foram distribuídas 96 porcas da linhagem Topigs 20 (Topigs Norvin®) em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x2, sendo quatro grupos experimentais e duas ordens de parto (3^a-4^a, e acima da 5^a), sendo cada porca e sua respectiva leitegada considerada como unidade experimental. As formas de suplementação de selênio e vitamina E consistiram em: ConRA – sem suplementação de selênio orgânico e vitamina E com resfriamento adiabático; ConSRA – sem suplementação de selênio orgânico e vitamina E sem resfriamento adiabático; SeSRA – com suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático; SeESRA – com suplementação de 0,3 mg-kg de selênio orgânico e 90 UI de vitamina E sem resfriamento adiabático. Não houve interação ($P > 0,05$) entre os grupos e ordens de parto sobre as respostas fisiológicas das porcas. As matrizes ConRA apresentaram menor frequência respiratória, temperatura retal e de nuca em relação às fêmeas dos demais grupos ($P < 0,05$). Houve interação entre os grupos e ordens de parto sobre o tamanho da leitegada ao desmame ($P < 0,05$), com as fêmeas SeESRA de 3^a e 4^a ordem de parto apresentando maior número de leitões desmamados do que as porcas acima da 5^a ordem. Não houve interação ($P > 0,05$) entre os grupos e ordens de parto sobre os parâmetros reprodutivos e composição do leite das porcas. As fêmeas suplementadas com selênio orgânico e vitamina E apresentaram menor intervalo desmame-estro do que as matrizes do ConSRA ($P < 0,05$). As porcas ConRA apresentaram maior produção de leite e desmamaram leitões mais pesados e com maior ganho médio diário em relação aos outros grupos ($P < 0,05$). As porcas acima da 5^a ordem de parto apresentaram maior peso e espessura de toucinho ao parto e desmame ($P < 0,05$). As porcas de 3^a e 4^a ordem de parto tiveram maior produção diária de leite e desmamaram leitões mais pesados e com maior ganho médio diário ($P < 0,05$). Em relação à composição do leite, verificou-se que as matrizes acima da 5^a ordem de parto tiveram maior percentual de lactose ($P < 0,05$). Não houve efeito de interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e as ordens de parto sobre as concentrações sanguíneas das enzimas antioxidantes. Fêmeas do SeESRA apresentaram maiores concentrações de GSH-Px em relação aos demais grupos experimentais e maiores níveis de

SOD do que as fêmeas dos grupos ConRA e ConSRA. As leitegadas de fêmeas do grupo SeESRA apresentaram maiores níveis de GSH-Px e SOD em relação aos demais grupos experimentais. Porcas que não receberam resfriamento adiabático apresentam menor produção de leite e desmamaram leitões mais leves do que fêmeas submetidas a esse tipo de resfriamento. O fornecimento de selênio e vitamina E na dieta de matrizes suínas sob estresse térmico reduz o intervalo desmame-estro. Porcas suplementadas com SeESRA e suas respectivas leitegadas apresentam maiores níveis séricos de GSH-Px e SOD em relação a fêmeas não suplementadas independente das condições ambientais a que foram submetidas. A suplementação dietética de selênio orgânico e vitamina E reduz o intervalo desmame-estro de fêmeas suínas a partir da 3ª ordem de parto e melhora o status oxidativo das matrizes e seus leitões.

Termos para indexação: antioxidantes, desempenho, estresse oxidativo, leitões, microminerais.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of dietary supplementation of organic selenium and tocopherol for multiparous sows under heat stress on physiological responses, reproductive parameters, milk composition and productive performance of litters. A total of 96 sows (Topigs 20) were allotted in a 4x2 completely factorial design, with 4 experimental groups and 2 parity order (3rd-4th and above 5th PO), with each sow and its respective litter considered as experimental unit. The experimental groups consisted of: ConRA – control diet + with evaporative cooling system; ConSRA – control diet + without evaporative cooling system; SeSRA – supplementation of 0.3 mg/kg organic selenium + without evaporative cooling system; SeESRA – supplementation of 0.3mg/kg organic selenium and 90 IU of tocopherol + without evaporative cooling system). There was no interaction ($P>0.05$) between groups and PO on the physiological responses of sows. Sows from ConRA had lower respiratory rate, rectal and nape of the neck temperature when compared to the others sows ($P<0.05$). There was interaction between groups and PO on litter size at weaning ($P<0.05$). Sows from SeESRA of 3rd and 4th PO had a greater number of weaned piglets than sows above the 5th order. There was no interaction effect ($P>0.05$) between groups and PO on the reproductive parameters and milk composition of the sows. The organic selenium and tocopherol supplementation had a lower weaning-estrus interval than the ConSRA sows ($P<0.05$). Sows from ConRA had a higher milk yield and weaned heavier piglets, and piglets with higher average daily gain compared to the other groups ($P<0.05$). Sows above the 5th PO had higher weight and backfat thickness at farrowing and weaning ($P<0.05$). Sows of the 3rd and 4th PO had a higher daily milk yield and weaned heavier piglets, and piglets with higher average daily gain ($P<0.05$). Regarding the milk composition, it was observed that the sows above the 5th PO had a higher lactose content ($P<0.05$). There was no interaction effect ($P>0.05$) between experimental groups and PO on blood concentrations of antioxidant enzymes. Sows from SeESRA had higher concentrations of GSH-Px when compared to the others experimental groups and higher levels of SOD than sows from ConRA and ConSRA groups. The litters of sows from the SeESRA group had higher levels of GSH-Px and SOD compared to the others experimental groups. Sows that did not had evaporative cooling system had lower milk yield and weaned lighter piglets than sows from ConRA. The dietary supply of selenium and tocopherol for sows under heat stress reduces the weaning-estrus interval. Sows supplemented with SeESRA and their respective litters have higher serum levels of GSH-Px and SOD compared to non-supplemented sows, regardless of the environmental conditions. Dietary supplementation of organic selenium and vitamin E

reduces the weaning-estrus interval of sows from the 3rd parity order and improves the oxidative status of sows and their piglets.

Keywords: antioxidants, performance, oxidative stress, piglets, microminerals.

5.1 Introdução

Os programas de seleção genética atuais na suinocultura buscam fêmeas de alta prolificidade, capazes de produzir leitegadas numerosas, o que tem possibilitado maior número de leitões desmamados/porca/ano. Com os avanços genéticos, essa intensa seleção tem gerado alguns aspectos negativos para a produção, especialmente em regiões de clima tropical, pois as matrizes de linhagens modernas são mais suscetíveis ao estresse térmico, pela sua elevada capacidade de produção de calor endógeno, que chega a ser até 18% maior que os genótipos das décadas de 80 e 90 (BERCHIERI-RONCHI *et al.*, 2011; WEGNER *et al.*, 2014).

Nesse sentido, em condições climáticas tropicais, estas fêmeas tendem a reduzir o consumo, a fim de minimizar a produção de calor metabólico, o que pode promover maior mobilização de reservas corporais, afetando negativamente o desempenho reprodutivo e produtivo destas porcas e, conseqüentemente, de suas leitegadas (CHEN *et al.*, 2019; RENAUDEAU *et al.*, 2011; ZHAO *et al.*, 2011).

Adicionalmente, o estresse térmico pode agravar ainda mais a produção de espécies reativas ao oxigênio nas matrizes durante a gestação e lactação, causando o estresse oxidativo (KIM *et al.*, 2013; ZHAO; KIM, 2020), que possui efeitos deletérios sobre diversos processos fisiológicos das fêmeas suínas, como a maturação de oócitos, desenvolvimento embrionário e fetal, produção de leite e intervalo desmame-estro (CHEN *et al.*, 2019; SURAI; FISININ, 2016; ZHAO *et al.*, 2013). Além disso, os danos oxidativos relacionados aos processos reprodutivos podem ser agravados em função da idade dos animais, sendo observado um decréscimo na capacidade fisiológica do organismo em atenuar os efeitos nocivos das espécies reativas ao oxigênio (TROEN, 2003), incluindo a redução na fertilidade (BRUIN *et al.*, 2002). Nesse sentido, o aumento na idade e conseqüente avanço no número de ciclos reprodutivos das fêmeas suínas a partir da 3ª ordem de parto, também pode contribuir para o aumento na atividade oxidativa dos animais, em função do menor *turnover* mitocondrial, afetando a eliminação de mitocôndrias disfuncionais, principalmente em tecidos reprodutivos (BENTOV *et al.*, 2011).

Visando buscar estratégias nutricionais que possam atenuar os efeitos deletérios do estresse térmico e oxidativo nas matrizes suínas de linhagens modernas, diversas pesquisas têm sido realizadas nos últimos anos, com enfoque em substâncias com capacidade antioxidante, como o selênio e vitamina E.

No organismo, o selênio é um cofator essencial de diversas enzimas antioxidantes, que atuam na proteção das membranas celulares dos radicais livres, ao inibir a formação de

peróxidos durante a oxidação dos lipídios da membrana celular (CATANIA *et al.*, 2009; RAYMAN, 2000). Na nutrição animal, o selênio pode ser suplementado nas dietas na forma inorgânica e orgânica, sendo que esta última têm sido a forma mais utilizada, em virtude da sua capacidade de deposição nos tecidos, principalmente nos músculos, atuando como fonte de reserva de selenometionina no organismo dos animais. Já a vitamina E possui uma atividade não enzimática e seu efeito antioxidante, deve-se principalmente à sua capacidade de doar átomos de hidrogênios aos radicais livres, gerando produtos eletricamente estáveis ou menos reativos e, conseqüentemente, inibindo o processo de oxidação (NWOSE *et al.*, 2008).

Estudos que avaliam a utilização de selênio orgânico e vitamina E na dieta de porcas lactantes e seus possíveis efeitos sobre suas progênes são escassos e os resultados têm sido variáveis (CHEN *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2016; FORTIER *et al.*, 2012; SHELTON *et al.*, 2014). Além disso, ainda não foram analisadas as implicações do fornecimento destes aditivos sobre as respostas fisiológicas e composição do leite de matrizes suínas submetidas ao estresse térmico. Portanto, objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação dietética de selênio e vitamina E para porcas múltiparas sem resfriamento adiabático sobre o desempenho reprodutivo, parâmetros fisiológicos, produção e composição do leite, desempenho de suas leitegadas, bem como as concentrações sanguíneas das enzimas antioxidantes.

5.2 Material e métodos

Todos os procedimentos experimentais seguiram os protocolos aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Ceará.

Foram distribuídas 96 porcas da linhagem Topigs 20 (Topigs Norvin®) em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2, considerando 4 grupos experimentais e duas ordens de parto (3^a-4^a, e acima da 5^a ordem), sendo que cada porca e sua respectiva leitegada foram consideradas como unidade experimental. Os grupos experimentais consistiram em: ConRA – porcas com resfriamento adiabático e recebendo dieta controle (sem suplementação de selênio orgânico ou vitamina E); ConSRA – matrizes sem resfriamento adiabático e recebendo dieta controle; SeSRA – porcas sem resfriamento adiabático e recebendo dieta suplementada com 0,3 mg/kg de selênio orgânico; SeESRA – porcas sem resfriamento adiabático e recebendo dieta suplementada com 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vitamina E.

As rações foram formuladas para atender às exigências nutricionais das porcas no terço final da gestação e lactação, de acordo com as recomendações contidas no manual da

linhagem (Tabela 1). O selênio orgânico e a vitamina E foram incorporados nas dietas de forma *on top*, através da adição de aditivos comerciais (Adisseo, Brasil).

A suplementação de selênio orgânico e vitamina E teve início aos 85 dias de gestação, sendo fornecidos na primeira oferta de ração do dia, durante todo o período experimental. Visando garantir a ingestão de selênio orgânico e/ou vitamina E, a quantidade ofertada dos aditivos foi previamente diluída em parte da ração e colocada no comedouro. O resfriamento adiabático utilizado para as fêmeas ConRA foi realizado a partir de equipamento DuctoFan (Axial Munters, Marau – RS, Brasil), com ventilação localizada na cernelha das fêmeas a partir do alojamento no galpão de maternidade.

No momento da transferência para o galpão maternidade, aos 110 dias de gestação, as matrizes foram pesadas individualmente e a espessura de toucinho foi mensurada no ponto P2, obtido a 6,5 cm da linha média lombar a partir da última costela, em ambos os lados, com o uso do aparelho de ultrassom (Preg-Tone, Renco®, Brasil).

Durante todo o período experimental, foram registrados os dados de temperatura e a umidade por meio de um data logger (Didai Tecnologia Ltda., Campinas, Brasil), posicionado 1 metro acima do piso, sendo as médias de temperatura e umidade de 27,8°C e 78,4%, respectivamente. Os valores mínimos e máximos observados ao longo do experimento foram de 23,5 e 34,1 °C, para temperatura, e de 51,8 e 97,6%, para umidade relativa.

Os parâmetros fisiológicos foram mensurados em quatro porcas de cada tratamento, selecionadas de acordo com o peso corporal e espessura de toucinho, aos 7, 14 e 21 dias após o parto, em três horários distintos (8, 12 e 16h), calculando-se os valores médios diários. A temperatura retal foi aferida por meio de um termômetro clínico veterinário, introduzido no reto das matrizes, durante 1 minuto. Para a frequência respiratória foi realizada a contagem dos movimentos do flanco das fêmeas durante 15 s, extrapolando-se os valores para 1 min. As temperaturas superficiais da nuca, pernil e glândula mamária das porcas foram verificadas por meio de um termômetro infravermelho laser (Raytec Minitemp MT4, São Paulo, Brasil).

Ao parto, foram registrados o peso e número de leitões nascidos totais e vivos. Até 48 horas após o nascimento, as leitegadas foram padronizadas entre as porcas do mesmo tratamento e procedeu-se novamente a contagem e pesagem dos leitões. Durante o período experimental, não houve fornecimento de qualquer suplementação alimentar para os leitões e estes tiveram acesso à água *ad libitum*. Todos os leitões que morreram foram pesados, de modo a ter uma estimativa adequada do desenvolvimento da leitegada e da produção de leite.

Após o parto, as porcas receberam ração em um regime alimentar gradual para estimular o aumento da ingestão até o oitavo dia pós-parto, iniciando com 2,0 kg no primeiro dia pós-parto e atingindo 9,0 kg no oitavo dia, mantendo-se constante até o desmame. O consumo de ração foi determinado através da diferença entre o peso da ração fornecida e o peso das sobras recolhidas diariamente.

No 18º dia de lactação, foram coletadas amostras de leite e sangue nas porcas em que foram realizadas as determinações dos parâmetros fisiológicos. Neste mesmo período, foram selecionados dois leitões de cada leitegada dessas matrizes para coleta de sangue. Na coleta do leite, os leitões foram, inicialmente, separados da matriz após o aleitamento e aguardou-se uma média de 50 minutos. Após esse período, aplicou-se 1,0 mL de ocitocina injetável na veia auricular e em seguida foi feita a ordenha manualmente em todos os tetos ativos da porca. As amostras de leite foram homogeneizadas e armazenadas em duplicata em recipientes estéreis à temperatura de -20°C para as posteriores análises. A determinação da composição química do leite foi realizada utilizando-se um analisador automático (Lactoscan Milk Analyzer, Milkotronic Ltda.), sendo determinado o pH, densidade, teores de extrato seco, lipídeo, proteína e lactose.

A coleta de sangue foi realizada através de punção na veia jugular com auxílio de seringas e tubos Vacutainer®. Após esse procedimento, as amostras foram centrifugadas a 4000 RPM durante 5 minutos, em temperatura ambiente, e os sobrenadantes obtidos foram armazenados em tubos Eppendorfs® a -20°C , sendo posteriormente utilizados para determinação dos teores de glutathiona peroxidase (GSH-Px) e superóxido dismutase (SOD).

A atividade de glutathiona peroxidase foi determinada utilizando o kit RANSEL® (RANDOX Laboratories, Reino Unido), de acordo com o método descrito por Paglia e Valentine (1967). A atividade da glutathiona peroxidase foi expressa como UI/mg de proteína.

A atividade da enzima superóxido dismutase foi medida utilizando o kit RANSOD® (RANDOX Laboratories, Reino Unido). Este método emprega xantina e xantina oxidase para produzir radicais superóxido que reagem com o ácido 2-(4-iodofenil)-3-(4-nitrofenil)-5-cloro de feniltetrazol para formar o composto formazan vermelho (McCord & Fridovich, 1969). A atividade da enzima foi medida pelo grau de inibição desta reação a 505nm e expressa em UI/mg de proteína.

Aos 24 dias de idade, os leitões de cada leitegada foram contados, pesados e desmamados. Após o desmame, as matrizes foram pesadas individualmente e a espessura de toucinho foi mensurada no ponto P2. Em seguida, estas fêmeas foram transferidas para o galpão de gestação, onde foram alojadas em gaiolas e passaram a receber 3,0 kg/dia de suas respectivas

dietas experimentais até apresentarem o estro, determinando-se, então, o intervalo desmame-estro (IDE).

Foi estimada a perda de composição corporal das matrizes a partir do peso vivo vazio (PVV, kg) e espessura de toucinho (P2, mm) de acordo com as equações publicadas por Dourmad et al. (1997): proteína (kg) = $2,28 (\pm 2,22) + 0,178 (\pm 0,017) PVV - 0,333 (\pm 0,067) P2$ e lipídeo (kg) = $-26,4 (\pm 4,5) + 0,221 (\pm 0,030) PVV + 1,331 (\pm 0,140) P2$. A estimativa da produção média diária de leite foi baseada no ganho de peso da leitegada, número de leitões e teor de matéria seca do leite (19%), de acordo com a equação de Noblet e Etienne (1986): PEL (kg/dia) = $([0,718 * GPDL - 4,9] * n^{\circ} \text{ de leitões}) / 0,19$.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM (General Linear Models) do Statistical Analysis System (SAS, University Edition), considerando-se as porcas e suas respectivas leitegadas como unidade experimental. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

5.3 Resultados e discussão

Não houve interação significativa entre os grupos experimentais e as ordens de parto sobre os diferentes parâmetros fisiológicos avaliados (Tabela 14). Contudo, observou-se diferença significativa entre os grupos experimentais para temperatura da nuca e retal e frequência respiratória. Também se observou que os parâmetros fisiológicos não variaram entre as ordens de parto.

Entre os grupos experimentais constatou-se que os animais submetidos ao resfriamento adiabático apresentaram melhores condições fisiológicas, visto que a temperatura da nuca e retal e a frequência respiratória foram menores em relação às obtidas pelas fêmeas mantidas sem resfriamento adiabático, com ou sem suplementação de selênio orgânico ou selênio orgânico e vitamina E, cujos resultados não diferiram entre si.

Esses resultados indicaram que as porcas na condição de ambiente sem resfriamento acionam respostas adaptativas ao estresse por calor e que a suplementação de selênio orgânico ou selênio orgânico e vitamina E não contribui para amenizar os efeitos do estresse por calor.

Neste estudo, verificou-se que as porcas de todos os grupos experimentais apresentaram frequência respiratória acima da faixa considerada normal para matrizes suínas lactantes, que é de 15 a 25 movimentos por minuto (HANNAS, 1999; QUINIQU; NOBLET, 1999). No entanto, observou-se que mesmo com o aumento da frequência respiratória, as fêmeas sem o resfriamento adiabático não conseguiram dissipar o calor e apresentaram

temperatura retal acima da normalidade (HANNAS, 1999; QUINIQU; NOBLET, 1999), indicando que estavam em condição de estresse térmico.

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e ordens de parto sobre o desempenho reprodutivo das porcas (Tabela 15). Foram observados efeitos significativos dos grupos sobre a produção diária de leite e intervalo desmame-estro ($P < 0,05$). As matrizes que receberam resfriamento adiabático sem suplementação de selênio orgânico e vitamina E tiveram maior produção diária de leite em relação às fêmeas dos demais grupos. As fêmeas suplementadas com selênio orgânico e vitamina E apresentaram menor IDE em relação às porcas não suplementadas sem resfriamento adiabático. Verificaram-se diferenças significativas entre as ordens de parto ($P < 0,05$), sendo que as matrizes de 3ª e 4ª ordem apresentaram menor peso e espessura de toucinho ao parto e desmame, além de maior produção diária de leite e perda de peso percentual do que as fêmeas acima da 5ª ordem.

O estresse térmico afeta negativamente a capacidade compensatória das porcas e pode levar a um suprimento insuficiente de nutrientes para estas fêmeas e suas leitegadas. Adicionalmente, matrizes suínas hiperprolíficas, quando mantidas sob estresse por calor, apresentam maior produção de espécies reativas de oxigênio, quando comparadas com porcas mantidas em ambiente de termoneutralidade, o que pode levar a um desequilíbrio do sistema antioxidante-pró-oxidante, causando o estresse oxidativo (OZAWA *et al.*, 2002; KIM *et al.*, 2013; SORDILLO; AITKEN, 2009).

Tabela 14 – Grupos experimentais sobre os parâmetros fisiológicos de porcas múltiparas.

Parâmetros	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV % ¹	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	3-4 ^a OP	≥5 ^a OP		Grupos	OP	Grupos*OP ²
7 dias após o parto										
Temperatura, °C										
Nuca	33,68b	35,96a	35,04a	35,05a	34,65	34,66	2,31	0,016	0,969	0,607
Pernil	35,19	36,71	36,22	36,35	36,11	36,12	1,91	0,069	0,995	0,065
Glândula mamária	36,22	37,63	36,91	36,99	36,88	36,92	1,67	0,075	0,725	0,237
Retal	37,24b	38,63a	38,81a	38,82a	37,92	38,08	3,79	0,036	0,214	0,301
FR ³ , mov./min.	44,16b	64,16a	64,22a	66,11a	61,43	61,90	23,45	0,028	0,420	0,473
14 dias após o parto										
Temperatura, °C										
Nuca	33,85b	35,16a	35,28a	34,78a	34,55	34,96	2,44	0,012	0,323	0,021
Pernil	35,57	36,85	36,39	36,31	36,09	36,14	1,42	0,322	0,143	0,826
Glândula mamária	36,31	36,27	37,13	37,11	36,80	36,59	2,88	0,461	0,677	0,152
Retal	36,94b	39,34a	39,81a	39,88a	38,84	39,05	6,34	0,035	0,736	0,753
FR ³ , mov./min.	57,51b	73,08a	71,80a	75,91a	69,81	65,83	26,11	0,045	0,642	0,208
21 dias após o parto										
Temperatura, °C										
Nuca	33,78b	35,24a	35,52a	35,23a	34,75	34,88	2,96	0,013	0,434	0,205
Pernil	35,41	36,48	36,49	36,61	36,15	36,33	2,21	0,156	0,647	0,124
Glândula mamária	36,53	37,32	37,44	37,13	37,02	37,21	1,53	0,153	0,438	0,178
Retal	38,45b	39,29a	39,14a	39,46a	38,95	38,94	6,24	0,006	0,926	0,542
FR ³ , mov./min.	50,41b	74,16a	72,61a	73,51a	65,44	66,22	22,81	0,004	0,141	0,177

¹ Coeficiente de variação. ² Interação entre os grupos experimentais e dias após o parto. ³ Frequência respiratória.

a,b Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

Tabela 15 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre o desempenho zootécnico de porcas multíparas.

Parâmetros	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV ¹ (%)	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	3 ^a -4 ^a	≥5 ^a		Grupos	OP	Grupos* OP ²
Consumo de ração total, kg	131,77	130,10	128,15	130,06	129,41	130,63	9,64	0,806	0,641	0,041
Consumo médio diário, kg	5,48	5,41	5,33	5,41	5,38	5,43	9,64	0,807	0,640	0,041
Produção diária de leite ³ , kg	12,72a	9,87b	10,04b	9,97b	11,99a	9,31b	28,32	0,003	<0,001	0,077
Peso corporal, kg										
Ao parto	281,14	278,85	281,82	280,27	272,65b	288,39a	6,77	0,957	0,001	0,853
Ao desmame	244,56	241,16	246,80	240,36	232,82b	253,62a	9,50	0,761	<0,001	0,517
Perda de peso corporal, kg	34,72	37,69	35,00	37,69	38,71	33,83	39,54	0,821	0,103	0,494
Perda de peso percentual, %	13,01	13,62	12,52	14,19	14,61a	12,05b	42,53	0,767	0,031	0,315
Espessura de toucinho, mm										
Ao parto	17,56	16,72	14,83	16,33	15,31b	17,40a	20,51	0,051	0,003	0,651
Ao desmame	14,74	14,42	13,57	14,18	13,11b	15,35a	23,07	0,678	0,001	0,882
Intervalo desmame estro, dias	4,21ab	4,32a	3,76ab	3,38b	3,92	3,92	27,17	0,014	0,998	0,092
Perda de composição corporal, kg ⁴										
Proteína	27,24	29,83	28,14	29,89	30,52	27,03	38,10	0,799	0,127	0,434
Lipídio	7,67	7,52	6,18	7,93	8,30	6,34	67,63	0,635	0,060	0,974

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre os grupos experimentais e ordens de parto.

³ A estimativa da produção média diária de leite foi baseada no ganho de peso da leitegada (GPD), número de leitões da leitegada e teor de matéria seca do leite (19%), de acordo com a equação de Noblet and Etienne (1986): $PEL (kg/dia) = ([0,718 * GPD - 4,9] * n^{\circ} \text{ de leitões}) / 0,19$.

⁴ A perda de composição corporal das porcas foi estimada a partir do peso vivo vazio (PVV, kg) e espessura de toucinho (P2, mm) de acordo com as equações publicadas por Dourmad et al. (1997): Proteína (kg) = $2,28 (\pm 2,22) + 0,178 (\pm 0,017) PVV - 0,333 (\pm 0,067) P2$ e Lipídeo (kg) = $- 26,4 (\pm 4,5) + 0,221 (\pm 0,030) PVV + 1,331 (\pm 0,140) P2$.

^{a,b} Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

O estresse térmico e oxidativo possuem uma relação direta com o desempenho produtivo e reprodutivo de matrizes suínas (ZHAO; KIM, 2020). De acordo com Surai e Fisinin (2016), as espécies reativas de oxigênio podem interferir em diversos processos fisiológicos, como a maturação de oócitos e apoptose em folículos pré-ovulatórios. Além disso, elevadas temperaturas podem afetar a secreção de FSH e LH pelo eixo hipotálamo-hipófise-gonadal das porcas (FLOWERS *et al.*, 1989; FLOWERS; DAY, 1990) e, portanto, aumentar a incidência de estros tardios, anestros e IDE prolongados (BLACK *et al.*, 1993; FERREIRA *et al.*, 2007). Neste estudo, observou-se que as fêmeas do SeESRA tiveram menor IDE em relação às matrizes do ConSRA, sugerindo que a suplementação de selênio e vitamina E pode ser benéfica na reprodução de porcas alojadas em ambientes com temperaturas mais elevadas.

Neste trabalho, as fêmeas sem resfriamento adiabático tiveram menor produção de leite do que as matrizes do ConRA. Isso pode ter ocorrido pois, em condições de estresse térmico, há um redirecionamento do fluxo sanguíneo da glândula mamária para a pele, na tentativa de regular a temperatura corporal, causando decréscimo na disponibilidade de nutrientes para síntese do leite (BARB *et al.*, 1991; BLACK *et al.*, 1993). De acordo com Chen *et al.* (2019), a produção de leite também é afetada pelo estresse oxidativo, pois a síntese de peptídeos do leite pode ser bloqueada quando as espécies reativas de oxigênio são produzidas além da capacidade antioxidante celular das porcas. Ao avaliarem os efeitos da suplementação de selênio e vitamina E no final da gestação de vacas e ovelhas, respectivamente, Moeni *et al.* (2009) e Meyer *et al.* (2011) verificaram que a produção de leite melhorou notoriamente. No entanto, ainda não há na literatura estudos que avaliam os possíveis efeitos do fornecimento destes aditivos sobre a produção de leite em suínos. Neste trabalho, como as porcas do SeSRA e SeESRA não diferiram das matrizes do ConSRA, pode-se inferir que os níveis fornecidos de selênio e vitamina E podem ter sido insuficientes para reduzir os efeitos deletérios do estresse oxidativo nestas fêmeas.

Renaudeau *et al.* (2011) relataram que porcas lactantes alojadas em galpões com temperatura elevada apresentaram menor consumo de ração e maior mobilização corporal do que o grupo controle. Neste estudo, no entanto, não houve diferenças entre os grupos sobre o peso corporal e perda de peso percentual das matrizes durante a lactação. Isso pode ter ocorrido, pois as fêmeas sem resfriamento adiabático tiveram produção de leite reduzida, enquanto o consumo de ração não foi significativamente diferente entre os grupos.

Foram observadas interações ($P < 0,05$) entre os grupos experimentais e ordens de parto sobre o tamanho da leitegada ao desmame (Tabela 16). As porcas suplementadas com selênio orgânico e vitamina E de 3ª e 4ª ordem de parto tiveram maior número de leitões

desmamados do que as matrizes acima da 5ª ordem (Tabela 17). Observou-se efeito dos grupos e das ordens de parto sobre o peso ao desmame e ganho médio diário (GMD) dos leitões e leitegadas ($P < 0,05$). As leitegadas das fêmeas que receberam ventilação adiabática apresentaram maiores valores para estas variáveis em relação aos outros grupos. Em relação às ordens de parto, observou-se que as porcas de 3ª e 4ª ordem desmamaram leitões e leitegadas com maior peso e GMD.

Os efeitos do estresse térmico e oxidativo nas porcas podem também se estender em suas leitegadas. Zhao *et al.* (2011) observaram que matrizes suínas submetidas ao estresse térmico durante a gestação tiveram menor número de leitões nascidos vivos e maiores concentrações de malondialdeído, proteínas carboniladas e 8-hidroxi-2-deoxiguanosina no sangue em relação ao grupo controle, indicando que o estresse oxidativo pode ter sido uma das causas da redução do desempenho reprodutivo destas fêmeas.

Ao analisar a relação entre estresse oxidativo e suplementação dietética de substâncias com propriedades antioxidantes sobre o desempenho de porcas e suas leitegadas, Fortier *et al.* (2012) verificaram que o fornecimento de 0,3 mg/kg de selênio para as matrizes do estro até os 30 dias de gestação promoveu considerável aumento nas quantidades de DNA e proteína embrionária, o que foi correlacionado com maior número de células embrionárias e, conseqüentemente, maior tamanho de leitegada. Neste estudo, no entanto, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos experimentais sobre o número de nascidos totais e vivos, corroborando com Chen *et al.* (2019), que relataram que não houve efeito do fornecimento de 0,3 e 1,2 mg/kg de selênio para fêmeas suínas submetidas ou não ao estresse térmico. Isso pode ser justificado, pois o número de embriões e fetos viáveis são consideravelmente afetados quando as porcas são expostas ao estresse no terço inicial da gestação (EDWARDS *et al.*, 1968).

Tabela 16 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre o desempenho das leitegadas de porcas multíparas.

Parâmetros	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV ¹ (%)	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	3 ^a -4 ^a	≥5 ^a		Grupos	OP	Grupos *OP ²
Tamanho da leitegada, n										
Ao parto total	14,95	16,45	16,12	15,49	15,74	15,77	18,92	0,327	0,963	0,305
Ao parto vivo	14,39	14,91	14,90	14,23	14,70	14,51	18,42	0,760	0,725	0,527
48h após o parto	13,41	13,00	13,08	12,95	13,14	13,08	5,31	0,106	0,685	0,085
Ao desmame	11,54	10,71	10,81	10,69	11,44	10,43	15,07	0,242	0,004	0,020
Peso médio do leitão, kg										
Ao parto	1,42	1,46	1,42	1,41	1,46	1,39	14,93	0,917	0,116	0,443
48h após o parto	1,60	1,51	1,56	1,57	1,55	1,57	17,44	0,746	0,716	0,235
Ao desmame	7,01a	6,30b	6,33b	6,23b	6,71a	6,22b	11,37	0,001	0,001	0,501
Ganho médio diário do leitão, kg	0,245a	0,217b	0,216b	0,207b	0,234a	0,208b	12,05	<0,001	<0,001	0,175
Peso da leitegada, kg										
Ao parto	19,39	21,09	20,61	19,79	20,81	19,62	18,36	0,394	0,125	0,538
48h após o parto	21,53	19,83	20,53	20,49	20,52	20,67	18,81	0,510	0,854	0,179
Ao desmame	80,74a	67,63b	68,93b	68,70b	77,03a	65,97b	19,55	0,004	0,003	0,146
Ganho médio diário leitegada, kg	2,69a	2,17b	2,19b	2,18b	2,56a	2,05b	23,63	0,002	<0,001	0,081

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre os grupos experimentais e ordens de parto.

^{a,b} Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

Tabela 17 – Desdobramento da interação entre os grupos experimentais e ordens de parto de porcas multíparas sobre o tamanho da leitegada ao desmame.

	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA
3 ^a -4 ^a ordem de parto	12,00A	10,33A	11,72A	11,72A
≥5 ^a ordem de parto	11,08A	11,09A	10,25A	9,66B

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

As matrizes do ConRA desmamaram leitões mais pesados e com maior GMD em relação aos outros grupos, corroborando com os resultados relatados por Justino *et al.* (2015). Quando não há fornecimento de nenhum tipo de suplementação ou sucedâneo para os leitões, o desempenho destes animais reflete diretamente a quantidade e qualidade nutricional do leite das porcas (HURLEY, 2015). Dessa forma, como não foram observadas diferenças significativas na composição nutricional do leite, esse resultado pode ser relacionado com a maior produção de leite das fêmeas do ConRA.

Em relação aos efeitos das ordens de parto, observou-se que as matrizes acima da 5^a ordem apresentaram maior peso e espessura de toucinho ao parto e desmame, corroborando com os resultados verificados por Mellagi *et al.* (2010). Relatos apontam que a eficiência reprodutiva aumenta ao longo da idade e, posteriormente, declina, em razão do intenso desgaste metabólico de fêmeas mais velhas (BIERHALS *et al.*, 2011; MELLAGI *et al.*, 2013), o que pode explicar a maior produção de leite das porcas de 3^a e 4^a ordem de parto e, conseqüentemente, o melhor desempenho de suas leitegadas. Uma síntese de leite mais elevada promove maior grau de mobilização das reservas corporais (WHITTEMORE, 1996), o que justifica a maior perda de peso percentual das matrizes de 3^a e 4^a ordem.

Não foram observados efeitos de interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e ordens de parto sobre a composição do leite (Tabela 18). Verificou-se efeito significativo ($P < 0,05$) da ordem de parto, em que matrizes acima da 5^a ordem apresentaram maior teor de lactose no leite do que as fêmeas de 3^a e 4^a ordem.

Tabela 18 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre a composição do leite de porcas multíparas.

Parâmetros	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV ¹ (%)	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	3 ^a -4 ^a	≥5 ^a		Grupos	OP	Grupos *OP ²
Densidade, g/cm ³	1,00	0,97	1,03	0,99	0,98	1,02	6,42	0,390	0,198	0,896
Extrato seco, %	18,46	17,30	19,75	18,03	18,51	18,26	10,56	0,211	0,753	0,700
Lipídio, %	9,84	8,90	11,01	9,47	10,15	9,45	17,35	0,218	0,327	0,379
Proteína, %	5,49	5,17	5,84	5,37	5,48	5,45	9,71	0,213	0,890	0,780
Lactose, %	5,09	4,98	5,14	5,07	4,92b	5,22a	5,88	0,830	0,023	0,266
pH	5,78	5,65	5,54	5,71	5,67	5,66	4,05	0,370	0,920	0,244

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre os grupos experimentais e ordens de parto.

^{a,b} Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

No presente trabalho, observou-se que as fêmeas acima da 5ª ordem de parto apresentaram maior teor de lactose no leite do que as porcas de 3ª e 4ª ordem, diferindo dos resultados obtidos por Martins *et al.* (2007), que relataram que não houve diferenças significativas entre as ordens do parto sobre a composição de leite. Tendo em vista que a lactose é um dos componentes que menos sofre alterações, pela sua importância na síntese do leite como fator osmótico (GONZÁLEZ; NORO, 2011), sugere-se que mais estudos sejam realizados visando avaliar quais os possíveis efeitos da ordem de paridade das matrizes suínas sobre este parâmetro.

Não houve efeito de interação ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais e as ordens de parto sobre as concentrações sanguíneas das enzimas antioxidantes (Tabela 19). As matrizes do SeESRA apresentaram níveis séricos de glutathione peroxidase (GSH-Px) mais elevados ($P < 0,05$) em relação aos demais grupos experimentais. Porcas do SeESRA apresentaram maior conteúdo de superóxido dismutase (SOD) no sangue do que fêmeas dos grupos ConRA e ConSRA ($P < 0,05$). As leitegadas de fêmeas do grupo SeESRA apresentaram maiores níveis de GSH-Px e SOD ($P < 0,05$) em relação aos demais grupos experimentais com maior concentração desta enzima e da superóxido dismutase em relação aos demais tratamentos.

Neste estudo, a suplementação de selênio e vitamina E para porcas sem resfriamento adiabático promoveu maior concentração das enzimas superóxido dismutase e glutathione peroxidase, aos 18 dias de lactação, indicando que o fornecimento desses nutrientes favorece um status antioxidante superior até mesmo ao de fêmeas que foram alojadas em gaiolas com resfriamento adiabático. Este resultado corrobora com Chen *et al.* (2019), que verificaram melhora na atividade antioxidante de porcas suplementadas com 0,3 e 1,2 mg/kg de selênio, tanto em galpões climatizados quanto sem climatização.

Consistente com a melhora do status antioxidante das matrizes, os leitões destas fêmeas também apresentaram maiores níveis séricos de glutathione peroxidase e superóxido dismutase. Isso indica que, mesmo em condições de estresse térmico, a suplementação dietética de selênio e vitamina E durante o terço final de gestação e lactação pode aumentar a atividade de enzimas antioxidantes não só das porcas, mas também de suas leitegadas, aos 18 dias de idade, favorecendo melhor status antioxidante destes animais em período próximo ao desmame, caracterizado por índices críticos de estresse e desequilíbrio oxidativo.

Tabela 19 – Grupos experimentais e ordens de parto sobre as concentrações sanguíneas de glutatona peroxidase (GSH-Px) e superóxido dismutase (SOD) de porcas múltíparas.

Parâmetros (UI/mg de proteína)	Grupos experimentais				Ordem de parto (OP)		CV ¹ %	P-valor		
	ConRA	ConSRA	SeSRA	SeESRA	3-4 ^a	≥5 ^a		Grupo	OP	Grupo* OP ²
Porcas										
GSH-Px	24,15b	21,98b	25,94b	35,18a	26,84	26,76	4,65	0,002	0,354	0,966
SOD	106,63b	104,98b	111,33ab	125,10a	111,98	112,04	4,66	0,005	0,321	0,353
Leitões										
GSH-Px	22,01b	20,20b	25,15b	32,93a	24,85	25,29	2,65	0,006	0,564	0,866
SOD	104,15b	102,08b	105,06b	110,16a	104,91	105,82	4,66	<0,001	0,456	0,106

¹ Coeficiente de variação.

² Interação entre os grupos experimentais e ordens de parto.

^{a,b} Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

ConRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E com resfriamento adiabático.

ConSRA: Sem suplementação de selênio orgânico e vit. E sem resfriamento adiabático.

SeSRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico sem resfriamento adiabático.

SeESRA: Suplementação de 0,3 mg/kg de selênio orgânico e 90 UI de vit. E sem resfriamento adiabático.

5.4 Conclusão

A suplementação dietética de selênio orgânico e vitamina E reduz o intervalo desmame-estro de fêmeas suínas a partir da 3ª ordem de parto e melhora o status oxidativo das matrizes e seus leitões.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. T.; SARAIVA, A.; LANFERDINI, E.; FONSECA, L. S.; MOREIRA, R. H. R.; SILVA, M. D.; GARBOSSA, C. A. P.; SILVEIRA, H. Aditivos para matrizes suínas em produção. **Colégio Brasileiro de Nutrição Animal**. VI Congresso Latino-Americano de Nutrição Animal, Estância de São Pedro, 2014.
- AFSAL, A.; SEJIAN, V.; BAGATH, M.; KRISHNAN, G.; DEVARAJ, C.; BHATTA, R. Heat stress and livestock adaptation: neuro-endocrine regulation. **International Journal of Veterinary and Animal Medicine**, v.1.2, p.1-8, 2018.
- AKTAN, B., TAYSI, S., GUMUSTEKIN, K., BAKAN, N., SUTBEYAZ, Y. Evaluation of oxidative stress in erythrocytes of guinea pigs with experimental otitis media and effusion. **Annals of Clinical & Laboratory Science**, v.33, n.2, p.232-236, 2003.
- AMIT-ROMACH, E.; SKLAN, D.; UNI, Z. Microflora ecology of the chicken intestine using 16S ribosomal DNA primers. **Journal Poultry Science**, v.83, p.1093-1098, 2004.
- AMMERMAN, C.B., BAKER, D.H., LEWIS, A.J. **Bioavailability of nutrients for animals: amino acids, minerals and vitamins**. San Diego: Academic Press, 1995. 441p.
- ANDRADE, T.S.; WATANABE, P.H.; ARAÚJO, L.R.S.; EVANGELISTA, J.N.B.; FREITAS, E.R. Betaína em rações para fêmeas suínas de primeiro e segundo ciclo reprodutivo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, 2016.
- ARAÚJO, G. G. A. **Suplementação de leveduras vivas (*Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*) na dieta de fêmeas suínas durante o verão**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.
- ASHRAE. Thermal comfort. ASHRAE Fundamentals. Chapter 8. Atlanta, 2001.
- BABIOR, B. M. Superoxide: a two-edged sword. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 30, p. 141-155, 1997.
- BARB, C.R.; ESTIENNE, M.J.; KRAELING, R.R.; MARPLE, D.N.; RAMPACEK, G.B.; RAHE, C.H.; SARTIN, J.L. Endocrine changes in sows exposed to elevated ambient temperature during lactation. **Domestic Animal Endocrinology**, v.8, p.117-127, 1991.
- BARBOSA, K. B. F.; COSTA, N. M. B.; ALFENAS, R. D. C. G.; DE PAULA, S. O.; MINIM, V. P. R.; BRESSAN, J. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 4, p. 629-643, 2010.
- BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 113, 2006.
- BELLEGO, L. Le.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Effect of high temperature and lowprotein diets on the performance of growing-finishing pigs1. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 3, p.691-701, 2002.

BERCHIERI-RONCHI, C.B.; KIM, S.W.; ZHAO, Y.; CORREA, C.R.; YEUM, K.J.; FERREIRA, A.L.A. Oxidative stress status of highly prolific sows during gestation and lactation. **Animal**, v. 5, n. 11, p. 1774-1779, 2011.

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**, v. 4, n. 7, p. 1167-1183, 2010.

BERTOLDO, M. J.; HOLYOAKE, P. K.; EVANS, G.; GRUPEN, C. G. Seasonal variation in the ovarian function of sows. **Reproduction Fertility and Development**, v. 24, p. 822-834, 2012.

BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 12, p. 123-130, 1999.

BIANCONI, C. **Avaliação da suplementação com levedura viva sobre a imunidade de éguas gestantes e potros**. 2019, 92 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Programa de Pós-graduação em Nutrição e Produção Animal, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019.

BIERHALS, T.; MELLAGI, A.P.G.; HEIM, G.; BERNARDI, M.L.; WENTZ, I.; BORTOLOZZO, F.P. Desempenho de leitegadas após a uniformização cruzada de leitões entre fêmeas de ordem de parto 1 e 5. **Acta Scientiae Veterinariae**, v.39, p.1-5, 2011.

BIERHALS, T.; MELLAGI, A.P.G.; HEIM, G.; BERNARDI, M.L.; WENTZ, I.; BORTOLOZZO, F.P. Desempenho de leitegadas após a uniformização cruzada de leitões entre fêmeas de ordem de parto 1 e 5. **Acta Scientiae Veterinariae**, v.39, p.1-5, 2011.

BLACK, J.L.; MULLAN, B.P.; LORSCHY, M.L.; GILES, L.R. Lactation in the sow during heat stress. **Livestock Production Science**, v. 35, n. 1-2, p. 153-170, 1993.

BORTOLOZZO, F. P; KUMMER, A. B. H. P.; LESSKIU, P. E.; WENTZ, I. Estratégias de redução do catabolismo lactacional manejando a ambiência na maternidade. MEATWORD: O Mega Portal da Produção de carne Brasileira. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/5513889/estrategias-de-reducao-do-catabolismo-lactacional-suinotec>. Acesso em 20/09/2011.

BORTOLOZZO, F.P.; GAGGINI, T. S.; WENTZ, I. Infertilidade sazonal no suíno: caracterização e consequências durante a fase gestacional. VI SINSUI – SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 2011, Porto Alegre. **Anais [...]** Porto Alegre: Setor de Suínos – FaVet/UFRGS, 2011. p.117-131.

BOYD, R.D.; TOUCHETTE, K.J.; CASTRO, G.C; JONHSTON, M.E.; LEE, K.U. e HAM, I.K. Recent advances in amino acid and energy nutrition of prolific sows – review. **Journal of Animal Science**, v. 78, p. 1638-1652, 2000.

BRIDI, A. M. Adaptação e aclimação animal. Apostila de Bioclimatologia. Disponível em: http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Bioclimatologia_arquivos/AdaptacaoeAclimatacaoAnimal.pdf. Acesso em 24/09/2021.

BROWN-BRANDL, T. M.; NIENABER, J. A.; XIN, H.; GATES, R. S. A literature review of swine heat production. **Transactions of the ASAE**, v. 47, n. 1, p. 259, 2004.

BUTS, J. P. Ejemplo de un medicamento probiótico: *Saccharomyces boulardii* liofilizada. **Revista de Gastroenterología del Perú**, v. 25, n. 2, p. 176-188, 2005.

BUTS, J. P.; KEYSER, N. Effects of *Saccharomyces boulardii* on intestinal mucosa. **Digestive Diseases and Sciences**, v. 51, n. 8, p. 1485-1492, 2006.

BUTS, J. P.; KEYSER, N.; RAEDEMAEKER, L. *Saccharomyces boulardii* enhances rat intestinal enzyme expression by endoluminal release of polyamines. **Pediatric Research**, v. 36, n. 4, p. 522-527, 1994.

CABEZÓN, F.A.; STEWART, K.R.; SCHINCKEL, A.P.; RICHERT, B.T. Effects of betaine and heat stress on lactation and postweaning reproductive performance of sows. **The Professional Animal Scientist**, v. 33, n. 2, p. 241-253, 2017.

CAMPOS, P. F. **Suplementação de vitamina E e selênio orgânico em Dietas com ractopamina para suínos em terminação**. 2013. 93 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CAMPOS, P. H. R. F.; FLOC'H, L.; NOBLET, J.; RENAUDEAU, D. Physiological responses of growing pigs to high ambient temperature and/or inflammatory challenges. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 6, p.537-544, 2017.

CAMPOS, P. H. R. F.; LABUSSIÈRE, E.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, J.; DUBOIS, S.; RENAUDEAU, D.; NOBLET, J. Effects of ambient temperature on energy and nitrogen utilization in lipopolysaccharide-challenged growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 11, p. 4909-4920, 2014.

CAMPOS, P. H. R. F.; NOBLET, J.; JAGUELIN-PEYRAUD, Y.; GILBERT, H.; MORMÈDE, P.; DE OLIVEIRA DONZELE, R. F. M.; RENAUDEAU, D. Thermoregulatory responses during thermal acclimation in pigs divergently selected for residual feed intake. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 7, p. 1545-1557, 2014.

CASTELLI, R. M. **Sinergismo dos probióticos *Saccharomyces boulardii* e *Bacillus cereus* var. *Toyoï* sobre a imunomodulação em camundongos**. 2011. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

CATANIA, A.S.; BARROS, C.R.; FERREIRA, S.R.G. Vitaminas e minerais com propriedades antioxidantes e risco cardiometabólico: controvérsias e perspectivas. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 53, n. 5, p. 550-559, 2009.

CATANIA, A.S.; BARROS, C.R.; FERREIRA, S.R.G. Vitaminas e minerais com propriedades antioxidantes e risco cardiometabólico: controvérsias e perspectivas. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 53, n. 5, p. 550-559, 2009.

CHAMBERS, S.T.; KUNIN, C.M. The osmoprotective proprieties of urine for bacteria: the protective effect of betaína and human urine against low pH and high concentrations of electrolytes, sugars and urea. **Journal of Infectious Diseases**, v. 152, p. 1308-1316, 1985.

CHEN, J.; HAN, J.H.; GUAN, W.T.; CHEN, F.; WANG, C.X.; ZHANG, Y.Z.; LIN, G. Selenium and vitamin E in sow diets: I. Effect on antioxidant status and reproductive performance in multiparous sows. **Animal Feed Science and Technology**, v. 221, p. 111-123, 2016.

CHEN, J.; ZHANG, F.; GUAN, W.; SONG, H.; TIAN, M.; CHENG, L.; SHIA, K; SONG, J.; CHENA, F.; ZHANG, S.; YANG, F.; RENA, C.; ZHANG, Y. Increasing selenium supply for heat-stressed or actively cooled sows improves piglet preweaning survival, colostrum and milk composition, as well as maternal selenium, antioxidant status and immunoglobulin transfer. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 52, p. 89-99, 2019.

CHOCT, M. Managing gut health through nutrition. **Journal British Poultry Science**, v.50, n. 1, p. 9-15, 2009.

CLARKSON, P. M.; THOMPSON, H. S. Antioxidants: what role do they play in physical activity and health? **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 72, n. 2, p. 637S-646S, 2000.

CLOSE, W.H. The role of trace mineral proteínates in pig nutrition. In: LYONS, T.P., JACQUES, K.A. **Biotechnology in the Feed Industry**. Nottingham University Press. Nottingham, UK, p.469-483. 1998.

COLLIN, A.; VAZ, M.; DIVIDICH, J. Effects of high temperature on body temperature and hormonal adjustments in piglets. **Reproduction Nutrition Development**, v. 42, n. 1, p.45-53, 2002.

DALTO, D.B., ROY, M., AUDET, I., PALIN, M.F., GUAY, F., LAPOINTE, J., MATTE, J.J. Interaction between vitamin B6 and source of selenium on the response of the selenium-dependent glutathione peroxidase system to oxidative stress induced by oestrus in pubertal pig. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.32, p.21-29, 2015.

DE RENSIS, F.; ZIECIK, A. J.; KIRKWOOD, R. N. Seasonal infertility in gilts and sows: Aetiology, clinical implications and treatments. **Theriogenology**, v. 96, p. 111-117, 2017.

DEBLANC, C.; ROBERT, F.; PINARD, T.; GORIN, S.; QUÉQUINER, S.; GAUTIER-BOUCHARDON, A.V.; FERRÉ, S.; GARRAUD, J.M.; CARIOLET, R.; BRACK, M.; SIMON, G. Pre-infection of pigs with *Mycoplasma hyopneumoniae* induces oxidative stress that influences outcomes of a subsequent infection with a swine influenza virus of H1N1 subtype. **Veterinary Microbiology**, v.162, p.643-651, 2013.

DOURMAD, J.Y.; ETIENNE, M.; NOBLET, J.; CAUSEUR, D. Prediction de la composition chimique des truies reproductrices a partir du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal. **Journées de la Recherche Porcine**, v. 29, p. 255-262, 1997.

EDWARDS, R.; OMTVEDT, I.T.; TUESMAN, E.J.; STEPHENS, D.F.; MAHONEY, G.W.A. Reproductive performance of gilts following heat stress prior to breeding and in early gestation. **Journal of Animal Science**, v. 27, n. 6, p. 1634-1637, 1968.

EKLUND, M.; BAUER, E.; WAMATU, J.; MOSENTHIN, R. Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. **Nutrition Research Reviews**, v. 18, p. 31-48, 2005.

FALOWO, A.B.; FAYEMI, P.O.; MUCHENJE, V. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. **Food Research International**, v.64, p. 171-181, 2014.

FERNANDEZ-FIGARES, I.; WRAY-CAHEN, D.; STEELE, N. C.; CAMPBELL, R. G.; HALL, D. D.; VIRTANEN, E.; CAPERNA, T. J. Effect of dietary betaine on nutrient utilization and partitioning in the young growing feed-restricted pig. **Journal of Animal Science**, v. 80, p.421-428, 2002.

FERREIRA, A. L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 61-68, 1997.

FERREIRA, A. S.; ARAÚJO, W. A. G.; SILVA, B. A. N.; BATISTA, R. M. Nutrição e manejo a alimentação de porcas na gestação e lactação em momentos críticos. **Seminário de Aves e Suínos-Avisui**, v. 7, p. 71-95, 2007.

FERREIRA, R. A. Criação de Suínos em Clima Quente. **II Semana de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**, 2002. Itapetinga: Editora UESB, 2002. v. 1. p. 73-101.

FERRONI, M.; AGAZZI, A.; INVERNIZZI, G.; SAVOINI, G.; CHEVAUX, E.; LE TREUT, Y. Inclusion of live yeast *S. cerevisiae* boulardii (CNCM I-1079) in sow lactation diets: effects on sows and nest performances. **Journal of Animal Science**, v. 87, 491, 2009.

FLOWERS, B.; CANTLEY, T.C.; MARTIN, M.J.; DAY, B.N. Effect of elevated ambient temperatures on puberty in gilts. **Journal of Animal Science**, v.67, p.779-784, 1989.

FLOWERS, B.; DAY, B.N. Alterations in gonadotropin secretion and ovarian function in prepubertal gilts by elevated environmental temperature. **Biology of Reproduction**, v.42, p.465-471, 1990.

FORTIER, M.E.; AUDET, I.; GIGUÈRE, A.; LAFOREST, J.P.; BILODEAU, J.F.; QUESNEL, H.; MATTE, J.J. Effect of dietary organic and inorganic selenium on antioxidant status, embryo development, and reproductive performance in hyperovulatory first-parity gilts. **Journal of Animal Science**, v. 90, p.231-240, 2012.

FREITAS, E. R.; RABELLO, C. B-V; WATANABE, P. H. Probióticos e Prebióticos na nutrição de monogástricos. In: **Nutrição de Não Ruminantes**. Funep: Jaboticabal, 2014. p.485-510.

FURLAN, L.F.; MACARI, M. Termoregulação. IN: FURLAN, L. F.; MACARI, M.; GONZALES, E. **Fisiologia Aviária aplicada a frangos de corte**. 2ed. Jaboticabal: Funesp,2002. p.209-230.

GATFORD, K.L.; DE BLASIO, M.J.; ROBERTS, C.T. et al. Responses to maternal GH or ractopamine during early-mid pregnancy are similar in primiparous and multiparous pregnant pigs. **Journal of Endocrinology**, v. 203, p.143–154, 2009.

GAVA, D.; HEIM,G.; WENTZ, I.; BORTOLOZZO, F.P. Cuidados com a fêmea desde o período pré-parto até o desmame. In: BORTOLOZZO, F.P.; WENTZ,I. **Suinocultura em ação** - A fêmea suína em lactação. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, 2010. p.119-66.

GONZÁLEZ, F.H.D.; NORO, G. Variações na composição do leite no subtropical brasileiro. In: GONZÁLEZ, F.H.D.; PINTO, A.T.; ZANELLA, M.B.; FISCHER, V.; BONDAN, C. **Qualidade do leite bovino: variações no trópico e no subtropical**, Passo Fundo: UPF Editora, p.28-53, 2011.

GOURDINE, J.L.; BIDANEL, J.P.; NOBLET, J.; RENAUDEAU, D. Effects of breed and season on performance of lactating sows in a tropical humid climate. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 2, p. 360-369, 2006.

HAESE, D.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M.; KILL, J.L.; SILVA, F.C.O.; SANTOS, F.A.; ABREU, M.L.T. Avaliação de rações de alta densidade nutricional para porcas em lactação no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.7, p.1503-1508, 2010.

HALE, B.J.; HAGER, C. L.; SEIBERT, J. T.; SELSBY, J. T.; BAUMGARD, L. H.; KEATING, A. F.; ROSS, J. W. Heat stress induces autophagy in pig ovaries during follicular development. **Biology of Reproduction**, v. 97, n. 3, p. 426-437, 2017.

HALL, D. M.; BAUMGARDNER, K. R.; OBERLEY, T. D.; GISOLFI, C. V. Splanchnic tissues undergo hypoxic stress during whole body hyperthermia. **The American Journal of Physiology**, v. 276, p. 1195–1203, 1999.

HALLIWELL, B.; WHITEMAN, M. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean?. **British Journal of Pharmacology**, v. 142, n. 2, p. 231-255, 2004.

HANNAS, M.I. Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: SILVA, I.J.O. (Ed.) **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", p.1-33, 1999.

HARDY, B. The issue of antibiotic use in the livestock industry: what have we learned? **Animal Biotechnology**. V.13 p.129-47. 2006.

HEO, J. M.; OPAPEJU, F. O.; PLUSKE, J. R.; KIM, J. C.; HAMPSON, D. J.; NYACHOTI, C. M. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobials. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.97, p.207-237, 2013.

HILL, R.W.; WYSE, G.A.; ANDERSON, M. **Fisiologia animal**, 2ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2012. 1023p.

HORWAT, D. E. G.; POLTRONIERI, P. T., NACK, D. C. R. D.; BRUM, J. S. Vitaminas e minerais na nutrição de suínos: revisão de literatura. **Nutrime**, v. 16, n. 4, p. 8498-8507, 2019.

HU, H.; WANG, M.; ZHAN, X.; LI, X.; ZHAO, R. Effect of different selenium sources on productive performance, serum and milk Se concentrations, and antioxidant status of sows. **Biological Trace Element Research**, v. 142, n. 3, p. 471-480, 2011.

HUANG, Q.C.; XU, Z.R.; HAN, X.Y.; LI, W.F. Effect of betaine on growth hormone pulsatile secretion and serum metabolites in finishing pigs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 91, p.85–90, 2007.

HUANG, Q.C.; XU, Z.R.; HAN, X.Y.; LI, W.F. Effect of dietary betaine supplementation on lipogenic enzyme activities and fatty acid synthase mRNA expression in finishing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.140, p. 365–375, 2008.

HURLEY, W.L. Composition of sow colostrum and milk. In: FARMER, C. (Ed.). **The Gestating and Lactating Sow**. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 2015, pp.115–127.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª Ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2005. 1020p.

JANG, Y.D.; KANG, K.W.; PIAO, L.G.; JEONG, T.S.; AUCLAIR, E.; JONVEL, S.; KIM, Y.Y. Effects of live yeast supplementation to gestation and lactation diets on reproductive performance, immunological parameters and milk composition in sows. **Livestock Science**, v. 152, n. 2-3, p. 167-173, 2013.

JIMENEZ, G.; BLANCH, A.; CASTILLO, M.; MESSEGER, B. Efficacité du probiotique *Bacillus cereus* var. *toyoi* en truies. **Journées Recherche Porcine**, v. 40, p. 225-226, 2008.

JURGENS, M.H.; RIKABI, R.A.; ZIMMERMAN, D.R. The effect of dietary active dry yeast supplement on performance of sows during gestation-lactation and their pigs. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 3, p. 593-597, 1997.

JUSTINO, E.; NÄÄS, I. A.; CARVALHO, T. M. R.; SALGADO, D. A. Efeito do resfriamento evaporativo e do balanço eletrolítico sobre a lactação de porcas em condições de verão tropical. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 2, p. 455-464, 2015.

JUSTINO, E.; NÄÄS, I.A.; CARVALHO, T.M.R.; SALGADO, D.A. Efeito do resfriamento evaporativo e do balanço eletrolítico sobre a lactação de porcas em condições de verão tropical. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 2, p. 455-464, 2015.

KAUFFOLD, J.; GOTTASCHALK, J.; SCHNEIDER, F.; BEYNON, N.; WÄHNER, M. Effects of feeding level during lactation on FSH and LH secretion patterns. **Reproduction Domestic Animals**, v. 43, p. 234-238, 2008.

KEMP, B.; WIENTJES, A. J.; LEEUWEN, V.; HOVING, L.; SOEDE, N. Key factors to improve production and longevity of primiparous sows. In: Simpósio Internacional de Suinocultura. Produção, Reprodução e Sanidade Suína, 6, 2011, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, p.13-22, 2011.

KIM, S. W.; EASTER, R. A. 12 Amino Acid Utilization for Reproduction in Sows. **Amino Acids in Animal Nutrition**, v. 203, 2003.

KIM, S.W.; WEAVER, A.C.; SHEN, Y.B.; ZHAO, Y. Improving efficiency of sow productivity: nutrition and health. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 4, n. 26, p. 1-8, 2013.

KLASING, K. C.; ADLER, K. L.; REMUS, J. C.; CALVERT, C.C. Dietary betaína increases intraepithelial lymphocytes. **Journal of Nutrition**, v. 132, p. 2274-2282, 2002.

KOKETSU, Y.; DIAL, G. D.; PETTIGREW, J. E.; KING, V. L. Feed intake pattern during lactation and subsequent reproductive performance of sows. **Journal Animal Science**, v. 74, 1996.

KOURY, J. C.; DONANGELO, C. M. Zinco, estresse oxidativo e atividade física. **Revista de Nutrição**, v. 16, n. 4, p. 433-41, 2003.

LAGANÁ, C.; NÃÃS, I. A.; TOLON, Y. B. Lámina de agua em corrales de gestación para suínos. **Agro-ciencia**, Chile, v.14, n.1, p.79-83, 1998.

LAMBERT, G. P.; GISOLFI, C. V.; BERG, D. J.; MOSELEY, P. L.; OBERLEY, L. W.; KREGEL, K. C. Selected contribution: Hyperthermia-induced intestinal permeability and the role of oxidative and nitrosative stress. **Journal of Applied Physiology**, v.92, p.1750–1761, 2002.

LEESON, S., SUMEERS, J.D. **Nutrition of the chicken**. 4^a Edition. Guelph, Ontario: University Books, 2001. 591p.

LIAO, S F.; NYACHOTI, M. Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. **Animal Nutrition**, v. 3, n. 4, p. 331-343, 2017.

LIMA, A. L.; OLIVEIRA, R. F. M. D.; DONZELE, J. L.; FERNANDES, H. C.; CAMPOS, P. H.; ANTUNES, M. V. D. L. Resfriamento do piso da maternidade para porcas em lactação no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, n.4, p.804-811, 2011.

LIMA-VERDE, I.B.; BRUNO, J.B.; MATOS, M.H.T.; RODRIGUES, A.P.R.; FIGUEIREDO, J.R.; OLIVEIRA, M.A.L.; LIMA, P.F. Implicações do estresse oxidativo no ovário e no embrião mamífero. **Medicina Veterinária**, v.1, n.1, p.81-88, 2007.

- LIPÍŃSKI, K.; ANTOSZKIEWICZ, Z.; MAZUR-KUŚNIREK, M.; KORNIEWICZ, D.; KOTLARCZYK, S. The effect of polyphenols on the performance and antioxidant status of sows and piglets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 18, n. 1, p. 174-181, 2019.
- LOPES, T. R.; PINTO, M. A. O. Aplicação terapêutica de *Saccharomyces boulardii* em diarreias: uma revisão. **HU Revista**, v. 6, n.2, p.107-122, 2010.
- LU, H.; WILCOCK, P.; ADEOLA, O.; AJUWON, K.M. Effect of live yeast supplementation to gestating sows and nursery piglets on postweaning growth performance and nutrient digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 6, p. 2534-2540, 2019.
- MAHAN, D.C. Effect of organic and inorganic selenium sources and levels on sow colostrum and milk selenium content. **Journal of Animal Science**, v.78, p.100-105. 2000.
- MAHAN, D.C., MOXON, A.L., HUBBARD, M. Efficacy of inorganic selenium supplementation to sow diets on resulting carry-over to their progeny. **Journal of Animal Science**, v.45, p.738-746. 1977.
- MANNO, M.C.; OLIVEIRA, R. F. M. D.; DONZELE, J. L.; OLIVEIRA, W. P. D.; VAZ, R. G. M. V.; SILVA, B. A. N.; LIMA, K. R. D. S. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2, p.471-477, 2006.
- MARTINS, T. D. D.; COSTA, A. N.; SILVA, J. H. V. Respostas termorreguladoras de matrizes suínas híbridas em lactação, mantidas em ambiente quente. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 961-968, 2008.
- MARTINS, T.D.D.; COSTA, A.N.; SILVA, J.H.V.; BRASIL, H.A.; VALENÇA, R.M.B.; SOUZA, N.M. Produção e composição do leite de porcas híbridas mantidas em ambiente quente. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1079-1083, 2007.
- MCCORD, J. M.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte hemoglobin (hemocuprein). **Journal of Biological Chemistry**, v. 244, n. 22, p. 6049-6055, 1969.
- MCDONALD, P.; EDWARDS, R. A.; GREENHALGH, J. F. D.; MORGAN, C. A.; SINCLAIR, L. A.; WILKINSON, R. G. **Animal Nutrition**. 7th edition. Harlow: Prentice Hall/Pearson, 2011. 786p.
- MCDOWELL, L. R. **Vitamins in Animal Nutrition: Comparative Aspects to Human Nutrition**. San Diego: Academic Press, 1989. 423p.
- MELLAGI, A.P.G.; ARGENTI, L.E.; FACCIN, J.E.G.; BERNARDI, M.L.; WENTZ, I.; BORTOLOZZO, F.P. Aspectos nutricionais de matrizes suínas durante a lactação e o impacto na fertilidade. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 38, n. 1, p. 181-209, 2010.
- MELLAGI, A.P.G.; BIERHALS, T.; PANZARDI, A.; GHELLER, N.B.; BERNARDI, M.L.; WENTZ, I.; BORTOLOZZO, F.P. Efeito da ordem de parto e da perda de peso durante a lactação no desempenho reprodutivo subsequente de matrizes suínas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 3, p. 819-825, 2013.

- MÉNDEZ-PALACIOS, N.; MÉNDEZ-MENDOZA, M.; VÁZQUEZ-FLORES, F.; CASTRO-COLOMBRES, J. G.; RAMÍREZ-BRIBIESCA, J. E. Productive and economic parameters of pigs supplemented from weaning to finishing with prebiotic and probiotic feed additives. **Animal Science Journal**, v. 89, n. 7, p. 994-1001, 2018.
- MEYER, A.M.; REED, J.J.; NEVILLE, T.L.; THORSON, J.F.; MADDOCK-CARLIN, K.R.; TAYLOR, J.B.; VONNAHME, K.A. Nutritional plane and selenium supply during gestation affect yield and nutrient composition of colostrum and milk in primiparous ewes. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 5, p. 1627-1639, 2011.
- MOECKEL, G. W.; SHADMAN R, FOGEL JM, SADRZADEH SMH. Organic osmolytes betaine, sorbitol and inositol are potent inhibitors of erythrocyte membrane ATPases. **Life Sciences**, v. 71, p.2413–2424, 2002.
- MOEINI, M.M.; KARAMI, E.; MIKAEILI, H. Effect of selenium and vitamin E supplementation during the late pregnancy on reproductive indices and milk production in heifers. **Animal Reproduction Science**, v.114 p.109–114, 2009.
- MORALES, O.E.S.; GONÇALVES, M.A.D.; STORTI, A.A.; BERNARDI, M.L.; WENTZ, I.; BORTOLOZZO, F.P. Aspectos produtivos de fêmeas suínas e suas leitegadas em diferentes sistemas de ambiência na maternidade. In: Congresso Brasileiro de Veterinários Especialistas em Suínos. 14, 2009. Uberlândia. **Anais...** Belo Horizonte, p.265-266, 2009.
- NÄÄS, I. A.; CALDARA, F. R.; CORDEIRO, A. F. S. Conceitos de ambiência na definição de instalações em suinocultura. **Produção de suínos: teoria e prática**. 1. ed. Brasília: ABCS, 2014. cap. 21, p. 877-884.
- NÄÄS, I.A.; GARCIA, R.G.; GRACIANO, D.E.; SANTANA, M.R.; CALDARA, F.R. Temperatura superficial de porcas em lactação submetidas ao resfriamento adiabático. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 2006-2013, 2013.
- NOBLET, J.; ETIENNE, M. Effect of energy level in lactating sows on yield and composition of milk and nutrient balance of piglets. **Journal of Animal Science**, v.63, p.1888-1896, 1986.
- NWOSE, E.U.; JELINEK, H.F.; RICHARDS, R.S.; KERR, P.G. The ‘vitamin E regeneration system’(VERS) and an algorithm to justify antioxidant supplementation in diabetes–A hypothesis. **Medical Hypotheses**, v. 70, n. 5, p. 1002-1008, 2008.
- OELSCHLAEGER, T. A. Mechanisms of probiotic actions—a review. **International Journal of Medical Microbiology**, v. 300, n. 1, p. 57-62, 2010.
- O'GRADY, J. F.; LYNCH, P. B.; KEARNEY, P. A. Voluntary feed intake by lactating sows. **Livestock Production Science**, v. 12, p. 355-365, 1985.
- OLIVEIRA NETO, A. R.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; FERREIRA, R. A.; ORLANDO, U. A. D. Exigência de metionina + cistina para frangos de corte mantidos em ambiente de estresse de calor. **Anais da XXXVIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Piracicaba-SP : SBZ, 2001.

ORLANDO, U. A. D.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; FERREIRA, R. A.; OLIVERA, A. L. S.; REZENDE, W. O. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho, carcaça e parâmetros fisiológicos de leitoas (30 aos 60 kg) consumindo rações com níveis crescentes de proteína bruta. **XXXVII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 2000, Viçosa-MG.

OZAWA, M.; HIRABAYASHI, M.; KANAI, Y. Developmental competence and oxidative state of mouse zygotes heat-stressed maternally or in vitro. **Reproduction**, v. 124, n. 5, p. 683-689, 2002.

PAPPAS, A.C.; ZOIDIS, E.; SURAI, P.F.; ZERVAS, G. Selenoproteins and maternal nutrition. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 151, n. 4, p. 361-372, 2008.

PARTRIDGE, G.; ANDRADE, E. R.; DURAN, R. G. R. Papel da betaina em los piensos sin promotores de crecimiento. **Revista Ganaderia**, v.12, 2005.

PEARCE, S. C.; MANI, V.; BODDICKER, R. L.; JOHNSON, J. S.; WEBER, T. E.; ROSS, J.W.; RHOADS, R. P.; BAUMGARD, L. H.; GABLER, N. K. Heat stress reduces intestinal barrier integrity and favors intestinal glucose transport in growing pigs. **Journal Plos One**, v.8, n.8, p.70215, 2013.

PEARCE, S. C.; SANZ-FERNANDEZ, M. V.; HOLLIS, J. H.; BAUMGARD, L. H.; GABLER, N. K. Short-term exposure to heat stress attenuates appetite and intestinal integrity in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v.92, p.5444-5454, 2014.

PERDOMO, C. C.; FERNANDES, L. C. D. O.; GUIDONI, A. L.; FIALHO, F. B. Efeito da ventilação natural e mecânica sobre o desempenho de porcas em lactação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 691-699, 1999.

PEREIRA, P. W. Z.; MENTEN, J. F. M.; RACANICCI, A. M. C.; TRALDI, A. B.; SILVA, C. S.; RIZZO, P. V. Avaliação de complexo enzimático e betaína natural em rações para frangos de corte criados em aviário comercial. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 10, p. 2230-2236, 2010.

PERIN, J.; GAGGINI, T.S.; MANICA, S.; MAGNABOSCO, D.; BERNARDI, M.L.; WENTZ, I.; BORTOLOZZO, F.P. Evaporative snout cooling system on the performance of lactating sows and their litters in a subtropical region. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 342-347, 2016.

PERINI, J.A.D.L.; STEVANATO, F.B.; SARGI, S.C.; VISENTAINER, J.E.L.; DALALIO, M.M.D.O.; MATSHUSHITA, M.; SOUZA, N.E.; VISENTAINER, J.V. Ácidos graxos poli-insaturados n-3 e n-6: metabolismo em mamíferos e resposta imune. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 6, p. 1075-1086, 2010.

PINELLI-SAAVEDRA, A., SCAIFE, J. R. Pre-and postnatal transfer of vitamins E and C to piglets in sows supplemented with vitamin E and vitamin C. **Livestock Production Science**, 97, p. 231-240, 2005.

PLAGLIA, D. E.; VALENTINE, W. N. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. **Journal Laboratory Clinical Medicine**, n.1, p. 158-169, 1967.

PRUNIER, A.; MESSIAS DE BRAGANÇA, M.; LE DIVIDICH, J. Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. **Livestock Production Science**, v. 52, p. 123-133, 1997.

PRUNIER, A.; QUESNEL, H. Influence of the nutritional status on ovarian development in female pigs. **Animal Reproduction Science**, v. 60, p. 185-197, 2000.

PRUNIER, A.; QUESNEL, H.; MESSIAS DE BRAGANÇA, M.; KERMABON, A. Y. Environmental and seasonal influences on the return-to-oestrus after weaning in primiparous sows: a review. **Livestock Production Science**. v. 45, p. 103-110, 1996.

QAMAR, A.; ABOUDOLA, S.; WARNY, M.; MICHETTI, P.; POTHOUKAKIS, C.; LAMONT, J.T.; KELLY, C.P. *Saccharomyces boulardii* stimulates intestinal immunoglobulin a immune response to clostridium difficile toxin a in mice. **Infection and Immunity**, v. 69, n. 4, p. 2762-2765, 2001.

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

RAMIS, G.; EVANGELISTA, J.N.B.; QUEREDA, J.J.; PALLARÉS, F.J.; FUENTE, J. M. DE LA; MUÑOZ, A. Use of betaine in gilts and sows during lactation: effects on milk quality, reproductive parameters, and piglet performance. **Journal of Swine Health and Production**. v. 19, n.4, p. 226-232, 2011.

RATRIYANTO, A.; MOSENTHIN, R.; BAUER, E.; EKLUND, M. Metabolic, Osmoregulatory and Nutritional Functions of Betaine in Monogastric Animals. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 22, n. 10, p. 1461 – 1476, 2009.

RAYMAN, M.P. The importance of selenium to human health. **The lancet**, v. 356, n. 9225, p. 233-241, 2000.

REHFELDT, C., KUHN, G., NURNBERG, G. et al. Effects of exogenous somatotropin during early gestation on maternal performance, fetal growth, and compositional traits in pigs. **Journal of Animal Science**, v. 79, p. 1789–1799, 2001.

RENAUDEAU, D.; COLLIN, A.; YAHAV, S.; DE BASILIO, V.; GOURDINE, J.L.; COLLIER, R.J. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, v. 6, p. 707-728, 2011.

RENAUDEAU, D.; GOURDINE, J. L.; ST-PIERRE, N. R. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 7, p. 2220-2230, 2011.

RENAUDEAU, D.; HUC, E.; NOBLET, J. Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs1. **Journal Of Animal Science**, v. 85, n. 3, p.779-790, 2007.

RENAUDEAU, D.; NOBLET, J.; DOURMAD, J. Y. Effect of ambient temperature on mammary gland metabolism in lactating sows. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 1, p. 217-231, 2003.

RHOADS, R. P.; BAUMGARD, L. H.; SUAGEE, J. K. 2011 AND 2012 EARLY CAREERS ACHIEVEMENT AWARDS: Metabolic priorities during heat stress with an emphasis on skeletal muscle^{1,2}. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 6, p.2492-2503, 2013.

RIBEIRO, B.P.V.B. **Estudo metanalítico do estresse por calor na lactação de matrizes suínas**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

RIGO, E. J.; ANTUNES, R. C.; MUNDIM, A. V.; GONÇALVES, F. C.; GUIMARÃES, E. C.; MATTOS NASCIMENTO, M. R. B. Efeito de dois sistemas de resfriamento sobre os hormônios tireoidianos e as variáveis termofisiológicas de matrizes suínas em lactação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, p. 1853-1860, 2019.

ROBERFROID, M. B.; BORNET, F.; BOULEY, C.; COMMINGS, J. H. Colonic Microflora: Nutrition and Health. Summary and Conclusions of an International Life Sciences Institute (ILSI), Workshop held in Barcelona, Spain. **Nutrition Reviews**, v.53, n.5, p.127-130, 1995.

RODRIGUES, N. E. B. **Uso de rações modificadas para suínos em terminação mantidos em ambiente de conforto ou de calor**. 2011. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

RODRIGUES, N.E.B.; ZANGERONIMO, M.G.; FIALHO, E.T. Adaptações fisiológicas de suínos sob estresse térmico. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 7, p. 1197-1211, 2010.

ROHR, S. A.; COSTA, O. A. D.; COSTA, F. A. D. **Bem-estar animal na produção de suínos**: toda granja. Brasília - DF: ABSC, 2016. 594p.

ROLLWAGEN, F.M.; MADHAVAN, S.; SINGH, A.; LI, Y.Y.; WOLCOTT, K.; MAHESHWARI, R. IL-6 protects enterocytes from hypoxia-induced apoptosis by induction of bcl-2 mRNA and reduction of fas mRNA. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 347, p. 1094–1098, 2006.

ROMANINI, C.E.B.; TOLON, Y.B.; NÄÄS, I.A.; MOURA, D.J. Physiological and productive responses of environmental control on housed sows. **Journal of Science Agriculture**, v.65, n.4, p.335-339, 2008.

ROSS, J.W.; HALE, B.J.; GABLER, N.K.; RHOADS, R.P.; KEATING, A.F.; BAUMGARD, L.H. Physiological consequences of heat stress in pigs. **Journal Animal Production Science**, v. 55, p. 1381–1390, 2015.

SARAIVA, E.P.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L. et al. Níveis de Proteína Bruta em Rações para Suínos Machos Castrados em Fase Inicial de Crescimento, mantidos em Ambiente de baixa temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1690-1696, 2003.

SCHNEIDER, C. D.; OLIVEIRA, A. R. Radicais livres de oxigênio e exercício: mecanismos de formação e adaptação ao treinamento físico. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 10, n. 4, p. 308-313, 2004.

SHELTON, N. W.; NELSSSEN, J. L.; TOKACH, M. D. Effects of Dietary Vitamin E Level and Source on Sow, Milk, and Piglet Concentrations of α -tocopherol. **Swine Day**, p.17-27, 2012.

SHELTON, N.W.; DRITZ, S.S.; NELSSSEN, J.L.; TOKACH, M.D.; GOODBAND, R.D.; DEROUCHÉY, J.M.; MAHAN, D.C. Effects of dietary vitamin E concentration and source on sow, milk, and pig concentrations of α -tocopherol. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 10, p. 4547-4556, 2014.

SIES, H. Oxidative stress: from basic research to clinical application. **American Journal of Medicine**, v.91, p.31S-38S, 1991.

SIES, H., STAHL, W. Vitamins E and C, α -carotene, and other carotenoids as antioxidants. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 62, p. 1315-21, 1995.

SILVA, B.A.N.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; FERNANDES, H.C.; ABREU, M.L.T.; NOBLET, J.; NUNES, C.G.V. Effect of floor cooling on performance of lactating sows during summer. **Livestock Science**, v. 105, p. 176-184, 2006.

SILVA, M. L. F.; LIMA, J. A. F.; CANTARELLI, V. S.; AMARAL, N. O.; ZANGERONIMO, M. G.; FIALHO, E. T. Probióticos e antibióticos como aditivos para matrizes e leitões na fase de creche. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2453-2459, 2010.

SOARES, E. L. S. **Efeito da suplementação de β -caroteno e α -tocoferol ao desmame no desempenho reprodutivo das porcas**. 2017. 74 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina Veterinária) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.

SORDILLO, L. M.; AITKEN, S. L. Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v. 128, n. 1-3, p. 104-109, 2009.

SOUZA, V. L. F.; SILVA, R. S. F.; SILVA, C. A.; GASPARINO, E. Vitamina E no desempenho, características de carcaça e qualidade do presunto cozido de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.581-587, 2007.

STAMATI, S.; ALEXOPOULOS, C.; SIOCHU, A.; SAOULIDIS, K.; KYRIAKIS, S. C. Probiosis in sows by administration of *Bacillus toyoi* spores during late pregnancy and lactation: effect on their health status/performance and on litter characteristics. **International Journal of Probiotics and Prebiotics**, v. 1, n. 1, p. 33, 2006.

SURAI, P. F. **Selenium in nutrition and health** (Vol. 974). Nottingham: Nottingham university press, 2006. 381p.

SURAI, P. F.; FISININ, V. I. Selenium in poultry breeder nutrition: An update. **Animal Feed Science and Technology**, v. 191, p. 1-15, 2014.

SURAI, P.F.; FISININ, V.I. Selenium in sow nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, v. 211, p. 18-30, 2016.

SWEENEY, T.; COLLINS, C.B.; REILLY, P.; PIERCE, K.M.; RYAN, M.; O'DOHERTY, J.V. Effect of purified β -glucans derived from *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea* and *Saccharomyces cerevisiae* on piglet performance, selected bacterial populations, volatile fatty acids and pro-inflammatory cytokines in the gastrointestinal tract of pigs. **British Journal of Nutrition**, v. 108, n. 7, p. 1226-1234, 2012.

TEIXEIRA, V.H.; TEIXEIRA, A.S.; LOPES, S.P. Efeito do resfriamento adiabático evaporativo e da ventilação forçada no desempenho de porcas lactantes e suas leitegadas. **Engenharia na Agricultura**, v.12, n.1, p.51-56, 2004.

TOKACH, M.D.; PETTIGREW, J.E; CROOKER, B.A.; DIAL, G.D.; SOWER, A.E. Quantitative influence of lysine and energy intake on yield of milk components in the primiparous sow. **Journal of Animal Science**, v.70, p. 1864, 1992.

TRCKOVA, M.; FALDYNA, M.; ALEXA, Z.; SRAMKOVA-ZAJACOVA, E.; GOPFERT, D.; KUMPRECHTOVA, E.; AUCLAIR and D'INCA. The effects of live yeast *Saccharomyces cerevisiae* on post-weaning diarrhea, immune response and growth performance in weaned piglets. **Journal of Animal Science**, v. 92 p. 767-74 2013.

UNDERWOOD, E.J. **The mineral nutrition of livestock**. 3^a Edition. Wallingford: CABI, 1999. 614p.

UPADHAYA, S. D.; LAGUNA, F. B.; BERTAUD, B.; KIM, I. Multi-strain yeast fraction product supplementation can alleviate weaning stress and improve performance and health of piglets raised under low sanitary conditions. **Journal Science Food Agriculture**, p.6076-6083, 2019.

VAN WETTERE W.H.E.J.; HERDE P.; HUGHES, P.E. Supplementing sow gestation diets with betaine during summer increases litter size of sows with greater numbers of parities. **Animal Reproduction Science**, v.132, p. 44-49, 2012.

VARLEY, M.A.; PRIME, G.R.; SYMONDS, H.W.; FOXCRFT, G.R. Influence of food intake on plasma LH concentration in primiparous sows. **Animal Reproduction Science**, v.41, p.245-253, 1996.

VIEIRA, E. H. M., WATANABE, P. H., ANDRADE, T. S., ARAÚJO, G. G. A., SILVA, B. A. N., PINHEIRO, R. R. S.; MENDONÇA, I. B. Dietary supplementation of sodium butyrate for mixed-parity sows during lactation. **Livestock Science**, p. 103915, 2020.

VINCENT, H. K.; INNES, K. E.; VINCENT, K. R. Oxidative stress and potential interventions to reduce oxidative stress in overweight and obesity. **Diabetes, Obesity and Metabolism**, v. 9, n. 6, p. 813-839, 2007.

VITAGLIANO, L. A. **Levedura hidrolisada na dieta de porcas em lactação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de São Paulo, 2013.

VOHRA, A.; SYAL, P.; MADAN, A. Probiotic yeasts in livestock sector. **Animal Feed Science and Technology**, v. 219, p. 31-47, 2016.

WEGNER, K.; LAMBERTZ, C.; DAŞ, G.; REINER, G.; GAULY, M. Climatic effects on sow fertility and piglet survival under influence of a moderate climate. **Animal**, v. 8, n. 9, p. 1526-1533, 2014.

WHITTEMORE, C.T. Nutrition reproduction interactions in primiparous sows. **Livestock Production Science**, v. 46, n. 2, p. 65-83, 1996.

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

YOUNG, M.G.; TOKACH, M.D.; AHERNE, F.X.; MAIN, R.G.; DRITZ, S.S.; GOODBAND, R.D. e NELSEN, J.L. Comparison of three methods of feeding sows in gestation and the subsequent effects on lactation performance. **Journal of Animal Science**, v. 82, p. 3058-3070, 2004.

ZANELLO, G.; MEURENS, F.; SERREAU, D.; CHEVALEYRE, C.; MELO, S.; BERRI, M.; SALMON, H. Effects of dietary yeast strains on immunoglobulin in colostrum and milk of sows. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v. 152, n. 1-2, p. 20-27, 2013.

ZHAO, Y.; FLOWERS, W. L.; SARAIVA, A.; YEUM, K. J.; KIM, S. W. Effect of social ranks and gestation housing systems on oxidative stress status, reproductive performance, and immune status of sows. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 12, p. 5848-5858, 2013.

ZHAO, Y.; FLOWERS, W.L.; SARAIVA, A.; YEUM, K.J.; KIM, S.W. Effect of heat stress on oxidative stress status and reproductive performance of sows. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 2, p. 108, 2011.

ZHAO, Y.; FLOWERS, W.L.; SARAIVA, A.; YEUM, K.J.; KIM, S.W. Effect of social ranks and gestation housing systems on oxidative stress status, reproductive performance, and immune status of sows. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 12, p. 5848-5858, 2013.

ZHAO, Y.; KIM, S.W. Oxidative stress status and reproductive performance of sows during gestation and lactation under different thermal environments. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 33, n. 5, p. 722, 2020.