



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS

ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS E HORMONAIS PARA O AUMENTO
DA PRODUTIVIDADE DE FÊMEAS SUÍNAS DESMAMADAS

RAFAEL DAL FORNO GIANLUPPI

PORTO ALEGRE

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS

ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS E HORMONAIS PARA O AUMENTO DA
PRODUTIVIDADE DE FÊMEAS SUÍNAS DESMAMADAS

Autor: Rafael Dal Forno Gianluppi

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção
do grau de Doutor em Ciências Veterinárias na área de
Fisiopatologia da Reprodução de Suínos.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pandolfo Bortolozzo

PORTO ALEGRE

2020

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

CIP - Catalogação na Publicação

Gianluppi, Rafael Dal Forno
ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS E HORMONAIAS PARA O AUMENTO
DA PRODUTIVIDADE DE FÊMEAS SUÍNAS DESMAMADAS / Rafael
Dal Forno Gianluppi. -- 2020.
121 f.
Orientador: Fernando Pandolfo Bortolozzo.

Coorientadora: Ana Paula Gonçalves Mellagi.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Veterinária, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Porto Alegre,
BR-RS, 2020.

1. Suínos. 2. Reprodução. 3. Desempenho
reprodutivo. 4. Nutrição. 5. Progestágeno. I.
Bortolozzo, Fernando Pandolfo, orient. II. Mellagi,
Ana Paula Gonçalves, coorient. III. Título.

Rafael Dal Forno Gianluppi

ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS E HORMONAIAS PARA O AUMENTO DA
PRODUTIVIDADE DE FÊMEAS SUÍNAS DESMAMADAS

Aprovado em 13 de Fevereiro de 2020.

APROVADO POR:

Prof. Dr. Fernando Pandolfo Bortolozzo
Orientador e Presidente da Comissão

Prof^a. Dr^a. Andrea Machado Leal Ribeiro
Membro da Comissão

Prof. Dr. Bernardo Garziera Gasperin
Membro da Comissão

Prof. Dr. Thomaz Lucia Junior
Membro da Comissão

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por todas as bênçãos, oportunidade e pessoas que Ele colocou no meu caminho.

À minha família, minha mãe Alice, meu pai Daniel, e meus irmãos Gustavo e Luciana por todo amor e apoio incondicional, sempre me dando forças pra seguir em frente.

À minha namorada, Monike, por ser uma pessoa incrível e sempre disposta a me ajudar durante todo esse tempo. A caminhada teria sido muito mais difícil sem você ao meu lado.

A todos os professores do Setor de Suínos da UFRGS por toda ajuda, orientação e ensinamentos. Agradeço em especial meu orientador Professor Fernando e a minha coorientadora Ana Paula.

Aos meus amigos que fiz na pós-graduação do setor durante esses quatro anos que passei aqui. A parceria de vocês fez o doutorado ser mais divertido e prazeroso.

A todos os funcionários da Master, em especial ao pessoal da granja Caríjos de Papanduva por todo auxílio e disponibilidade para realizarmos os experimentos nessa unidade.

Às empresas Agrocere PIC e MSD Saúde Animal pelo apoio financeiro para a execução dos experimentos.

À CAPES pela concessão da bolsa.

A todos que de alguma forma influenciaram e me ajudaram durante esse período.

RESUMO

ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS E HORMONAIAS PARA O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DE FÊMEAS SUÍNAS DESMAMADAS

Autor: Rafael Dal Forno Gianluppi

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pandolfo Bortolozzo

Coorientador: Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Gonçalves Mellagi

O objetivo do presente estudo foi avaliar diferentes quantidades e tipos de ração durante o intervalo desmame-estro (IDE) e o uso de altrenogest durante a última semana de lactação para melhorar a produtividade de fêmeas suínas desmamadas. O primeiro estudo avaliou duas quantidades (2,7 kg/d e 4,3 kg/d) e dois tipos de ração (gestação e lactação) durante o IDE para primíparas e múltíparas. Houve interação ($P < 0,05$) no consumo de ração. Dentre as fêmeas que receberam 4,3 kg/d, as múltíparas consumiram mais ração durante o IDE quando comparadas às primíparas contudo, no grupo que recebeu 2,7 kg/d não houve diferença entre as ordens de parto ($P > 0,05$). A variação de peso relativa (%) durante o IDE apresentou uma interação tripla onde primíparas recebendo 4,3 kg/d de ração gestação apresentaram menor variação do peso que os demais tratamentos ($P < 0,05$). A quantidade e o tipo de ração não afetaram nenhuma das variáveis reprodutivas ($P > 0,05$). Além disso, não houve interação da quantidade e das classes de perda de condição durante a lactação sobre o IDE, taxa de parto e nascidos totais ($P > 0,05$). Dessa forma, não há necessidade de alimentar fêmeas durante o IDE com 4,3 kg/d, sendo possível utilizar 2,7 kg/d. Devido à alta variabilidade no consumo de ração durante o IDE, um segundo estudo foi realizado com o objetivo de identificar fatores que influenciam este consumo. Para isso, foram utilizadas 600 fêmeas que receberam 4,3 kg/dia durante o primeiro estudo. O consumo de ração foi menor no dia da expressão do estro quando comparado com dois ou três dias antes do estro ($P < 0,05$). Em primíparas, o consumo no IDE foi negativamente afetado por alta espessura de toucinho (ET) aos 112 dias de gestação e alto ET, caliper ou peso corporal ao desmame, lactações curtas e poucos leitões desmamados ($P < 0,05$). Em múltíparas, o consumo foi negativamente afetado por alto ET, caliper e escore corporal visual (ECV) aos 112 dias de gestação, alto ET no momento do desmame e alta perda de reservas corporais durante a lactação ($P < 0,05$). Contudo, não houve diferença na taxa de anestro, parto e número de nascidos ($P > 0,05$). Assim, vários fatores parecem afetar o consumo da fêmea durante o IDE, contudo, no presente experimento, não foram suficientes para afetar o desempenho reprodutivo. O terceiro estudo avaliou o uso de altrenogest durante os últimos sete dias de uma lactação de três semanas sobre o tamanho folicular, tamanho de corpo lúteo e desempenho reprodutivo subsequente. Durante a última semana de lactação, fêmeas tratadas com altrenogest apresentaram menor diâmetro folicular quando comparadas com fêmeas controle ($P < 0,05$). Após o desmame, ocorreu uma inversão no tamanho folicular quando fêmeas tratadas com altrenogest apresentaram um maior tamanho folicular até 24 h antes da ovulação comparada as fêmeas controles ($P < 0,05$). Esse maior tamanho folicular resultou em maior tamanho e menor coeficiente de variação dos corpos lúteos das fêmeas tratadas com altrenogest ($P < 0,05$). Houve menos fêmeas tratadas com altrenogest entrando em estro nos dias três e quatro após o desmame quando comparada ao grupo controle ($P < 0,05$). Contudo, não houve diferença entre os tratamentos no IDE, progesterona sérica, desempenho reprodutivo e peso ao nascer dos leitões ($P > 0,05$). Dessa forma, o uso de altrenogest durante os últimos sete dias de lactação foi eficaz para melhorar as características ovarianas e reduzir a expressão de estro até o quarto dia, porém não melhorou o desempenho reprodutivo e peso ao nascer. Como conclusão geral da tese, durante o IDE pode ser fornecido 2,7 kg/dia de ração gestação para as fêmeas sem prejuízo no desempenho reprodutivo subsequente. Contudo, o uso de altrenogest durante a última semana de lactação não resultou em melhora do desempenho reprodutivo, mas reduziu o número de fêmeas expressando estro do dia dois e três após o desmame.

Palavras chave: Alimentação; progestágeno, Intervalo desmame-estro, nascidos totais, peso ao nascer.

ABSTRACT

NUTRITIONAL AND HORMONAL STRATEGIES TO INCREASE THE PERFORMANCE OF WEANED SOWS

Author: Rafael Dal Forno Gianluppi

Advisor: Prof. Dr. Fernando Pandolfo Bortolozzo

Co-advisor: Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Gonçalves Mellagi

This study aimed to evaluate diet types and amounts during weaning-to-estrus (WEI) and altrenogest treatment during the last week of lactation to improve the reproductive performance of weaned sows. The first trial evaluated two feed levels (2.7 and 4.3 kg/d) and two diets (gestation and lactation) during the WEI of primiparous and multiparous sows. There was an interaction ($P < 0.05$). In 4.3 kg/d group, multiparous had a greater feed intake than primiparous sows; however, in 2.7 kg/d group, there was no difference between parities ($P > 0.05$). There was a triple interaction on relative body weight change (%) during WEI, which primiparous fed with 4.3 kg/d of gestation diet lost less weight during WEI than those in the other treatments ($P < 0.05$). Multiparous had shorter WEI, larger follicle size, and higher total born and born alive than multiparous sows ($P < 0.05$). However, there was no difference in anestrous and farrowing rate ($P > 0.05$). The level and diet type did not affect any of the reproductive parameters ($P > 0.05$). Furthermore, there was no interaction between feeding level and body condition loss during lactation on WEI, farrowing rate, and litter size ($P > 0.05$). Thus, it is not necessary to feed sows with 4.3 kg/d during WEI, being possible to feed sows with 2.7 kg/d. Due to the high variability in feed intake during WEI, a second study was performed the analysis to evaluate factors that influence this feed intake. For this, 600 sows that received 4.3 kg/day during the first trial were used. The feed intake was lower on the estrus expression day than two- or three-days prior to the estrus expression ($P < 0.05$). In primiparous sows, the feed intake during WEI was negatively affected by the high backfat thickness (BFT) at 112 d of gestation, and high BFT, caliper, and body weight at weaning, short lactation length and fewer weaned piglets ($P < 0.05$). In multiparous sows, the feed intake was negatively affected by high BFT, caliper, and body condition score (BCS) at 112 d of gestation, high BFT at weaning, and high body reserves loss during lactation ($P < 0.05$). However, there was no difference in anestrous and farrowing rate and total piglets born ($P > 0.05$). Thus, several factors could affect the feed intake during WEI; however, the reduction in feed intake was not enough to impair reproductive performance. The third study evaluated the altrenogest treatment during the last seven days of a 3-week lactation on follicular and corpora lutea size and reproductive performance. During the last week of lactation, altrenogest treated sows had smaller follicles than control sows ($P < 0.05$). After weaning, control sows had smaller follicles than altrenogest sows until 24 h before ovulation ($P < 0.05$). This larger follicle size resulted in a larger size and, a lower coefficient of variation of corpora lutea of altrenogest treated sows than control sows ($P < 0.05$). There was less altrenogest treated sows expressing estrus on day three and four after weaning than control sows ($P < 0.05$). However, there was no difference between treatments on WEI, serum progesterone, reproductive performance, and piglet birth weight ($P > 0.05$). Thus, the altrenogest treatment during the last seven days of a 3-week lactation period improved the ovarian traits and reduced the estrus expression until the fourth day after weaning, however it did not improve the reproductive performance and piglet birth weight. As general conclusions of this thesis, during WEI the sows can be fed with 2.7 kg/day of gestation diet with no negative impact on reproductive performance.

However, the altrenogest treatment during last week of Lactation does not improve the reproductive performance, but decrease the estrus expression on day two and three after weaning.

Keywords: *Feeding, progestogen, weaning-to-estrus interval, total born, piglet birth weight.*

LISTA DE TABELAS

CAPITULO II – PRIMEIRO ARTIGO CIENTÍFICO

Table 1. Composition of the experimental diets (as-fed basis).....	56
Table 2. Effects of diet type (gestation or lactation) and feeding level (MFL: 2.3 kg/d or HFL: 4.7 kg/d) during the weaning-to-estrus interval (WEI) on feed intake, body weight (BW) changes during WEI and reproductive performance of primiparous and multiparous sows (LSmeans).....	57
Table 3. Follicle size at weaning (D0) and after weaning according to weaning-to-estrus interval length (LSmeans).....	58

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II- PRIMEIRO ARTIGO CIENTÍFICO

- Figure 1.** Follicular size after weaning (A) or before ovulation (B) according to two levels (M: Moderate: 2.7 kg/d or H: high: 4.3 kg/d) of different types of diet G: gestation or L: lactation diet) offered during the weaning-to-estrus interval in primiparous (1) or multiparous sows (>1)..... 59
- Figure 2.** Weaning-to-estrus interval (WEI), farrowing rate and total piglets born according to body reserves at weaning (backfat thickness - BFTW, body condition score - BCSW, and Caliper units - CaliperW) and the feed level (MFL: Moderate - 2.7 kg/d or HFL: high - 4.3 kg/d) offered during the WEI in primiparous (A, B, C) and multiparous sows (D, E, F)..... 60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Crescimento folicular do parto à inseminação	16
2.2 Fatores que influenciam a retomada da ciclicidade e desempenho pós-desmame	17
2.2.1 <i>Condição corporal</i>	17
2.2.2 <i>Nutrição durante a lactação e IDE</i>	18
2.2.3 <i>Ordem de parto</i>	21
2.2.4 <i>Duração da lactação</i>	22
2.2.5 <i>Tamanho da leitegada e manejos dos leitões</i>	23
2.2.6 <i>Efeito macho</i>	25
2.3 Controle do crescimento folicular com o uso de progestágenos	26
2.3.1 <i>Uso do Altrenogest após o desmame</i>	26
2.3.2 <i>Uso do altrenogest antes do desmame</i>	27
CAPÍTULO II – PRIMEIRO ARTIGO CIENTÍFICO.....	29
1. Introduction.....	32
2. Materials and methods	35
3. Results.....	40
4. Discussion.....	43
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
4. REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

A rentabilidade de um sistema de produção está diretamente ligada a eficiência reprodutiva do plantel, sendo medida por meio de indicadores como taxa de parto, número de nascidos e número de partos por fêmea por ano. As fêmeas modernas possuem como características principais alto número de leitões nascidos, elevada produção de leite, elevada capacidade de ganho de tecido magro, baixa quantidade de gordura e consumo voluntário (CLOSE; COLE, 2001; TOKACH *et al.*, 2019). Dessa forma, a fêmea suína moderna tem altas necessidades nutricionais, mas com baixas reservas e capacidade de ingestão. Durante a lactação, essas características se tornam mais evidentes, quando as fêmeas, apesar de serem alimentadas à vontade, geralmente não conseguem ingerir a quantidade de nutrientes necessária para manter a condição corporal, resultando em catabolismo (QUESNEL, 2009).

Fêmeas que foram submetidas a um elevado grau de catabolismo durante a lactação, podem apresentar redução no tamanho folicular e no desempenho reprodutivo subsequente, como maior intervalo desmame-estro, aumento da taxa de anestro e redução no número de nascidos (BAIDOO *et al.*, 1992; ZAK *et al.*, 1997a; SCHENKEL *et al.*, 2010). O catabolismo lactacional, resultado de um consumo alimentar insuficiente, pode influenciar a reprodução por meio da redução da secreção das gonadotrofinas (hormônio luteinizante; LH e hormônio folículo-estimulante; FSH) o que compromete o desenvolvimento folicular (VAN DEN BRAND *et al.*, 2000). Além disso, a nível de ovário, ocorre a redução da concentração de mediadores metabólicos, como *Insulin-like Growth Factor – I* (IGF-I; QUESNEL, 2009). Dessa forma, períodos de restrição alimentar podem resultar em um “*imprinting*” folicular e, dessa forma, os folículos selecionados para o *pool* ovulatório podem ser maturados sob um ambiente metabólico adverso que pode resultar em pior desenvolvimento embrionário (ZAK *et al.*, 1997b).

Como forma de assegurar uma melhor qualidade dos folículos e aumentar a taxa ovulatória, uma prática comum nos sistemas de produção é o aumento do nível alimentar durante o intervalo desmame-estro (IDE). Em alguns sistemas, além do uso de alto nível de ração, é também utilizada a ração lactação, com o objetivo de aumentar ainda mais o aporte nutricional para as fêmeas. No passado, havia a sugestão de que o aumento dos níveis nutricionais, poderia melhorar, pelo menos parcialmente, o desempenho subsequente de fêmeas, principalmente as que sofreram restrição durante a lactação (BAIDOO *et al.*, 1992). Contudo, como

resultado da seleção genética, buscando fêmeas cada vez mais produtivas, o IDE foi gradualmente reduzido ao longo dos anos e atualmente, um IDE de quatro a cinco dias é considerado adequado. Dessa forma, o período em que esse manejo é utilizado pode ser insuficiente para obter um efeito significativo.

Além de estratégias nutricionais, estratégias hormonais podem ser utilizadas para melhorar o desempenho subsequente de matrizes desmamadas. Durante a última semana de lactação, ocorre o desenvolvimento de ondas foliculares, as quais se estiverem crescendo no momento do desmame, irão atingir o tamanho pré-ovulatório (LUCY *et al.*, 2001), ovulando oócitos maturados em folículos selecionados durante a lactação, mais sujeitos a sofrer com um ambiente metabólico adverso. Dessa forma, o uso de progestágenos durante a última semana de lactação pode assegurar que os folículos sejam selecionados apenas após o desmame, resultando em folículos com melhor desenvolvimento (LOPES *et al.*, 2017) e consequentemente em embriões mais viáveis e maior corpo lúteo (QUESNEL *et al.*, 1998). Recentemente, o diâmetro do corpo lúteo foi relacionado com o peso do leitão ao nascimento (DA SILVA *et al.*, 2017). Dessa forma, o uso de progestágeno durante a última semana de lactação pode resultar em maior número de nascidos com maior peso.

Para a presente tese foram realizados dois experimentos que resultaram em três artigos. O primeiro artigo (**Effects of different amounts and type of diet during weaning-to-estrus interval on reproductive performance of primiparous and multiparous sows**) objetivou avaliar o efeito da quantidade e do tipo de ração durante o IDE sobre o desempenho reprodutivo de primíparas e multíparas. Além disso, foi avaliado o efeito dos tratamentos sobre o crescimento folicular e variação do peso corporal durante o IDE.

Devido à grande variabilidade encontrada no consumo de ração das fêmeas durante o IDE, surgiu a necessidade de identificar fatores que possam influenciar o apetite das fêmeas nesse período. Dessa forma, o segundo artigo (**Post-weaning feeding intake in primiparous and multiparous sows**) objetivou identificar fatores relacionados com o baixo consumo durante o IDE. Foram avaliados dados relacionados à condição corporal, aspectos lactacionais e de expressão de estro.

No terceiro artigo, (**Altrenogest treatment during the last week of lactation on the subsequent reproductive performance of primiparous and multiparous sows**) o objetivo foi avaliar o efeito do tratamento com Altrenogest durante a última semana de lactação sobre o desempenho reprodutivo, crescimento

folicular, tamanho de *corpora lutea*, desempenho reprodutivo subsequente e peso do leitão ao nascer.

2. CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Crescimento folicular do parto à inseminação

Durante a gestação, a ação da progesterona produzida pelos corpos lúteos impede que ocorra o crescimento folicular até tamanhos pré-ovulatórios (QUESNEL; PRUNIER, 1995; QUESNEL, 2009). Contudo, após a luteólise, os níveis de progesterona e, após o parto, o estrógeno começam a diminuir, enquanto a pulsatilidade do LH aumenta. Dois a três dias após o parto, os níveis de LH voltam a diminuir, devido ao estímulo das mamadas da leitegada, bloqueando o crescimento folicular (DE RENSIS *et al.*, 1993). Essa redução na liberação do LH é mediada pela ação dos peptídeos opioides endógenos, os quais são capazes de inibir a liberação de LH e cuja liberação é estimulada pela ação da mamada (QUESNEL; PRUNIER, 1995).

Logo após o parto, folículos ovarianos de até 5 mm podem ser observados. Já durante a lactação, apenas folículos pequenos e médios (≤ 3 mm) são encontrados (QUESNEL, 2009). Segundo Lucy *et al.* (2001), durante a terceira semana de lactação, ocorre o crescimento folicular em ondas não ovulatórias compostas de 20-30 folículos, os quais crescem até 4 – 6 mm antes do desmame. Esse crescimento está relacionado ao fato de que folículos de até 2 mm não são dependentes de gonadotrofinas para o seu crescimento. Já a não ocorrência da ovulação está relacionada ao fato de que folículos que atingem diâmetros entre 2 a 4 mm necessitam de FSH e de LH para continuar crescendo, sendo que a alta frequência de picos de LH é fundamental para o crescimento final e a maturação dessas estruturas (QUESNEL, 2009). Esse padrão de dinâmica folicular durante a lactação pode não ocorrer em todas as fêmeas, sendo possível haver inatividade ovariana, caracterizada pela presença de folículos de aproximadamente 2 mm ao longo de todo o período; formação de cistos foliculares ou ovulação antes do desmame (LUCY *et al.*, 2001).

Após o desmame, o estímulo da mamada cessa e, rapidamente, o padrão de secreção do LH muda de baixa frequência e alta amplitude para alta frequência e baixa amplitude (SHAW; FOXCROFT, 1985; VAN DEN BRAND *et al.*, 2000), permitindo a seleção dos folículos em um *pool* de estruturas foliculares já responsivas ao LH (QUESNEL, 2009). Segundo Van den Brand *et al.* (2000), fêmeas que apresentaram oito ou mais pulsos de LH em 12 horas apresentaram um diâmetro

folicular maior dois dias após o desmame e um intervalo desmame-estro (IDE) menor quando comparadas com fêmeas que apresentaram sete ou menos pulsos em 12 horas (4,05 vs. 2,90 mm e 115 vs. 147 horas, respectivamente). Dessa forma, com um suporte adequado de LH, os folículos crescem até atingir o tamanho pré-ovulatório de 6-9 mm (KNOX; RODRIGUEZ -ZAS, 2001).

2.2 Fatores que influenciam a retomada da ciclicidade e desempenho pós-desmame

2.2.1 Condição corporal

Durante a lactação, ocorre um aumento nas demandas nutricionais da fêmea devido à grande produção de leite, sendo que essa maior exigência nem sempre é suprida pela quantidade de ração consumida pela fêmea, resultando em um cenário de maior perda de peso nesse período (BAIDOO *et al.*, 1992; ZAK *et al.*, 1997a; QUESNEL, 2009). Hoving *et al.* (2012) avaliaram 47 primíparas com maior ou menor perda de peso durante a lactação ($>13,8\%$ e $\leq 13,8\%$ do peso vivo, respectivamente) e observaram que as fêmeas que perderam mais peso durante a lactação apresentaram redução de 21% na taxa de prenhez quando comparadas às que perderam menos peso (75 e 96%, respectivamente), e uma redução de aproximadamente 12% na taxa de sobrevivência embrionária. Além disso, as fêmeas que perderam mais peso durante a lactação apresentaram o pico de progesterona com um atraso de 1,4 dia em relação às fêmeas com menor perda de peso durante o período lactacional. A perda de peso durante a lactação também influencia o risco de ocorrência de retornos ao estro. Segundo Vargas *et al.* (2009), fêmeas de ordem de parto 1 e 2 que apresentaram uma perda de mais de 0,5 ponto de ECV tiveram 4,7 e 4,6 vezes mais chance de retornar ao estro, respectivamente, do que fêmeas de OP maior que 2 e com perda de $\leq 0,5$ ponto de ECV durante a lactação. Esse maior percentual de retorno pode estar relacionado com uma alteração nas secreções que suportam o desenvolvimento embrionário, como ácido fólico, beta caroteno e vitamina A (FOXCROFT, 1997).

Assim como na lactação, fêmeas durante o IDE também podem perder condição corporal, prejudicando a fertilidade subsequente das fêmeas. Nesse sentido, alguns autores avaliaram a inseminação de primíparas no segundo cio após o desmame, para evitar a possibilidade de realizar inseminações durante o estado catabólico (WERLANG *et al.*, 2011). Werlang *et al.* (2011) registraram uma perda de peso de 7,2 kg, desde o desmame até a primeira inseminação, em fêmeas

inseminadas no primeiro estro e um ganho de peso de 3,8 kg para fêmeas que foram inseminadas no segundo estro após o desmame. Patterson *et al.* (2006) também encontraram resultados semelhantes para primíparas que foram inseminadas no primeiro e no segundo estro após o desmame (perda de 7,2 kg e um ganho de 11,9 kg; respectivamente), sendo que as fêmeas inseminadas no segundo estro apresentaram folículos maiores do que as fêmeas inseminadas no primeiro estro (8,2 vs 7,1, respectivamente). Além disso, uma maior sobrevivência embrionária aos 30 dias de gestação foi apresentada pelo grupo de fêmeas inseminadas no segundo estro após o desmame (77,4 vs 68,1%, respectivamente). Um acréscimo de aproximadamente dois leitões por leitegada também foi relatado, quando primíparas foram inseminadas no segundo estro pós-desmame (CLOWES *et al.*, 1994).

2.2.2 Nutrição durante a lactação e IDE

O efeito da alimentação sobre a reprodução parece ser resultado da ação de vários mediadores metabólicos, cuja produção é estimulada ou inibida de acordo com a nutrição dos animais, sendo que os mediadores mais importantes são a leptina, insulina e o *Insulin Growth Factor – I* (IGF-I). A leptina é produzida pelo tecido adiposo, sendo que em animais que se encontram em balanço energético positivo, a expressão do gene que codifica esse hormônio é estimulada pela hipertrofia das células adiposas. Contrariamente, os níveis sanguíneos de leptina diminuem rapidamente em consequência da privação de alimento e, também, em condições de balanço energético negativo (BARB *et al.*, 2001). O efeito da leptina parece ser mediado pela modulação da expressão hipotalâmica do neuropeptídeo Y (NPY), estimulador do consumo voluntário e inibidor do LH (BARB *et al.*, 2005). A leptina inibe os efeitos do NPY pela competição dos mesmos receptores. Assim, quando a fêmea está em anabolismo, os níveis séricos de leptina aumentam, bloqueando o NPY e, conseqüentemente, estimulando a secreção LH.

Já a secreção da insulina é estimulada pelo aumento da concentração sanguínea de glicose, de alguns aminoácidos (principalmente a arginina e leucina) e de alguns ácidos graxos (como o ácido oleico e palmítico). A secreção da insulina também é controlada por alguns hormônios pancreáticos (como o glucagon e a somatostatina) e por neuropeptídeos gastrointestinais, os quais são liberados durante a digestão do alimento (PENZ JR *et al.*, 2009). A insulina se liga ao seu receptor e desencadeia uma série de eventos bioquímicos, alterando a capacidade

de transporte das membranas e propiciando a entrada de nutrientes nas células (GUYTON; HALL, 2006), incluindo as células da granulosa (PENZ JR *et al.*, 2009). Zak *et al.* (1997a) relataram uma redução de 4,4 ng/mL para 2,1 ng/mL na concentração plasmática de insulina quando compararam fêmeas alimentadas de forma à vontade ou restrita durante a última semana de lactação. Além disso, foi observado que o tratamento com insulina aumentou em 2,4 o número de ovulações em relação às fêmeas não tratadas (COX *et al.*, 1987).

O IGF-I também é um sinalizador, assim como a leptina, entre o estado metabólico e a regulação neuroendócrina da reprodução (BARB *et al.*, 2001). Esse fator é produzido pelo fígado (PRUNIER; QUESNEL, 2000) e pode apresentar variações em sua concentração dependendo da alimentação do animal. Nesse sentido, um quadro de subnutrição poderia acarretar a redução da concentração de IGF-I no plasma sanguíneo e no líquido folicular. Uma vez que a concentração plasmática de IGF-I tem correlação com o peso do ovário e tamanho máximo dos folículos após o desmame (QUESNEL *et al.*, 1998), sugere-se que a foliculogênese possa ser prejudicada pela diminuição dos níveis de IGF-I, afetando, assim, o desempenho reprodutivo (ZAK *et al.*, 1997a).

Brooks; Cole (1972) observaram uma redução no IDE e uma maior taxa de concepção, em primíparas, quando ocorreu um aumento de 1,8 para 3,6 kg de ração/dia durante o IDE. Entretanto, não foram observadas diferenças na duração do IDE, taxa de concepção, no número total de leitões nascidos e na duração do estro quando as fêmeas multíparas foram alimentadas com diferentes quantidades de ração durante o IDE (1,8; 2,3; 3,6 e 4,5 kg de ração/dia; BROOKS *et al.*, 1975). A diferença entre os resultados desses trabalhos pode estar relacionada à perda de peso das fêmeas primíparas e multíparas durante a lactação. No estudo de Brooks; Cole (1972), a perda de peso foi de 20 kg, enquanto no estudo de Brooks *et al.* (1975) não ocorreram perdas. Assim, dependendo da perda de peso durante a lactação, um maior aporte de nutrientes pode diminuir o efeito deletério do catabolismo, trazendo benefícios para alguns parâmetros reprodutivos.

Baidoo *et al.* (1992) alimentaram fêmeas primíparas com duas quantidades de ração (3,0 ou 6,0 kg/dia) durante a lactação e o IDE e observaram uma maior perda de peso durante a lactação em fêmeas que foram alimentadas de forma restrita nesse período (39,0 kg para as fêmeas que receberam 3,0 kg/dia e 16,1 kg para as fêmeas alimentadas com 6,0 kg/dia). Além disso, os autores relataram um pior desempenho subsequente de fêmeas que receberam 3,0 kg/dia em relação às fêmeas

alimentadas com 6,0 kg/dia (IDE: 7,3 vs. 6,0 dias; taxa de prenhez: 65,5 vs. 85,5% e sobrevivência embrionária: 67,0 vs. 81%). As fêmeas que receberam 3,0 kg/dia durante a lactação e que após o desmame foram alimentadas com 6,0 kg/dia apresentaram o mesmo percentual de sobrevivência embrionária e altura do pico de LH que os animais arraçoados com 6,0 kg/dia durante a lactação. Dessa forma, os autores relatam que alguns parâmetros podem não ser influenciados pela quantidade de ração fornecida para a fêmea após o desmame.

Na intenção de identificar qual componente da dieta (energético ou proteico) seria mais importante para fêmeas desmamadas que apresentam diferentes classes de perdas de peso, Grandhi (1992) avaliou 348 fêmeas desmamadas (168 primíparas; 180 secundíparas). Ambas as categorias de fêmeas foram classificadas em fêmeas com alta perda de peso (≥ 14 kg) e fêmeas baixa perda de peso (< 14 kg) durante a lactação. Após o desmame, os animais receberam a ração Controle (2 kg; 2,95 Mcal ED, 13,2 % PB e 0,47% de lisina/kg de ração); Controle + gordura (provendo ~50% a mais de energia digestível/ dia) e Controle + lisina (provendo ~50% a mais de lisina/dia). Os grupos de alta perda de peso que consumiram dietas suplementadas com gordura ou lisina apresentaram maior número de fêmeas demonstrando sinais de estro em até sete dias após o desmame, quando comparado ao grupo Controle (85% e 75% vs. 68% respectivamente). Não houve diferença significativa em relação à duração do IDE, para primíparas ou para secundíparas; contudo, o maior aporte de energia durante o período pós-desmame aumentou o número de ovulações das fêmeas primíparas em comparação à dieta controle e à adição de lisina (13,5 vs. 10,7 e 9,9; respectivamente).

Dessa forma, o nível de energia da dieta parece ser um dos principais fatores que exercem grande influência na alimentação das fêmeas suínas durante o IDE. No entanto, é importante definir qual a melhor fonte energética. Nesse sentido, (VAN DEN BRAND *et al.*, 2001) alimentaram primíparas desmamadas com dietas adicionadas de gordura ou amido. Os autores observaram que o fornecimento da ração com amido resultou em uma maior porcentagem de fêmeas apresentando estro em até nove dias após o desmame (67%) em relação ao fornecimento de ração com gordura (52%). As fêmeas que consumiram a ração com gordura tiveram 1,6 vez mais chance de não manifestar o estro até 9 dias após o desmame de fêmeas alimentadas com ração adicionada de amido. Os autores observaram que o fornecimento de ração com adição de amido aumentou a concentração plasmática de insulina, a qual apresenta associação positiva com a pulsatilidade de LH

(QUESNEL *et al.*, 1998). Sugere-se que, em fêmeas com níveis adequados de LH e um número adequado de folículos, não há influência da nutrição após o desmame. Entretanto, quando o número de pulsos de LH após o desmame for insuficiente e/ou o *pool* de folículos tem menor qualidade, é possível que a nutrição tenha uma importante função na estimulação da secreção de LH, influenciando no desenvolvimento dos folículos (VAN DEN BRAND *et al.*, 2000).

Apesar dessas informações, a ação dos mediadores sobre a reprodução ainda não está completamente elucidada, havendo, inclusive, estudos que não observaram o efeito desses mediadores sobre a reprodução (ROJKITTIKHUN *et al.*, 1993; DE RENSIS *et al.*, 2005). Deste modo, é possível que a nutrição exerça um efeito sobre a reprodução não através de mediadores isolados, como a insulina ou a leptina, mas, sim, através da interação de diferentes mediadores fundamentais para caracterizar o “*status*” metabólico do animal (HAZELEGER *et al.*, 2005). Além disso, é necessário considerar que a maioria dos trabalhos que avaliaram o efeito da alimentação de fêmeas suínas após o desmame sobre o desempenho reprodutivo foram realizados entre as décadas de 70 e 90, utilizando animais com genéticas bem diferentes das genéticas dos animais da suinocultura atual.

2.2.3 *Ordem de parto*

A relação existente entre a ordem de parto (OP) e a duração do IDE já é conhecida há anos (VESSEUR *et al.*, 1994). Primíparas geralmente apresentam um IDE maior em relação às fêmeas múltíparas (VESSEUR *et al.*, 1994; GUEDES; NOGUEIRA, 2001). Recentemente, Mallmann *et al.* (2018) relataram que primíparas apresentaram um IDE de 5,8 dias comparado com 4,6 dias de fêmeas múltíparas. Existem diversas explicações para justificar que primíparas sejam mais propensas a ter um IDE mais longo quando comparadas às múltíparas. As primíparas possuem necessidade de nutrientes para o seu crescimento, apresentam uma baixa quantidade de reservas corporais, e uma menor capacidade de ingestão (KEMP *et al.*, 2018). No estudo de Guedes; Nogueira (2001), as primíparas perderam 20,2 kg durante a lactação, enquanto as fêmeas múltíparas perderam 9,0 kg. Adicionalmente, os autores relataram que as primíparas perderam 4,4 kg durante a última semana de gestação, enquanto as múltíparas ganharam 0,13 kg; demonstrando que o catabolismo pode iniciar já na fase final da gestação.

Com o avanço da seleção genética, as fêmeas suínas contemporâneas apresentam leitegadas numerosas já no primeiro parto, o que pode agravar o balaço

energético negativo durante a fase de lactação. Dessa forma, o efeito da OP sobre o IDE também está associado a outros fatores que devem ser levados em consideração para a correta interpretação dos resultados. Segundo VESSEUR *et al.* (1994), há uma interação entre a OP e o sistema de alojamento. Os autores relataram que primíparas alojadas em baias coletivas apresentaram um IDE mais longo quando comparadas às primíparas alojadas em gaiolas (13 vs. 11 dias).

2.2.4 Duração da lactação

Durante a lactação, a fêmea suína se encontra em anestro fisiológico. Como mencionado anteriormente, o estímulo da mamada realizado pelos leitões leva a fêmea a secretar os peptídeos opioides endógenos, os quais irão bloquear a liberação do LH e FSH, por meio do bloqueio da liberação do GnRH (QUESNEL; PRUNIER, 1995). Dessa forma, quando o estímulo da mamada cessa, no momento do desmame, as gonadotrofinas voltam a ser liberadas (SHAW; FOXCROFT, 1985). Espera-se que 80-85 % das primíparas e 90-95% das multíparas apresentem estro em até sete dias após o desmame, considerando uma duração da lactação mínima de 15 dias (DALLANORA *et al.*, 2004).

Até o início dos anos 2000, as granjas costumavam empregar manejos de desmame precoce com o objetivo de aumentar o número de partos/fêmea/ano, resultando, inclusive, em lactações de duração de 14 dias (DIAL *et al.*, 1992). Contudo, efeitos como aumento no IDE, redução na taxa de parto e número de nascidos totais passaram a ser relatados (VESSEUR, 1997). Dessa forma, atualmente a maioria das granjas praticam desmames de 21 ou 25 dias, empregando lactações de curta duração, somente em casos de desafios sanitários (COSTA *et al.*, 2018).

Segundo Carregaro *et al.* (2006), o efeito da duração da lactação sobre o IDE é dependente da OP. Os autores demonstraram que para multíparas, lactações com duração de 15 dias ou mais já são suficientes para a estabilização do IDE (3-5 dias), enquanto primíparas necessitaram de lactações com duração de 20-24 dias para atingir um IDE de 3-5 dias. Isso pode ser devido a maturidade fisiológica incompleta quando comparada as multíparas (SCHMIDT *et al.*, 2018), o que pode resultar em prejuízos no desempenho reprodutivo posterior (CARREGARO *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2018). Lactações muito curtas (< 10 dias) estão relacionadas com o aumento significativo do IDE (KOKETSU; DIAL, 1997; CARREGARO *et al.*, 2006), o que pode ser devido à recuperação uterina, uma vez que, embora a maioria

dos eventos da involução uterina ocorram na primeira semana de lactação, o processo é finalizado ao redor dos 21-28 dias pós-parto (PALMER *et al.*, 1965).

Lactações mais longas são comumente relacionadas com um maior período de altas necessidades e, conseqüentemente, à maior perda de condição corporal. Fêmeas designadas como mães-de-leite podem ser submetidas a lactações de até 35 dias e, assim, podem apresentar maior chance de perdas acentuadas de peso. Bruun *et al.* (2016) observaram um maior percentual de fêmeas mães-de-leite (40,3 dias de lactação) apresentando estro após 7 dias pós-desmame, quando comparado a fêmeas desmamadas com 27,8 dias (19,9 vs. 11,8 %; respectivamente). Contudo, houve pouca diferença no IDE entre as fêmeas mães-de-leite e as fêmeas desmamadas com 27,8 dias (4,19 vs. 4,23 dias, respectivamente). É importante ressaltar que as fêmeas selecionadas para serem mães-de-leite nesse estudo apresentavam boa condição corporal e bom consumo voluntário de ração, pois foram escolhidas pelo proprietário/gerente das granjas.

2.2.5 *Tamanho da leitegada e manejos dos leitões*

Conforme já mencionado, a leitegada apresenta um papel fundamental no bloqueio reprodutivo durante a lactação, por meio do estímulo da cadeia mamária. Dessa forma, o número de leitões lactentes pode influenciar na entrada em estro após o desmame. De acordo com Vesseur *et al.* (1994) fêmeas com leitegadas contendo ≤ 8 leitões, no momento do desmame, apresentaram IDE mais curto quando comparadas às fêmeas com ≥ 9 leitões (7,4 vs. 8,2 dias; respectivamente). É possível que tenha ocorrido um menor desenvolvimento folicular nas fêmeas de leitegada com ≥ 9 leitões, contudo, essa associação ainda não é bem compreendida. Conforme observado no estudo de Quesnel *et al.* (2007), as primíparas que estavam amamentando 13-14 leitões apresentaram IDE semelhante a fêmeas com leitegadas de 7 leitões. Além disso, não foram encontradas diferenças significativas na secreção de LH. Segundo resultados de Koketsu; Dial (1997), que trabalharam com um banco de dados de 30 granjas, também não foi observada diferença no IDE em fêmeas com leitegadas de 1-7, 8-14 e ≥ 15 leitões.

O tamanho folicular foi negativamente correlacionado com o peso ao desmame ($r = -0,36$; VAN LEEUWEN *et al.*, 2010), o que pode estar relacionado ao fato de que leitões de diferentes tamanhos podem causar diferentes graus de estímulo no complexo mamário (KING *et al.*, 1997) e, conseqüentemente, podem resultar em diferentes graus de bloqueio no eixo reprodutivo, alterando o IDE.

Dessa forma, o peso dos leitões lactentes também pode ter efeito no IDE. De acordo com Bierhals *et al.* (2012), ao equalizar as leitegadas de primíparas, observaram que fêmeas que amamentaram apenas leitões leves (1,0 – 1,2 kg) tenderam a apresentar IDE menor quando comparadas às fêmeas com leitões médios (1,4 – 1,6 kg; 6,4 vs. 8,8 dias). Além disso, o grupo de fêmeas com leitões leves apresentou maior proporção de fêmeas com estro até o 7º dia pós-desmame quando comparadas a fêmeas que amamentaram leitões médios (83,9 vs. 58,6%).

Alguns manejos com a leitegada também podem alterar os mecanismos que resultam no anestro lactacional, como o desmame parcial, que consiste na retirada de parte da leitegada antes do final da lactação (TAROCCO *et al.*, 2000). De acordo com Terry *et al.* (2013), a remoção de parte de leitegada, independentemente do número de leitões removidos (0, 3, 5 ou 7), e o início do estímulo com o macho aos 18 dias de lactação resultaram em um maior número de fêmeas apresentando estro até o dia do desmame (30 dias pós-parto), quando comparado às fêmeas do grupo que permaneceu com os 10 leitões durante toda a lactação (90 vs. 56%; respectivamente). Além disso, os autores relataram que 5% das fêmeas apresentaram estro no dia 18 (dia da remoção dos leitões), sugerindo que o aumento dos pulsos de LH inicia antes do 18º dia após o parto. Esses dados corroboram os resultados de Zak *et al.* (2008), os quais demonstram que o desmame parcial, aos 18 dias de lactação, aumenta a concentração plasmática e o número de pulsos de LH em até 10 horas após a remoção dos leitões (0,3 ng/ml e 4 pulsos/10h, respectivamente), quando comparado com fêmeas desmamadas aos 21 dias (0,22 ng/ml e 2 pulsos/10h; respectivamente). Além disso, um maior número de folículos com diâmetro > 3 mm, no primeiro dia após o desmame, e um IDE mais curto foram observados no grupo em que se realizou o desmame parcial em comparação ao grupo controle (7,3 vs. 4,0 folículos; 4,3 vs. 5,6 dias, respectivamente).

Outro manejo capaz de influenciar o IDE é o aleitamento interrompido. De acordo com os resultados demonstrado por Kuller *et al.* (2004), ao separar as fêmeas dos leitões por 12 horas por dia, do dia 14 ao 25 de lactação (desmame), ocorre um menor intervalo desmame-ovulação e se observa um maior percentual de fêmeas entrando em estro durante a lactação quando comparado com fêmeas controle (4,7 vs. 5,3 dias; 22,0 vs. 3,0%, respectivamente). Esses resultados ainda podem ser afetados pela idade das fêmeas, considerando que fêmeas mais velhas apresentam sinais de estro mais facilmente durante a lactação quando submetidas ao aleitamento interrompido quando comparadas as primíparas (SOEDE *et al.*, 2012b).

2.2.6 Efeito macho

Após o desmame, no manejo usual das granjas, é recomendado a exposição das fêmeas desmamadas diariamente ao macho, desde o dia do desmame até o momento da última inseminação. Esse manejo ocorre em dois diferentes momentos: após o desmame, com o objetivo de estimular o crescimento folicular e ovulação e durante a detecção do estro, a fim de detectar o estro e predizer a ovulação (KEMP *et al.*, 2005).

A efetividade da ação de exposição ao macho sobre o IDE pode estar vinculada à exposição precoce da fêmea ao macho (KEMP *et al.*, 2005). Segundo Walton (1986), a exposição ao macho após o desmame resulta em um maior percentual de fêmeas entrando em estro em até 15 dias, quando comparadas a fêmeas sem a exposição do macho após o desmame (82 vs. 48%, respectivamente). Nesse mesmo sentido, Langendijk *et al.* (2000) relataram uma redução no IDE de 137 horas para 128 horas para fêmeas sem e com exposição ao macho, respectivamente. Contudo, o número de exposições ao dia e a distância em que as fêmeas são alojadas dos machos podem interferir nos resultados, uma vez que tanto fêmeas estimuladas mais de uma vez ao dia como fêmeas alojadas próximas a machos após o desmame apresentam menor taxa de expressão de estro (KNOX *et al.*, 2002; KNOX *et al.*, 2004). Dessa forma, uma exposição frequente ou contínua pode induzir a uma habituação da fêmea ao macho, resultando em menores taxas de expressão de estro (KNOX *et al.*, 2002).

A relação entre o manejo com o macho sobre a expressão de estro das fêmeas talvez seja explicada por um estímulo sobre a liberação de LH pela hipófise (KEMP *et al.*, 2005). Uma maior frequência dos pulsos de LH foi correlacionada com um maior crescimento folicular e um IDE reduzido (VAN DEN BRAND *et al.*, 2000). Segundo Kingsbury; Rawlings (1993), a exposição das fêmeas ao macho aumentou a frequência de liberação e a concentração média de LH, o que resultaria em maior crescimento folicular. Geralmente, as fêmeas produzem quantidades adequadas de LH após o desmame, e nesses casos o estímulo do macho não representaria um efeito adicional; no entanto, para fêmeas que apresentem uma deficiência de LH o estímulo seria benéfico (KEMP *et al.*, 2005). Contudo, em termos práticos, o estímulo com o macho é realizado em todas as fêmeas desmamadas, iniciando no dia do desmame.

2.3 Controle do crescimento folicular com o uso de progestágenos

O altrenogest é um progestágeno sintético com atividade progesterônica e anti-gonadotrófica, cuja administração é realizada por via oral. A lipossolubilidade desse hormônio permite que ele penetre nas células-alvo no hipotálamo, ligando-se em seus receptores. Como consequência, ocorre um *feedback* negativo sobre a liberação de GnRH, resultando na inibição da liberação de LH (VAN LEEUWEN *et al.*, 2015). O altrenogest é o único progestágeno comercialmente disponível na suinocultura e pode ser utilizado com diferentes propósitos, como: sincronização do ciclo estral de leitoas (REDMER; DAY, 1981; MARTINAT-BOTTÉ *et al.*, 1995; DE RENSIS *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2018), controle do momento do parto (GAGGINI *et al.*, 2013) e manipulação do IDE (SOEDE *et al.*, 2012a).

2.3.1 Uso do Altrenogest após o desmame

Prolongar o IDE de fêmeas com elevado nível de catabolismo lactacional é uma estratégia que foi desenvolvida visando proporcionar maior período de recuperação pós-desmame (SOEDE *et al.*, 2012a). Uma das formas de prolongar o IDE é o “skip-a-heat” que consiste em inseminar a fêmea somente no segundo estro após o desmame. Contudo, esse manejo resulta em 21 dias não produtivos a mais por fêmea. Posteriormente, estudos demonstraram que a utilização de altrenogest para prolongar o IDE é eficaz para melhorar o desempenho reprodutivo com menos dias não produtivos na granja (SOEDE *et al.*, 2012a).

O melhor desempenho reprodutivo subsequente de fêmeas suínas com o emprego de altrenogest é atribuído a um maior período de recuperação após o desmame (SOEDE *et al.*, 2012a). Contudo, o uso desse progestágeno também está associado a um maior crescimento folicular (VAN LEEUWEN *et al.*, 2010; VAN LEEUWEN *et al.*, 2015). O bloqueio que o altrenogest exerce sobre liberação das gonadotrofinas parece ser variável ao longo do tratamento. Após a administração do altrenogest, realizada de forma diária, o bloqueio das gonadotrofinas ocorre por 4,5 horas no dia do desmame (VAN LEEUWEN *et al.*, 2015) a 9 horas após a administração do altrenogest no décimo terceiro dia de tratamento (VAN LEEUWEN *et al.*, 2011b). Após esse período a supressão sobre o GnRH cessa, e dessa forma, como a supressão das gonadotrofinas não ocorre durante todo o período de 24 horas, pode ocorrer o crescimento folicular.

Durante os primeiros 5-6 dias de tratamento com altrenogest, os folículos se desenvolvem até atingirem ~4,5 mm. Após esse período, os folículos diminuem

para ~ 4,0 mm e permanecem nesse tamanho até o final do tratamento (VAN LEEUWEN *et al.*, 2010; VAN LEEUWEN *et al.*, 2015). A concentração plasmática de estradiol aumenta até o segundo dia de tratamento e, após, ocorre uma diminuição a níveis pré-desmame. Esse declínio é atribuído à redução do estímulo realizado pelo LH (VAN LEEUWEN *et al.*, 2015) já que o LH estimula a produção de estradiol (GUTHRIE *et al.*, 1990). Além disso, a redução do nível de estradiol é provavelmente acompanhada pela redução na produção de inibina, já que folículos atrésicos tem produção reduzida de inibina (GUTHRIE *et al.*, 1997) e esses fatores podem resultar em maior secreção de FSH, responsável por aumentar o tamanho do antro folicular (ITOH *et al.*, 2002), resultando em maior diâmetro folicular (VAN LEEUWEN *et al.*, 2015). Contudo, a redução no tamanho folicular e a baixa produção de estradiol indica que possa haver um *turnover* dos folículos e uma nova onda folicular seja recrutada, mas estabilize em 4,0 mm devido ao menor período de ação do LH conforme o avanço do tratamento (VAN LEEUWEN *et al.*, 2011b).

Além disso, o tratamento com altrenogest após o desmame levou ao aumento de 0,3 a 3,4 no número de ovulações de Patterson *et al.* (2008), 6 % a mais na taxa de parto e de 2 a 3 leitões a mais no tamanho de leitegada (VAN LEEUWEN *et al.*, 2011c). Contudo, trabalhos que iniciaram o fornecimento do progestágeno 3 horas após o desmame relataram uma redução na taxa de parto e no número de nascidos, o que provavelmente estaria relacionado a uma supressão inadequada do crescimento folicular, de forma a propiciar o desenvolvimento de folículos persistentes (MIHM *et al.*, 1994).

2.3.2 *Uso do altrenogest antes do desmame*

Durante a última semana de lactação, ocorre a seleção de folículos que crescem até ~5 mm e depois regridem para que um novo *pool* de folículos seja recrutado (LUCY *et al.*, 2001). Contudo, como relatado por VAN LEEUWEN *et al.* (2011c), a eficácia do tratamento de 4 a 8 dias com o altrenogest após o desmame em melhorar o desempenho reprodutivo é dependente do tamanho folicular que a fêmea apresenta no início do tratamento. Fêmeas que apresentam folículos grandes (> 4,5 mm) no início do tratamento apresentaram taxa de parto de 71, 22 e 83% com tratamento por 4, 8 e 15 dias, respectivamente. É possível que os folículos maiores cresçam durante o período de tratamento, atingindo um tamanho pré-ovulatório. Dessa forma, ocorreria a ovulação de oócitos envelhecidos. Nesse sentido, avaliou-se o fornecimento de Altrenogest ao final da lactação, para evitar

o crescimento folicular antes do desmame. Contudo, iniciar o fornecimento de Altrenogest três dias ou um dia antes do desmame não alterou a dinâmica folicular ou melhorou o desempenho reprodutivo, quando comparado ao controle ou ao tratamento iniciado no desmame (VAN LEEUWEN *et al.*, 2011a).

Objetivando controlar melhor a dinâmica folicular na última semana de lactação e, assim, melhorar o desempenho de fêmeas desmamadas em estações desfavoráveis, Lopes *et al.* (2017) forneceram altrenogest, durante 6 dias antes do desmame (-8 a -2 dias; dia 0 = desmame), para fêmeas primíparas e multíparas em duas épocas do ano (inverno e primavera e verão e outono). Os autores relataram um aumento no diâmetro folicular no início do estro e maior tamanho de leitegada para fêmeas tratadas com altrenogest, em comparação às fêmeas do grupo controle (7,6 vs. 7,3 mm e 14,0 vs. 12,3 nascidos totais, respectivamente), independentemente da estação do ano. Contudo, não houve diferença no número de folículos contados por meio da ultrassonografia transretal e na taxa de parto.

A qualidade folicular pode resultar não só em um maior tamanho de leitegada, mas também em maior peso dos leitões. Vários fatores podem afetar o peso ao nascimento dos leitões tais como: maturação oocitária heterogênea (KNOX, 2005), variação na duração da ovulação (POPE *et al.*, 1990), a posição da implantação do embrião (PERRY; ROWELL, 1969) e a eficiência placentária (WILSON *et al.*, 1999). Dessa forma, Kitkha *et al.* (2017) associaram o fornecimento de altrenogest, iniciando 4 dias antes do desmame e finalizando no segundo dia pós-desmame (6 dias de tratamento), com o uso ou não de indutor de ovulação (hCG). A associação de altrenogest com hCG, 72 horas após o final do tratamento com progestágeno, resultou em menor desvio padrão do peso ao nascer (0,32 vs. 0,40 kg). Contudo não houve diferença quanto ao peso ao nascer, coeficiente de variação do peso ao nascer e à porcentagem de leitões leves. Além disso, o grupo tratado apenas com altrenogest apresentou um desvio padrão do peso ao nascer maior do que o grupo controle (0,40 vs. 0,39, respectivamente).

CAPÍTULO II – PRIMEIRO ARTIGO CIENTÍFICO

*EFFECTS OF DIFFERENT AMOUNTS AND TYPE OF DIET DURING
WEANING-TO-ESTRUS INTERVAL ON REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF
PRIMIPAROUS AND MULTIPAROUS SOWS*

ARTIGO ACEITO PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA
ANIMAL

(de acordo com as normas da revista)

Effects of different amounts and type of diet during weaning-to-estrus interval on reproductive performance of primiparous and multiparous sows

R. D. F. Gianluppi¹, M. S. Lucca¹, A. P. G. Mellagi¹, M. L. Bernardi², U. A. D. Orlando³, R. R. Ulguim¹ and F. P. Bortolozzo¹

¹Department of Animal Medicine – Faculty of Veterinary Medicine, Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), 91540–000- Porto Alegre, Brazil

²Department of Animal Science – Faculty of Agronomy, UFRGS, 91540–000 - Porto Alegre, Brazil

³PIC/Genus, 100 Bluegrass Commons Blvd, Ste. 2200 Hendersonville, TN 37075, United States

Corresponding author: Fernando Bortolozzo. Email: fpbortol@ufrgs.br

Short title: Nutrition and performance of weaned sows

Abstract

During weaning-to-estrus (**WEI**) the sows are usually fed with high feed level to improve the reproductive performance. However, the WEI has been reduced over the years which may reduce the impact of feed level on performance in the modern genetic lines. The aim of this study was to evaluate the effect of two feeding levels (**MFL**: 2.7 kg/day and **HFL**: 4.3 kg/day) and two diet types (gestation: 13.67 MJ/kg of metabolizable energy [**ME**] and 0.62% of standard ileal digestible [**SIDLys**] and lactation: 14.34 MJ ME/kg and 1.20% of SIDLys) offered during the WEI on reproductive performance. In total, 19.0% of sows were excluded from the analysis due to feed intake below 75% (9.6% and 28.5% in MFL and HFL groups, respectively), remaining 254 primiparous and 806 multiparous sows. Follicular size and change in body weight were measured in subsamples of 180 and 227 females, respectively. Data were analyzed considering the sow as the experimental unit. Feeding level, diet type, parity, and their interactions were included as fixed effects, whereas the day of weaning was considered as a random effect. The feed intake of MFL and HFL groups averaged 2.5 ± 0.02 kg/day and 3.8 ± 0.02 kg/day, respectively. There was an interaction between feeding level and parity for daily feed intake. Within HFL, multiparous sows consumed 181 g/d more than primiparous sows ($P < 0.01$), but no difference was observed within MFL ($P > 0.05$). Both primiparous and multiparous sows lost proportionally less weight when fed HFL than MFL gestation diet during WEI. The percentage of weight loss was lower in HFL than in the MFL group in multiparous sows fed the lactation diet. The WEI was not affected by feeding level, diet type or its interaction ($P > 0.05$), but it was longer in primiparous than in multiparous sows ($P =$

0.001). There was no effect of feeding level, diet type, parity or their interactions on anestrus and farrowing rates. Multiparous sows showed greater follicular size, and greater numbers of total born and born alive piglets in the subsequent cycle than primiparous sows ($P < 0.05$). In conclusion, feeding weaned primiparous and multiparous sows with 4.3 kg/day of a gestation (58.78 MJ ME and 26.66 g SID Lys) or a lactation diet (61.66 MJ ME and 51.60 g SID Lys) does not improve follicular size and reproductive performance in the subsequent cycle.

Key words: body weight, follicular growth, nutrition, reproduction, swine

Implications

Short weaning-to-estrus interval (WEI) is frequent nowadays, which was confirmed by 93.6% of sows expressing estrus within 5 days after weaning. Although sows commonly receive a high level of feed during WEI, this study shows that increasing the feed intake during this short period of WEI is not relevant, even in sows with poorer body condition at weaning. As a representative number of sows did not consume at least 75% of the offered amount, more feed represents wastage for some sows. Costs can be reduced by offering a lower feed amount of gestation diet (2.7 kg/day) to sows during WEI.

1. Introduction

The weaning-to-estrus interval (**WEI**) is an important contributor to the number of non-productive days in sow farms. This period has been constantly decreasing over the years, ranging from 13 to 17 days in the 1980's (Bryant *et al.*, 1985; Johnston *et al.*, 1986) to 4-6 days, on average,

in the second decade of 2000's (Kemp *et al.*, 2018), with more than 80% of sows expressing estrus until 5 days post-weaning (Poleze *et al.*, 2006).

The follicular development begins before sow is weaned, with follicles that can grow up to 5 mm during the third week of lactation (Lucy *et al.*, 2001). Most sows appear to have synchronized waves of follicle development at the end of lactation, although great part of the follicular phase takes place during WEI (Lucy *et al.*, 2001). Follicles usually grow from 2-3 mm at weaning (Quesnel, 2009) up to 6-9 mm prior to ovulation (Knox and Rodriguez-Zas, 2001). Therefore, follicular growth may be affected by nutrition before weaning and during the WEI period (Quesnel *et al.*, 2000; Van den Brand *et al.*, 2000).

Weight loss during lactation can impair reproductive performance in the subsequent cycle (Schenkel *et al.*, 2010). Sows with greater weight loss have lower follicle quality, oocytes with reduced fertilizing capability, and impaired embryo development and survival (Clowes *et al.*, 2003). Higher feed intake during WEI may partly prevent this negative impact on reproductive performance. Although the WEI was not affected by post-weaning feed level (overall, 57.5% of sows expressed estrus within 8 days of weaning), the ovulation rate (14.8 vs. 13.0) and litter size (10.0 vs. 8.8 piglets) of the subsequent farrowing were respectively higher in primiparous sows receiving 4 kg/day than 1.5 kg/day of gestation diet between weaning and mating (King and Williams, 1984). Feed restriction during lactation (3.0 vs. 6.0 kg/day) resulted in a larger WEI (7.3 vs. 5.9 day), but the post-weaning feeding level (3.0 vs 6.0 kg/day) did not affect the WEI in either non-restricted (5.9 vs. 6.0 day) or fed-restricted (7.5 vs. 7.1 days) sows during lactation (Baidoo *et al.*, 1992). However, sows non-restricted during

lactation had higher embryo survival when fed-restricted after weaning than sows nutritionally restricted (85.0% vs. 64.0%) during both lactation and post-weaning periods (Baidoo *et al.*, 1992). Additional fat in the feed during the post-weaning period seemed to increase the ovulation rate, embryo survival, and embryo weight in sows with greater lactational weight loss (Grandhi, 1992). Thus, there is a common recommendation for *ad libitum* access to feed during WEI, or also, the use of a more energetic diet, such as a lactation diet in sows with excessive loss of body reserves (Close and Cole, 2001). However, increasing the post-weaning feed intake has not always resulted in improved reproductive performance. The amount of feed provided during the post-weaning period (2 kg/day or *ad libitum* feeding) has not influenced the WEI or number of piglets born alive in the subsequent cycle, even after feed restriction during lactation (Carroll *et al.*, 1996). Considering that nowadays the WEI is shorter than in previous decades, it is essential to know if nutritional manipulations during this short period improve subsequent reproductive performance. We hypothesized that high nutritional level during WEI no longer benefits sows with short WEI. Recent information on this topic is scarce, with Graham *et al.* (2015) reporting no improvement in reproductive performance by increasing the amount of gestation diet to sows with a good body condition score at weaning. The aim of this study was to evaluate the effect of two feed amounts (2.7 and 4.3 kg/day) and different diet types (gestation and lactation), provided during WEI, on body weight change, follicular size, and subsequent reproductive performance of primiparous and multiparous sows.

2. Materials and methods

Animals and housing

The study was performed in a commercial sow farm with an inventory of 5 000 sows, located in Santa Catarina State, Southern Brazil. During the treatment period (August to October), the temperature inside the barn ranged from 20.3 to 28.7 °C. Primiparous and multiparous Landrace × Large White crossbred sows (PIC Camborough, Hendersonville, TN) from 14 weaning batches were used. All sows were housed in farrowing crates (2.20 × 0.70 m) with *ad libitum* access to feed and water since the day they were moved in. After weaning, sows were housed in individual gestation crates (2.20 × 0.60 m) with *ad libitum* access to water. As feed troughs were not separated from one crate to the next, the sows of the same treatment were housed side by side.

Experimental design

The experimental design consisted of combinations of two feed intake levels offered during WEI (**MFL**: moderate feeding level - 2.7 kg/day and **HFL**: high feeding level - 4.3 kg/day), two types of diet (lactation and gestation diet; Table 1), and two parity order categories (primiparous and multiparous) in a 2 × 2 × 2 factorial arrangement. The levels of metabolizable energy (**ME**) and standard ileal digestible lysine (**SID Lys**) daily offered in MFL gestation diet, HFL gestation diet, MFL lactation diet, and HFL lactation diet, were, respectively, the following: 36.91, 58.78, 38.72 and 61.66 MJ ME; and 16.74, 26.66, 32.40 and 51.60 g SID Lys. The sows were uniformly distributed to the treatments according to the following characteristics: parity order, caliper units at weaning, caliper unit change during lactation, total

piglets born at previous farrowing, number of piglets weaned and lactation length.

Sample size

Initially, 1 320 sows were selected for the study. Eleven sows showed estrus on weaning day and could not be included in the study. Due to the variability in feed intake among sows, only sows that consumed at least 75% of offered feed were considered for analysis. This procedure aimed to avoid having HFL sows with a feed intake below or close to 2.7 kg/day, which corresponded to the MFL group. This cut would still allow a difference of at least 0.53 kg in feed intake between the maximum intake in MFL (2.7 kg) group and the minimum intake in HFL (3.23 kg).

In total, 19.0% of sows were excluded (249/1309) due to feed intake below 75%, being 9.6% (63/657) in MFL group and 28.5% (186/652) in HFL group. Within the MFL group, 9.0% and 9.8% primiparous and multiparous sows were excluded, respectively. Within the HFL group, 38.5% and 25.1% primiparous and multiparous sows were excluded, respectively. Following this procedure, 1 060 sows (254 primiparous and 806 multiparous) remained for reproductive performance evaluation. Furthermore, subsamples of 180 and 227 sows were used to respectively evaluate the follicle size at 96, 72, 48 and 24 h before ovulation and the change in body weight during WEI.

Nutritional and reproductive management

The diets were given daily from the day of weaning until the first insemination. The sows were fed three times a day, at 0700, 1200 and 1800

h, and feed wastage was recovered and weighed (scale Belmak ELP 30, with a precision of 2 g, São Paulo, Brazil) once a day. Sows were daily fed 2.0 kg gestation feed from the first artificial insemination until day 4 of gestation. From day 5 until day 35 of gestation, the sows with BCS < 3 and ≥ 3 were fed 2.8 and 2.0 kg/day, respectively. From day 36 until farrowing, all sows received 1.8 kg/day. Estrous detection was performed once a day in the presence of a mature boar. For post-cervical artificial insemination, pooled semen doses containing 1.5×10^9 sperm cells were used at estrous onset and repeated every 24 h while sows were in standing estrus (maximum of three inseminations). Sows not showing estrous signs until 10 days after weaning were considered in anestrus.

Data collection and measurements

At housing in farrowing room (approximately at day 112 of gestation) and at weaning, body condition score (**BCS**; 1= thin and 5= fat; Young *et al.*, 2004), backfat thickness (**BFT**) and caliper unit (scale 1 to 25; Knauer and Baitinger, 2015) were measured. The BFT was measured at the P2 point ([6.5 cm away from the midline of the vertebral column at the last rib level, considering both sides] with A-mode ultrasonography - Renco Lean Meter - Renco Corporation, Minneapolis, MN) in 219 and 761 primiparous and multiparous sows, respectively. The sows were weighed with a bar scale (Tru Test EW6, Auckland, New Zealand) with 500 g precision, at weaning and at breeding. The WEI, anestrus rate, farrowing rate, and litter size of subsequent farrowing were recorded. Females that returned to estrus after the first post-weaning insemination were not included in the statistical analyses for litter size.

Follicular growth

Daily evaluations of follicular growth were performed from weaning until ovulation using transrectal ultrasonography (model A6V, Sonoscape, Shenzhen, China) with a linear transducer (model 6761V, 11-5 MHz, SonoScape, Shenzhen, China). The three largest follicles of each ovary were measured daily (Knox and Rodrigues Zas, 2001). A noticeable reduction in the size and number of larger follicles from previous evaluation was considered as the ovulation had occurred. An additional evaluation was performed at 24 h after to confirm the ovulation status.

Statistical analysis

All data were analyzed using the Statistical Analysis System software, version 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The results were considered significant at $P \leq 0.05$. Data are expressed as Least Squares Means (**LSmeans**) \pm Standard error of the mean in the text, whereas RMSE is used in Tables. Each sow was considered as an experimental unit. The variables daily feed intake, WEI, and litter size were analyzed using the GLIMMIX procedure and LSmeans were compared using the Tukey-Kramer test. The farrowing rate and anestrus rate were analyzed as binary responses using logistic regression models. In all models, feeding level, diet type, parity, and their interactions, were considered as fixed effects. Day of weaning was considered as a random effect. When the interaction among fixed factors was significant, the results were explored accordingly, hence the effects of main factors were not discussed.

Analysis of follicular size concerning days after weaning were performed separately for each day since the number of sows with evaluations decreased as they expressed estrus. For these analyses, 180 sows (42 primiparous and 138 multiparous) were used in D1, D2 and D3 after weaning, whereas 170 and 106 sows were respectively used in D4 and D5 after weaning (weaning day was considered as day 0: **D0**). The follicular development relative to ovulation was analyzed as a repeated measure considering all the sows that had evaluation for 3 days before ovulation. In this model, feeding level, diet type, parity, time point (days before ovulation), and their interactions, were included in the model as fixed effects. Six sows in anestrus and six sows with ovarian cysts could not be included in this analysis, remaining 39 and 129 primiparous and multiparous sows, respectively.

Additional analyses were performed to investigate whether the variation in follicular size was related to WEI. For this, follicle size on each day after weaning was compared between different WEIs. The models contained the fixed effect of WEI length (3, 4, 5 or > 5 days) and weaning day as a random factor, whereas parity class was kept in the model, when significant, to account for the influence of parity on follicular size.

To investigate whether the effect of feed intake on WEI, farrowing rate and litter size was dependent on body condition of sows, classes of body reserves at weaning were created: **BFTW** (BFT at weaning <10.5 and ≥ 10.5 mm, for both primiparous and multiparous sows), **BCSW** (BCS at weaning <3.0 and ≥ 3.0 , for both primiparous and multiparous sows), and **CaliperW** (Caliper at weaning <11 and ≥ 11 , and <12 and ≥ 12 for primiparous and multiparous sows, respectively). These classes were

created considering the median of each variable, resulting in approximately 50% of sows in each class, except when the natural distribution of values did not allow to be close to 50%.

3. Results

On average, the sows had 3.0 ± 0.05 parities, 15.1 ± 0.09 total piglets born at previous farrowing, 11.9 ± 0.04 piglets weaned and 20.0 ± 0.1 days of lactation length. Caliper, BFT and BCS at weaning averaged 11.0 ± 0.06 units, 10.4 ± 0.07 mm and 2.7 ± 0.01 , respectively. Changes during lactation averaged -0.4 ± 0.06 caliper units, -0.5 ± 0.06 mm BFT, and -0.2 ± 0.01 units in BCS. None of those variables was different among the treatments ($P \geq 0.11$). The follicular size at weaning was similar between feeding levels (3.3 ± 0.12 vs. 3.2 ± 0.13 for MFL and HFL, respectively; $P = 0.70$), diet type (3.3 ± 0.13 vs. 3.2 ± 0.12 for gestation and lactation diet, respectively; $P = 0.27$) but lower in primiparous than multiparous sows (3.0 ± 0.14 vs. 3.5 ± 0.11 ; $P < 0.001$).

Daily feed intake

The feed intake of MFL and HFL groups averaged 2.5 ± 0.02 kg/day and 3.8 ± 0.02 kg/day, respectively. Feed intake was affected by feeding level, parity order and its interaction (Table 2; $P < 0.001$). No difference was observed between primiparous and multiparous sows within MFL ($P = 0.06$); however, within HFL, the primiparous sows consumed 181 g/day less than multiparous sows ($P < 0.001$). Diet type, and the interactions feeding level

× diet type, parity order × diet type, and feeding level × diet type × parity order did not influence feed intake ($P > 0.30$).

Body weight at breeding and change in body weight during weaning-to-estrus interval

As expected, multiparous were heavier than primiparous sows at breeding (199.6 ± 1.84 vs. 156.5 ± 3.08 kg; $P < 0.001$; Table 2). No significant effect was detected for feeding level, diet type or interactions ($P > 0.26$). Absolute weight change during WEI was affected by feeding level and parity order. Weaned sows fed HFL lost less body weight than those fed MFL (-5.3 ± 1.03 kg vs. -10.5 ± 0.94 kg; $P < 0.001$). Multiparous sows lost more ($P < 0.001$) absolute body weight during WEI (-10.7 ± 0.89 kg) than primiparous sows (-5.0 ± 1.07 kg). When analyzing the relative body weight loss, diet type and 2-way interactions were not significant ($P > 0.07$). However, significant effects of feeding level and parity ($P < 0.001$), as well as a significant 3-way interaction (feeding level × diet type × parity) were observed ($P = 0.03$). For gestation diet, both primiparous and multiparous sows lost proportionally less weight when fed HFL than MFL. Nevertheless, when lactation diet was offered, the percentage of weight loss was lower in the HFL than the MFL group only in multiparous sows, with no difference in primiparous sows.

Follicular size

The follicular size after weaning (Figure 1A) was not affected by feeding level ($P \geq 0.11$), diet type ($P \geq 0.07$) or interactions between these two factors or with parity category ($P \geq 0.13$) at any day of evaluation.

Multiparous sows had larger follicular size than primiparous sows at D1, D2, D3, and D4 (Figure 1 A; $P < 0.05$) but not at D5 after weaning ($P = 0.39$). The follicle size at 72, 48 and 24 h (Figure 1B) before ovulation was not affected by feeding level ($P = 0.36$), diet type ($P = 0.29$), or any interaction among the fixed factors ($P > 0.07$). Mean follicular size during the 72 h before ovulation was greater in multiparous than in primiparous sows ($P = 0.02$). Follicular size increased as ovulation approached, and it was larger at 24 or 48 h than at 72 h before ovulation (Figure 1 B; $P < 0.001$).

Follicular size according to weaning-to-estrus interval

The variation in follicular size among sows with different WEI lengths is shown in Table 3. At weaning and on D2 after weaning, larger follicle size was observed in sows with WEI of 3 days than in sows with longer WEI ($P < 0.02$). On D1, sows with WEI of 3 day had a larger follicle size than sows with WEI of 4 or 5 days, which had different follicle size between them ($P \leq 0.05$). Follicle size at D3 was larger in sows with WEI of 3 or 4 days than in sows with WEI longer than 5 days ($P \leq 0.04$). On D4 after weaning, the follicle size was larger in sows with WEI of 4 or 5 days than in sows with WEI longer than 5 days ($P \leq 0.005$). The follicle size at D5 after weaning was not different between sows with WEI of 5 and WEI longer than 5 days ($P = 0.32$).

Reproductive performance

Estrous expression occurred in 72.4% and 93.6% of the sows within 4 and 5 days after weaning, respectively, with 92.2% (977/1060) of sows expressing estrus within 3 to 5 days. Feeding level, diet type and its

interaction had no effect on WEI, anestrus rate, farrowing rate, total born and born alive piglets ($P > 0.10$). However, multiparous sows had shorter WEI (4.6 ± 0.12 days vs. 5.3 ± 0.21 days; $P = 0.001$), more total piglets born (15.3 ± 0.12 vs. 13.9 ± 0.23 piglets) and piglets born alive (14.4 ± 0.12 vs. 13.3 ± 0.22 piglets) than primiparous sows ($P < 0.001$; Table 2). Furthermore, when analyzed according to body condition classes at weaning, WEI, farrowing rate and total of piglets born were not affected by the feed level ($P \geq 0.19$ and ≥ 0.22 for primiparous and multiparous sows, respectively), classes of body reserves ($P \geq 0.24$ and ≥ 0.09 for primiparous and multiparous sows, respectively) or the interaction between feed level and classes of body reserves at weaning (Fig. 2; $P \geq 0.09$ and ≥ 0.23 for primiparous and multiparous sows, respectively).

4. Discussion

The WEI is one of the main components of non-productive days (Dial *et al.*, 1992). Prolonged WEI can affect sow productivity by reducing the number of farrowings per sow per year. The WEI is a time for starting the recovery of body reserves lost during lactation so that subsequent performance is not compromised, mainly in sows undergoing a greater lactational catabolism. Thus, there is a general recommendation to increase feed allowance or the energy content of the diet for weaned sows during the entire WEI. However, the WEI is nowadays shorter than several decades ago. While >10 days was common in the 1970s (Brooks and Cole, 1972), at the present time about 4 to 6 days is typical (Poleze *et al.*, 2006; Iida and Koketsu, 2014). In this new scenario, a shorter interval may be insufficient

to allow sows to recover their body reserves before breeding. To elucidate the benefits of *ad libitum* feeding and/or greater diet density to contemporary dam lines during this phase, the present study was structured as a factorial arrangement to determine the impact of feeding level and diet type on the performance of sows with different parities. It is important to mention that the aim was not to evaluate an extreme reduction but a moderate reduction in feed intake during WEI.

Parity order effect

Low parity sows, especially primiparous, have lower reproductive performance compared with multiparous sows, which might be due to an immature endocrine system and reduced feed intake capacity (Koketsu et al., 2017). Indeed, in this study, multiparous sows consumed 181 g/day more than primiparous sows when feed allowance was higher. The same pattern is also commonly observed when sows receive a high feed level during lactation (Koketsu and Dial, 1997).

The reduced feed intake during lactation in primiparous sows could result in small follicles at weaning (Zak et al., 1997b), taking more time to reach the pre-ovulatory size (Lucy et al., 2001). Weaning occurs at random stages of follicular development, causing variation in WEI (Lucy et al., 2001). We confirmed that primiparous sows had smaller follicles than multiparous sows at weaning, what could have contributed to their longer WEI.

Although primiparous sows have lower feed intake and are more susceptible to have reduced gonadotrophins secretion (van den Brand et al., 2000), no difference in anestrus rate was found between primiparous

and multiparous sows. Also, parity did not affect the farrowing rate. It is important to highlight that more than 90 % of sows were inseminated within 3 to 5 days after weaning, which has been reported to ensure a high farrowing rate (Poleze *et al.*, 2006).

The reduction in subsequent litter size observed in primiparous sows might be related to body reserves losses during lactation. Schenkel *et al.* (2010) reported smaller second litter in sows with a weight loss >10%, body protein loss >10%, body fat loss >20%, or a BCS loss ≥ 1.0 point. Although in the present study the body reserve losses were not so pronounced, primiparous sows lost more caliper units (-1.73 vs. -0.03), BCS (-0.52 vs. -0.12) and BFT (-1.35 vs. -0.27 mm) than multiparous sows ($P < 0.001$; data not shown). Thus, primiparous might have a lower ovulation rate (King and William, 1984) and or embryo survival (Baidoo *et al.*, 1992), compromising the subsequent litter size.

Ford *et al.* (2003) reported that the wet weight of mammary glands reduced to about 50, 40, and 30% of pre-weaning weight by days 4, 5, and 7 after weaning. Based on data reported by Ford *et al.* (2003), estimated losses in sows with 14 teats, due exclusively to mammary gland involution, should be 3.3, 4.0, and 4.7 kg at 4, 5, and 7 days after weaning, respectively. One of the major determinants of milk production and mammary growth is the size of suckling litter (Hurley, 2001), with mammary gland mass increasing as the litter size increases. In the present study, multiparous sows had more weaned piglets than primiparous sows (11.9 vs. 11.7 piglets; $P = 0.041$; data not shown). Thus, it can be assumed that multiparous sows had more mammary tissue to be involuted, explaining their higher body weight loss during WEI.

Diet type effect

In each phase, diets differ in terms of energy, protein and amino acid contents. During WEI, the dietary supplementation of fat improved estrous expression until 7 days after weaning and reproductive performance in sows with significant weight and fat losses during lactation (Grandhi, 1992). High dietary energy was also associated with a higher ovulation rate (Cox *et al.*, 1987). However, in the present study, there was no effect of diet type on any parameter evaluated. It is important to point out that diets used by Grandhi (1992) provided approximately 50% more daily energy and lysine intakes, whereas the lactation diet used in the present study had approximately 5% and 95% more metabolizable energy and lysine than the gestation diet.

Feeding level effect

Previous reports showed a high variability in feed intake during lactation (Koketsu *et al.*, 1996). Our findings suggest that similar variation can occur during WEI, even with no *ad libitum* access to feed. In the present study, almost 30% of the sows fed 4.3 kg/day had a feed intake below 75% of the offered feed. Surprisingly, even in MFL treatment (2.7 kg/day), almost 10% of the sows had a partial feed intake. After weaning, the sows are under considerable stress due to the abrupt removal of the piglets and change in accommodation, and generally have a reduced appetite for a few days (Close and Cole, 2001), which may have contributed to the variation in feed intake.

Weaned sows can lose weight because they persist in a catabolic state after weaning, even when fed *ad libitum* (Carroll *et al.*, 1996). Body weight losses ranging from 5.7 to 10.0 kg, during WEI, have been previously reported in primiparous sows, whose feed intake was not restricted during lactation (Carroll *et al.*, 1996; Zak *et al.*, 1998). In the present study, mobilization of body reserves during WEI was reduced in sows receiving more feed, showing that body reserve losses during WEI were, to a certain extent, buffered by a greater feeding level, in both primiparous and multiparous sows.

Sows with short WEI rapidly switch their LH secretion pattern from low frequency/high amplitude to high frequency/low amplitude pulses immediately after weaning, whereas sows with extended WEI show less pronounced or absent LH fluctuation (van den Brand *et al.*, 2000; Kemp *et al.*, 2018). Previous studies have shown that a greater feeding level reduced the WEI (Brooks and Cole, 1972) or had no effect in primiparous (King and Williams, 1984; Carroll *et al.*, 1996), or in multiparous sows (Brooks *et al.*, 1975). Similarly, in the present study, the WEI was not affected by feeding level, in agreement with other studies in which 3.0 or 6.0 kg (Baidoo *et al.*, 1992), and 2.7, 3.6 or 5.5 kg/day (Graham *et al.*, 2015) were offered to sows immediately after weaning. Surprisingly, even sows with lower body reserves at weaning did not show a decrease in WEI when fed HFL. Some factors may explain the discrepancy in results between studies: longer lactation periods, such as 42 days, and the likely greater catabolism experienced by primiparous sows (Brooks and Cole, 1972) in contrast to weaning performed at 28 days (Baidoo *et al.*, 1992) or approximately 20 days (Graham *et al.*, 2015; present study). Furthermore, the increased

feeding level was offered for 14 days on average (Brooks and Cole, 1972), whereas the increased feeding level was offered for shorter periods (less than 7 days) in the present study and in other studies in which WEI was not affected by post-weaning feeding level (Baidoo *et al.*, 1992; Graham *et al.*, 2015). The resistance of sows to losses in body reserves during lactation on changing WEI has been consistently demonstrated over the years (van den Brand *et al.*, 2000; Schenkel *et al.*, 2010; Kemp *et al.*, 2018).

Both time and duration of feed restriction may affect to what degree the low feeding level negatively influence follicular growth. Feeding restriction during a 28-days lactation period was associated with smaller follicles after weaning (Zak *et al.*, 1997b). These authors reported a greater number of small follicles (≤ 5 mm) at 108 h after weaning, in sows restricted from day 22 to 28 of lactation, and a lower number of oocytes reaching metaphase II, compared to those restricted from farrowing to day 21 and then fed to appetite from day 22 to 28 of lactation. Thus, the stage of follicular development, which begins before weaning, affects the WEI (Lucy *et al.*, 2001). In the present study, females were not fed-restricted during lactation, and feed intake during WEI was not likely limited enough to impair follicular growth. Indeed, follicle size at weaning and soon after weaning was already larger in sows with shorter WEI, indicating that follicle development is likely more associated with conditions before weaning than with the feed level after weaning. In agreement, larger follicles by Day 3 after weaning were also previously reported in sows with short intervals from weaning to ovulation (Bracken *et al.*, 2003).

The farrowing rate was not affected by feeding level, confirming the results reported by Brooks *et al.* (1975) and Graham *et al.* (2015). On the

other hand, Brooks and Cole (1972) found a decrease of 12.5% in farrowing rate and an increase of 25-33% in anestrus rate in primiparous sows fed 1.8 kg/day, compared to sows fed 2.7 or 3.6 kg/day during WEI, with no sign of cyclic activity at slaughter (42 days after weaning) in anestrus sows fed 1.8 kg/day. It is likely that the offer of 0.9 kg/day more in the present study (2.7 vs. 1.8 kg/day) than in that of Brooks and Cole (1972) compensated the loss of body reserves during lactation. Furthermore, for sows with a BCS ≥ 2.75 , the amount of 2.7 kg/day provided during WEI was proven to be enough to obtain very high ($\geq 95\%$) conception rates (Graham *et al.*, 2015). In our study, this moderate amount of feed also seemed to be adequate even for sows with low body condition at weaning, ensuring satisfactory subsequent reproductive results.

The litter size was not affected by feeding levels in both primiparous and multiparous sows, in agreement with some previous results (Brooks *et al.*, 1975; Carroll *et al.*, 1996; Graham *et al.*, 2015). In contrast, Brooks and Cole (1972) observed a tendency for litter size to be larger in sows fed 3.6 kg/day than in sows fed 1.8 kg/day, during WEI. Likewise, King and Williams (1984) reported a greater ovulation rate and litter size for primiparous sows that received more feed between weaning and mating (4.0 vs. 1.5 kg/day). The number of piglets born is affected by various factors, such as ovulation rate, fertilization rate, and embryo survival (Kemp *et al.*, 2018), and these factors can be directly affected by feeding restriction. Zak *et al.* (1997a) observed greater ovulation rate in lactating primiparous sows with higher feeding levels than those under feed restriction (19.9 and 15.4 corpora lutea, respectively). Hormones such as insulin act on granulosa cells, improving the recruitment of preovulatory follicles and preventing follicular

atresia (Cox *et al.*, 1987). Additionally, metabolic mediators like IGF-I amplify FSH action. When IGF-I is low in plasma and follicular fluid, as in restricted sows, the follicular recruitment of follicles may be altered (Prunier and Quesnel, 2000). Feed restriction impairs follicular development and oocyte maturation status (Zak *et al.*, 1997b) and, consequently, embryo survival (Zak *et al.*, 1997a). Furthermore, King and Williams (1984) mentioned that an increase in feed intake during WEI is only effective in increasing the litter size in situations where litter size is limited by ovulation rate and the WEI is long.

In conclusion, feeding weaned primiparous and multiparous sows with 4.3 kg/day of a gestation diet (58.78 MJ ME and 26.66 g SID Lys) or a lactation diet (61.66 MJ ME and 51.60 g SID Lys) does not improve the follicular size and reproductive performance in the subsequent cycle. In this scenario, it can be recommended to feed weaned sows with 2.7 kg/day of a gestation diet (36.91 MJ of ME and 16.74 g SID Lys).

Acknowledgments

The authors are thankful to Master Agroindustrial, especially to all staff from Master Carijos (Papanduva, Santa Catarina, Brazil) for providing the facilities for this study, and Agrocere PIC for the financial support for this project. This study was financed, in part, by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

Declaration of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethics statement

All management and procedures for this study were approved by the CEUA – Ethical Committee of Animal Utilization/ UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), process nº 34482.

Software and data repository resources

None of the data or models are deposited in an official repository.

References

Baidoo SK, Aherne FX, Kirkwood RN and Foxcroft GR 1992. Effect of feed intake during lactation and after weaning on sow reproductive performance. *Canadian Journal of Animal Science* 72, 911–917.

Bracken CJ, Lamberson WR, Safranski TJ and Lucy MC 2003. Factors affecting follicular populations on day 3 postweaning and interval to ovulation in a commercial sow herd. *Theriogenology* 60, 11 – 20.

Brooks P and Cole DJA 1972. Studies in sow reproduction 1. the effect of nutrition between weaning and remating on the reproductive performance of primiparous sows. *Animal Production* 15, 259–264.

Brooks PH, Cole DJA and Rowlinson P 1975. Studies in sow reproduction. 3. The effect of nutrition between weaning and remating on the reproductive performance of multiparous sows. *Animal Production* 20, 407–412.

Bryant KL, Kornegay ET, Knight JW, Webb Jr KE and Notter DR 1985. Supplemental biotin for swine. II. Influence of supplementation to corn-and wheat-based diets on reproductive performance and various biochemical criteria of sows during four parities. *Journal of Animal Science* 60, 145–153.

Carroll CM, Lynch PB, Boland MP, Spicer LJ, Austin FH, Leonard N, Enright WJ and Roche J F 1996. The effects of food intake during lactation and post weaning on the reproductive performance and hormone and metabolite concentration in primiparous sows. *Animal Production* 63, 297-306.

Clowes EJ, Aherne FX, Foxcroft GR and Baracos VE 2003. Selective protein loss in lactating sows is associated with reduced litter growth and ovarian function. *Journal of Animal Science* 81,753–764.

Close WH and Cole DJA 2000. Nutrition of sows and boars. Nottingham University Press, Nottingham, UK.

Cox NM, Stuart MJ, Althen TG, Bennett WA and Miller HW 1987. Enhancement of ovulation rate in gilts by increasing dietary energy and administering insulin during follicular growth. *Journal of Animal Science* 64, 507–516.

Dial GD, Marsh WE, Polson DD and Vaillancourt JP 1992. Reproductive failure: differential diagnosis. In *Diseases of Swine* (ed. AD Leman, BE Straw, WL Mengeling, S D’Allaire and DJ Taylor), pp. 88–137. Iowa State University Press, Ames, IA, USA.

Ford Jr JA, Kim SW, Rodrigues-Zas SL and Hurley WL 2003. Quantification of mammary gland tissue size and composition changes after weaning in sows. *Journal of Animal Science* 81, 2583-2589.

Graham A, Touchette KJ, Jugst S, Tegtmeyer M, Connor J and Greiner L 2015. Impact of feeding level postweaning on wean to estrus interval, conception and farrowing rates, and subsequent farrowing performance. *Journal of Animal Science* 93 (Suppl. 2),145.

Grandhi RR 1992. Effect of feeding supplemental fat or lysine during the post weaning period on the reproductive performance of sows with low or high lactation body weight loss. *Canadian Journal of Animal Science* 72, 679–690.

Hurley WL 2001. Mammary gland growth in the lactating sow. *Livestock Production Science* 70, 149–157.

Iida R and Koketsu Y 2014. Interactions between pre- or post-service climatic factors, parity, and weaning-to-first-mating interval for total number of pigs born of female pigs serviced during hot and humid or cold seasons. *Journal of Animal Science* 92, 4180–4188.

Johnston LJ, Orr DE, Tribble LF and Clark J R 1986. Effect of lactation and rebreeding phase energy intake on primiparous and multiparous sow performance. *Journal of Animal Science* 63, 804–814.

Kemp B, Da Silva CLA and Soede NM 2018. Recent advances in pig reproduction: focus on impact of genetic selection for female fertility. *Reproduction in Domestic Animals* 53, 28-36.

King RH and Williams IH 1984. The effect of nutrition on the reproductive performance of first-litter sows 1. feeding level during lactation and between weaning and mating. *Animal Production* 38, 241-247.

Knauer MT and Baitinger DJ 2015. The sow body condition caliper. *Applied Science and Engineering Community of ASABE* 31, 175–178.

Knox RV and Rodrigues Zs SL 2001. Factors influencing estrus and ovulation in weaned sows as determined by transrectal ultrasound. *Journal of Animal Science* 79, 2957–2963.

Koketsu Y and Dial GD 1997. Factors influencing the postweaning reproductive performance of sows on commercial farms. *Theriogenology* 47, 445–446.

Koketsu Y, Dial GD, Pettigrew JE and Marsh WE 1996. Characterization of feed intake patterns during lactation in commercial swine herds. *Journal of Animal Science* 74, 1202–1210.

Koketsu Y, Tani S and Iida R 2017. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Management* 3, 1-10.

Lucy MC, Liu J, Boyd CK and Bracken CJ 2001. Ovarian follicular growth in pigs. In *Control of Pig Reproduction VI* (ed. RD Geisert, H Niemann and C Doberska), pp. 31-45, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

National Research Council (NRC) 2012. Nutrient requirements of swine, 11th revised edition. National Academy Press, Washington, DC, USA.

Poleze E, Bernardi ML, Amaral Filha WS, Wentz I and Bortolozzo FP 2006. Consequences of variation in weaning-to-estrus interval on reproductive performance of swine females. *Livestock Science* 103, 124–130.

Prunier A and Quesnel H 2000. Influence of the nutritional status on ovarian development in female pigs. *Animal Reproduction Science* 60, 185–197.

Quesnel H 2009. Nutritional and lactational effects on follicular development in the pig. In *Control of pig reproduction VIII* (ed. H Rodriguez-Martinez, JL Vallet and AJ Ziecik), pp. 121–134. Nottingham University Press, Nottingham, UK.

Quesnel H, Pasquier A, Mounier AM and Prunier A 2000. Feed restriction in cyclic gilts: gonadotropin-independent effects on follicular growth. *Reproduction Nutrition Development* 40, 405–414.

Schenkel AC, Bernardi ML, Bortolozzo FP and Wentz I 2010. Body reserve mobilization during lactation in first parity sows and its effect on second litter size. *Livestock Science* 132, 165–172.

Van den Brand H, Dieleman SJ, Soede NM and Kemp B 2000. Dietary energy source at two feeding levels during lactation of primiparous sows: I. effects on glucose, insulin, and luteinizing hormone and on follicle development, weaning-to-estrus interval, and ovulation rate. *Journal of Animal Science* 78, 396–404.

Young MG, Tokach MD, Aherne FX, Main RG, Dritz SS, Goodband RD and Nelssen JL 2004. Comparison of three methods of feeding sows in gestation and the subsequent effects on lactation performance. *Journal of Animal Science* 82, 3058–3070.

Zak LJ, Cosgrove JR, Aherne FX and Foxcroft GR 1997a. Pattern of feed intake and associated metabolic and endocrine changes differentially affect postweaning fertility in primiparous lactating sows. *Journal of Animal Science* 75, 208–216.

Zak LJ, Xu X, Hardin R and Foxcroft G 1997b. Impact of different patterns of feed intake during lactation in the primiparous sow on follicular development and oocyte maturation. *Journal of Reproduction and Fertility* 110, 99–106.

Zak LJ, Williams IH, Foxcroft GR, Pluske JR, Cegielski AC, Clowes EJ and Aherne F X 1998. Feeding lactating primiparous sows to establish three divergent metabolic states: I. associated endocrine changes and postweaning reproductive performance. *Journal of Animal Science* 76, 1145–1153.

Table 1. *Composition of the experimental diets (as-fed basis)*

Ingredient	Gestation	Lactation
Corn	82.66	66.62
Soybean meal	13.80	26.06
Meat and bone meal	-	1.00
Soybean oil	-	2.82
Vitamin and mineral premix ¹	0.50	0.50
Dicalcium phosphate	0.96	0.69
Limestone	1.26	0.97
Salt	0.50	0.50
L-Lys Hcl	0.13	0.46
DL-Met	0.02	0.15
L-Thr	0.06	0.17
L-Trp	-	0.05
Phytase	0.01	0.01
Toxin binder ²	0.10	-
Total	100.00	100.00
Calculated analysis		
SID ³ AA ⁴ , %		
Lysine, %	0.62	1.20
Methionine + Cystine: Lysine, %	70.00	56.00
Threonine: Lysine, %	74.00	62.00
Tryptophan: Lysine, %	20.00	20.00
Valine: Lysine, %	85.00	61.00
ME ⁵ , MJ/kg	13.67	14.34
CP, %	13.58	19.18
Ca, %	0.79	0.71
STTD ⁶ P, %	0.27	0.28
Na, %	0.23	0.24
Cl, %	0.45	0.60

¹Provided per kilogram of gestation diet: 10 800 IU of vitamin A; 2 460 IU of vitamin D₃; 72 IU of vitamin E; 3.08 mg of vitamin K₃; 2.30 mg of vitamin B₁; 5.06 mg of riboflavin (B₂); 2.76 mg of pyridoxine (B₆); 30.82 µg of vitamin B₁₂; 30.82 mg of niacin; 23.80 mg of pantothenic acid; 1.93 mg of folic acid; 0.47 mg of biotin; 1.6 g of choline; 0.40 mg of selenium; 115.95 mg of iron; 25.0 mg of copper; 40.77 mg of manganese; 138.07 mg of zinc; 0.42 mg of iodine. Provided, per kilogram of lactation diet: 11 000 IU of vitamin A; 2 400 IU of vitamin D₃; 80 IU of vitamin E; 2.68 mg of vitamin K₃; 2.00 mg of vitamin B₁; 4.4 mg of riboflavin (B₂); 2.4 mg pyridoxine (B₆); 26.8 µg of vitamin B₁₂; 26.8 mg of niacin; 12.0 mg of pantothenic acid; 1.68 mg of folic acid; 0.37 mg of biotin; 1.90 g of choline; 0.400 mg of selenium; 113.20 mg of iron; 50.0 mg of copper; 42.37 mg of manganese; 131.67 mg of zinc; 1.26 mg of iodine.

²Mycofix (Biotin, São Paulo, Brazil).

³SID = standardized ileal digestible.

⁴AA: Amino acids.

⁵ME = Metabolizable energy; energy values of ingredients were obtained from NRC 2012.

⁶STTD = standardized total tract digestible.

Table 2. Effects of diet type (gestation or lactation) and feeding level (MFL: 2.3 kg/d or HFL: 4.7 kg/d) during the weaning-to-estrus interval (WEI) on feed intake, body weight (BW) changes during WEI and reproductive performance of primiparous and multiparous sows (Last Square means)

Variables	Parity		Feed Level		Diet Type		RMSE	Effects ³
	Prim	Mult	MFL	HFL	Gestation	Lactation		
Number of sows	254	806	594	466	512	548		
ADFI, kg	3.1	3.2	2.5	3.8	3.2	3.2	0.25	F***, P***, FxP**
BW at breeding ¹ , kg	156.5	199.6	176.1	180.1	178.0	178.2	23.30	P***
BW change ¹ , kg	-5.0	-10.7	-10.5	-5.3	-7.4	-8.3	5.83	F***, P***
BW change ¹ , %	-2.9	-5.0	-5.5	-2.5	-3.8	-4.2	2.8	F***, P***, FxDxP**
WEI, d	5.3	4.6	4.8	5.1	4.9	5.0	3.3	P**
Anestrus rate ² , %	5.5	3.3	4.1	4.5	3.9	4.7	19.76	ns
Farrowing rate, %	89.9	93.1	93.1	90.0	92.6	90.6	26.79	ns
Total piglets born	13.9	15.3	14.6	14.6	14.6	14.7	3.30	P***
Piglets born alive	13.3	14.4	13.8	13.8	13.8	13.8	3.16	P***

F: feeding level; D: diet type; P: parity order; ADFI: average daily feed intake; Prim: primiparous; Mult: multiparous.

¹Evaluated in a subsample of 227 sows.

²Anestrus: sows not showing estrus until 10 d after weaning.

³The factors or interactions not presented here were not significant ($P > 0.05$) for any variables; ns= any factor was significant ($P > 0.05$).

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$.

ADFI - FxP interaction: within HFL (Prim: 3.7a kg × Mult: 3.9b kg) and within MFL (Prim: 2.5 kg × Mult: 2.6 kg).

BW change, % - FxDxP interaction: Prim gestation (MFL: -5.58a × HFL: -0.03b); Prim lactation (MFL: -4.07 × HFL: -2.08); Mult gestation (MFL: -5.76a × HFL: -3.69b); Mult lactation (MFL: -6.52a × HFL: - 4.20b). a,b are different at $P < 0.05$.

Table 3. Follicle size at weaning (D0) and after weaning according to weaning-to-estrus interval (WEI) length of primiparous and multiparous sows (Least square means)

Days relative to weaning	Weaning-to-estrus interval, days				RMSE
	3 (n = 8)	4 (n = 122)	5 (n = 39)	>5 (n = 11)	
D0	4.3 ^a	3.2 ^b	3.0 ^b	3.3 ^b	0.58
D1	4.5 ^a	3.9 ^b	3.6 ^c	4.0 ^{ab}	0.58
D2	5.1 ^a	4.3 ^b	4.1 ^b	4.1 ^b	0.65
D3	5.3 ^a	5.0 ^a	4.8 ^{ab}	4.4 ^b	0.72
D4 ¹	-	5.1 ^a	5.1 ^a	4.3 ^b	0.66
D5 ¹	-	-	5.4	5.0	0.86

¹ Sows with WEI shorter than 4 and 5 days were not included in the analysis of follicular size on day 4 and 5, respectively.

RMSE = Root Mean of square error.

^{abc} indicate differences among WEI lengths, within each day ($P < 0.05$).

There was no difference on D5 ($P = 0.32$).

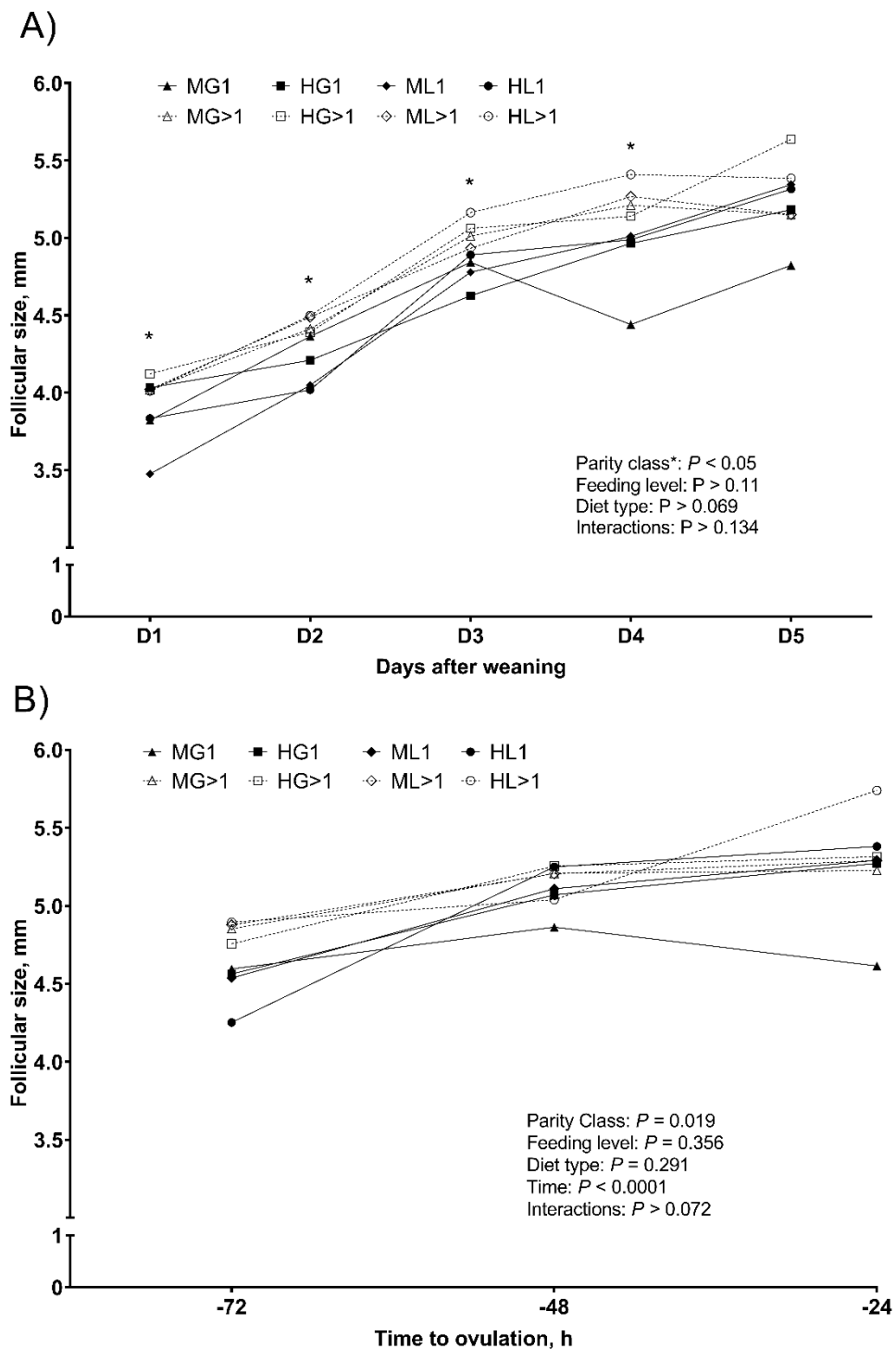


Figure 1. Follicular size after weaning (A) or before ovulation (B) according to two levels (M: Moderate: 2.7 kg/day or H: high: 4.3 kg/day) of different types of diet G: gestation or L: lactation diet) offered during the weaning-to-estrus interval in primiparous (1) or multiparous sows (>1). (*) Asterisks differ statistically at $P \leq 0.05$.

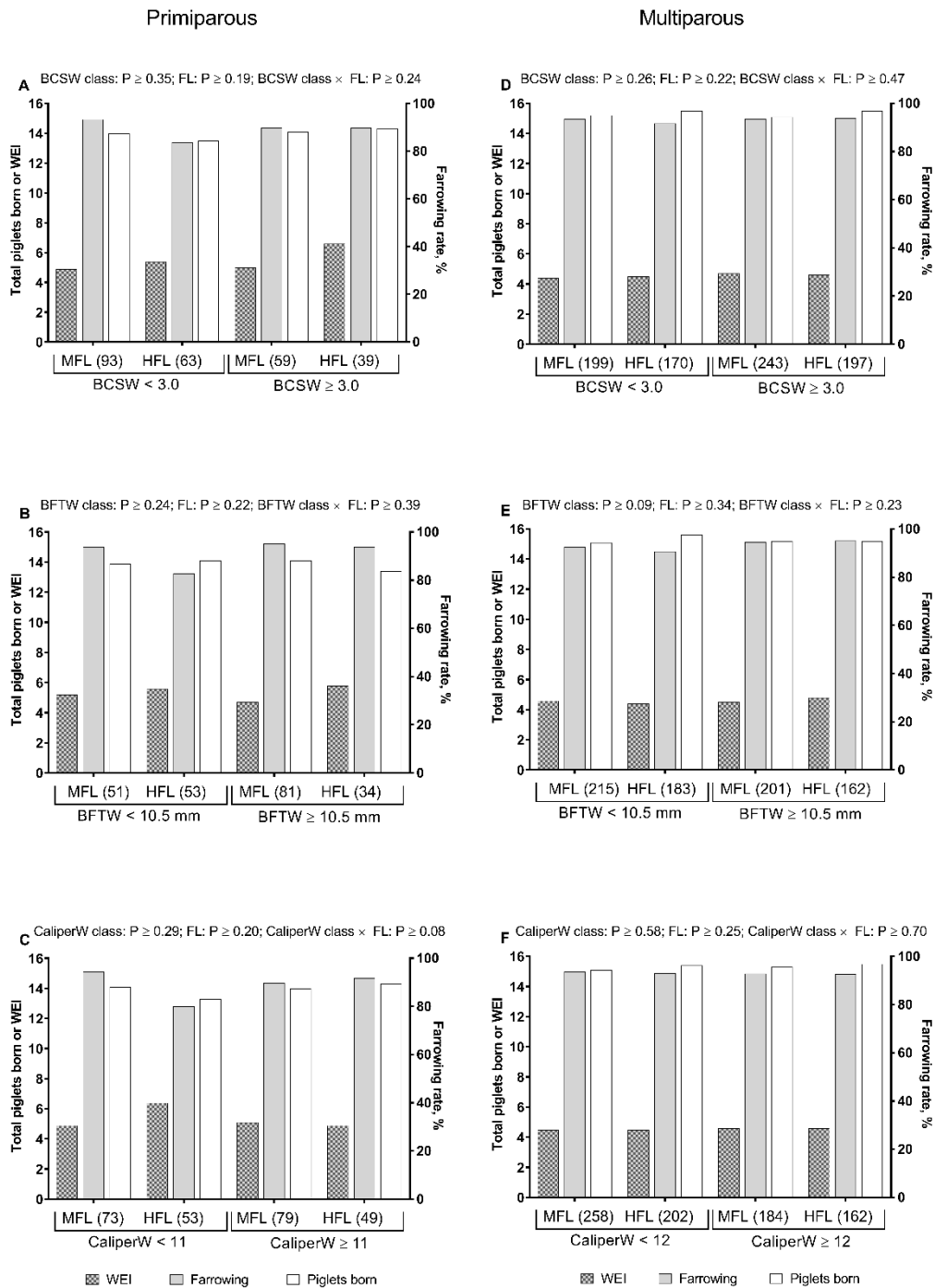


Figure 2. Weaning-to-estrus interval (WEI), farrowing rate and total piglets born according to body reserves at weaning (body condition score – BCSW, backfat thickness - BFTW, and Caliper units - CaliperW) and the feed level (MFL: Moderate - 2.7 kg/day or HFL: high - 4.3 kg/day) offered during the WEI in primiparous (A, B, C) and multiparous sows (D, E, F).

Values inside the parentheses: number of sows in each class.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A lactação é uma das fases em que a fêmea apresenta maiores necessidades nutricionais. São necessários nutrientes para a manutenção, produção de leite, e no caso de primíparas, para o crescimento. Dessa forma, o consumo durante a lactação é geralmente insuficiente para atender todas as necessidades e com isso, a matriz mobiliza suas reservas corporais para suprir as suas necessidades entrando em um estado catabólico. Nos casos em que ocorre um grau muito acentuado de catabolismo, pode ocorrer um comprometimento no desenvolvimento folicular e desempenho reprodutivo pós-desmame.

Como formas de solucionar esse problema, as granjas usualmente aumentam a quantidade de ração, em muitos casos recomendam o fornecimento a vontade durante o intervalo desmame-estro (IDE) e as vezes trabalhando com uma ração mais energética e principalmente mais proteica, como a lactação. O foco dessa prática é recuperar a fêmea de um estado catabólico e para melhorar o crescimento folicular, taxa ovulatória e desempenho reprodutivo. Nas últimas décadas, esse manejo tem sido aplicado nas unidades de produção de forma parcialmente empírica, sem comprovação científica. No entanto, o perfil do IDE mudou consideravelmente, passando de 13 - 17 dias nos anos 80 (BRYANT *et al.*, 1985; JOHNSTON *et al.*, 1986) para 4-5 dias nos dias de hoje. Essa mudança resultou na necessidade de novos estudos sobre essa temática (GRAHAM *et al.*, 2015). Com o objetivo de preencher essa lacuna o presente estudo foi realizado no qual essa prática não apresentou aumento na produtividade das fêmeas, independente da categoria e do estado corporal ao desmame.

Além disso, uma parcela expressiva das fêmeas que receberam alta quantidade de ração não ingeriu a quantidade total. Esse baixo consumo foi associado a alguns fatores ligados a condição corporal, expressão de estro e ordem de parto. Contudo, mesmo fêmeas que consumiram pouco durante o IDE não apresentaram redução no desempenho reprodutivo subsequente. Dessa forma, com os presentes resultados, a indústria pode adotar uma nova estratégia alimentar durante o IDE visando reduzir custos com a alimentação de fêmeas além de reduzir a excreção de dejetos.

A adoção dessa estratégia de alimentar as fêmeas com uma quantidade moderada de ração gestação (2,7 kg/d) ao invés de alta quantidade (4,3 kg/d), como

demonstrado no presente trabalho, resultaria em uma redução de aproximadamente 18 kg/fêmea/ano, considerando um IDE médio de 4,5 dias e 2,5 partos/fêmea/ano. Além disso, geralmente, após o desmame as fêmeas são alojadas em galpões de gestação e dessa forma o uso de ração gestação se torna mais fácil já que para utilizar a ração lactação seria necessário ou um silo e uma linha específica para ração lactação ou que seja fornecida manualmente. Para o emprego dessa prática deve-se ter em mente que no presente trabalho o nível 2,7 kg/dia foi assegurado para todas as fêmeas. Dessa forma, a regulação dos *drops* e a conferência da quantidade que está sendo entregue para cada fêmea deve ser feita com periodicidade. Além disso, é importante salientar que o estudo foi realizado com apenas uma linhagem genética, e assim novas avaliações devem ser realizadas com genéticas diferentes.

Outra estratégia avaliada foi a utilização de progestágenos durante a última semana de lactação. Como mencionado anteriormente, fêmeas que apresentam um elevado catabolismo apresentam uma pior qualidade folicular devido a seleção de folículos que cresceram sob um ambiente adverso nos últimos dias de lactação, resultando em pior desempenho reprodutivo. Na última semana de lactação, ocorre o desenvolvimento de ondas foliculares, onde um grupo de 20-30 folículos crescem até aproximadamente 5 mm e após regredem para permitir o desenvolvimento de uma nova onda. Contudo, se o desmame ocorrer durante o crescimento de uma onda folicular, esses folículos, selecionados durante a lactação, mais sujeitos a sofrer influência de uma restrição alimentar, chegariam à ovulação. Dessa forma, o bloqueio do crescimento folicular durante a última semana de lactação pode garantir que os folículos serão selecionados após o desmame. Nos resultados encontrados neste estudo, o tratamento com altrenogest melhorou as características ovarianas (tamanho folicular, tamanho de corpo lúteo e maior uniformidade de *corpora lútea*), mas não melhorou o desempenho reprodutivo subsequente.

Além da melhora das qualidades ovarianas, uma maior concentração de fêmeas expressando estro no dia cinco pós-desmame foi encontrada no grupo altrenogest. Dessa forma, essa estratégia pode ser utilizada para uma maior concentração das inseminações ou mesmo para a aplicação de protocolos de inseminação artificial em tempo fixo (IATF). Contudo, é importante ressaltar que esse manejo, de fornecer o altrenogest às fêmeas, deve ser realizado diariamente, o

que torna a prática laboriosa. A administração de alrenogest uma vez ao dia é adequada para a supressão folicular para evitar a entrada em estro, contudo, surge a dúvida se para outras funções, como um aumento expressivo no diâmetro folicular e do corpo lúteo a dosagem e a frequência utilizada no presente estudo é adequada ou se o progestágeno é o mais adequado para a supressão folicular. Dessa forma, estudos futuros são necessários para elucidar essas questões.

Dessa forma, com o presente trabalho pode se concluir que o fornecimento de alta quantidade de ração ou o uso de ração lactação não constituem uma prática vantajosa em fêmeas modernas com o IDE de 4-5 dias. Além disso, fêmeas com melhor condição corporal ao parto e ao desmame e primíparas possuem mais chance de apresentar baixo consumo durante o IDE. O uso de altrenogest na última semana de lactação aumentou o diâmetro folicular após o desmame, o tamanho de corpo lúteo e a uniformidade da *corpora lutea* e concentrou a expressão de estro em até cinco dias após o desmame, porém não influenciou o desempenho reprodutivo nem o peso dos leitões ao nascer.

4. REFERÊNCIAS

- BAIDOO, S. *et al.* Effect of feed intake during lactation and after weaning on sow reproductive performance. **Canadian Journal of Animal Science**. v. 72, n. 4, p. 911-917, 1992.
- BARB, C.; HAUSMAN, G.; CZAJA, K. Leptin: a metabolic signal affecting central regulation of reproduction in the pig. **Domestic animal endocrinology**. v. 29, n. 1, p. 186-192, 2005.
- BARB, C.; KRAELING, R.; RAMPACEK, G. Nutritional regulators of the hypothalamic-pituitary axis in pigs. **Reproduction (Cambridge, England) Supplement**. v. 58, p. 1-15, 2001.
- BIERHALS, T. *et al.* Influence of pig weight classification at cross-fostering on the performance of the primiparous sow and the adopted litter. **Livestock Science**. v. 146, n. 2-3, p. 115-122, 2012.
- BROOKS, P.; COLE, D. Studies in sow reproduction 1. The effect of nutrition between weaning and remating on the reproductive performance of primiparous sows. **Animal Science**. v. 15, n. 3, p. 259-264, 1972.
- BROOKS, P. *et al.* Studies in sow reproduction. 3. The effect of nutrition between weaning and remating on the reproductive performance of multiparous sows. **Animal Production**. v. 20, n. 03, p. 407-412, 1975.
- BRUUN, T. S. *et al.* Reproductive performance of “nurse sows” in Danish piggeries. **Theriogenology**. 2016.
- BRYANT, K. *et al.* Supplemental biotin for swine. II. Influence of supplementation to corn-and wheat-based diets on reproductive performance and various biochemical criteria of sows during four parities. **Journal of Animal Science**. v. 60, n. 1, p. 145-153, 1985.
- CARREGARO, F. *et al.* Reflexo do período de lactação na produtividade de porcas primíparas e multíparas. **Acta Scientiae Veterinariae**. v. 34, n. 1, 2006.
- CLOSE, W. H.; COLE, D. J. A. **Nutrition of sows and boars**. 2º. ed. Nottingham, UK: Nottingham University Press, 2001. v. 377 p.
- CLOWES, E.; AHERNE, F.; FOXCROFT, G. Effect of delayed breeding on the endocrinology and fecundity of sows. **Journal of Animal Science**. v. 72, n. 2, p. 283-291, 1994.
- COSTA, E. *et al.* Influence of the lactation length in the subsequent litter size of sows. **Animal Reproduction (AR)**. v. 1, n. 1, p. 111-114, 2018.

COX, N. *et al.* Enhancement of ovulation rate in gilts by increasing dietary energy and administering insulin during follicular growth. **Journal of Animal Science.** v. 64, n. 2, p. 507-516, 1987.

DA SILVA, C. L. A. *et al.* Validation of transrectal ultrasonography for assessment of corpora lutea characteristics in pregnant sows and its relationship with litter characteristics at birth. **Translational Animal Science.** v. 1, n. 4, p. 507-517, 2017.

DALLANORA, D. *et al.* **Intervalo desmame-estro e anestro pós-lactacional em suínos.** ed. Porto Alegre: Editora Pallotti, 2004. v.

DE RENSIS, F. *et al.* Relationships between backfat depth and plasma leptin during lactation and sow reproductive performance after weaning. **Animal reproduction science.** v. 90, n. 1, p. 95-100, 2005.

DE RENSIS, F.; HUNTER, M. G.; FOXCROFT, G. Suckling-induced inhibition of luteinizing hormone secretion and follicular development in the early postpartum sow. **Biology of reproduction.** v. 48, n. 5, p. 964-969, 1993.

DE RENSIS, F. *et al.* Effect of duration of altrenogest treatment on farrowing rate and litter size of gilts. **Animal Production Science.** v. 58, n. 11, p. 2029-2031, 2018.

DIAL, G. *et al.* Reproductive failure: differential diagnosis. **Diseases of swine.** v. 7, p. 88-137, 1992.

FOXCROFT, G. Mechanisms mediating nutritional effects on embryonic survival in pigs. **Journal of reproduction and fertility. Supplement.** v. 52, p. 47-61, 1997.

GAGGINI, T. S. *et al.* Altrenogest treatment associated with a farrowing induction protocol to avoid early parturition in sows. **Reproduction in domestic animals.** v. 48, n. 3, p. 390-395, 2013.

GRAHAM, A. *et al.* Impact of feeding level postweaning on wean to estrus interval, conception and farrowing rates, and subsequent farrowing performance[abstract]. **Journal of Animal Science.** v. 93, n. Suppl. 2, p. 72, 2015.

GRANDHI, R. Effect of feeding supplemental fat or lysine during the postweaning period on the reproductive performance of sows with low or high lactation body weight and fat losses. **Canadian Journal of Animal Science.** v. 72, n. 3, p. 679-690, 1992.

GUEDES, R.; NOGUEIRA, R. The influence of parity order and body condition and serum hormones on weaning-to-estrus interval of sows. **Animal reproduction science.** v. 67, n. 1, p. 91-99, 2001.

GUTHRIE, H.; BOLT, D.; COOPER, B. Effects of gonadotropin treatment on ovarian follicle growth and granulosa cell aromatase activity in prepuberal gilts. **Journal of Animal Science.** v. 68, n. 11, p. 3719-3726, 1990.

GUTHRIE, H. *et al.* Expression of different molecular mass forms of inhibin in atretic and nonatretic follicles during the early luteal phase and altrenogest-synchronized follicular phase in pigs. **Biology of reproduction**. v. 56, n. 4, p. 870-877, 1997.

GUYTON, A.; HALL, J. Insulina, Glucagon e Diabets Melito. *In: Tratado de fisiologia médica*. 11 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, v. cap. 78, p.1115, 2006.

HAZELEGER, W.; SOEDE, N.; KEMP, B. The effect of feeding strategy during the pre-follicular phase on subsequent follicular development in the pig. **Domestic animal endocrinology**. v. 29, n. 2, p. 362-370, 2005.

HOVING, L. *et al.* Lactation weight loss in primiparous sows: consequences for embryo survival and progesterone and relations with metabolic profiles. **Reproduction in domestic animals**. v. 47, n. 6, p. 1009-1016, 2012.

ITOH, T. *et al.* Growth, antrum formation, and estradiol production of bovine preantral follicles cultured in a serum-free medium. **Biology of reproduction**. v. 67, n. 4, p. 1099-1105, 2002.

JOHNSTON, L. *et al.* Effect of Lactation and Rebreding Phase Energy Intake on Primiparous and Multiparous Sow Performance 1. **Journal of Animal Science**. v. 63, n. 3, p. 804-814, 1986.

KEMP, B.; DA, C. S.; SOEDE, N. M. Recent advances in pig reproduction: Focus on impact of genetic selection for female fertility. **Reproduction in domestic animals= Zuchthygiene**. v. 53, p. 28-36, 2018.

KEMP, B.; SOEDE, N.; LANGENDIJK, P. Effects of boar contact and housing conditions on estrus expression in sows. **Theriogenology**. v. 63, n. 2, p. 643-656, 2005.

KING, R. *et al.* The influence of piglet body weight on milk production of sows. **Livestock Production Science**. v. 47, n. 2, p. 169-174, 1997.

KINGSBURY, D.; RAWLINGS, N. Effect of exposure to a boar on circulating concentrations of LH, FSH, cortisol and oestradiol in prepubertal gilts. **Reproduction**. v. 98, n. 1, p. 245-250, 1993.

KITKHA, S. *et al.* Effects of altrenogest treatment in sows on the variation of piglet birth weight and pre-weaning piglet performance. **Agriculture and Natural Resources**. v. 51, n. 4, p. 303-309, 2017.

KNOX, R. *et al.* Effect of housing system and boar exposure on estrus expression in weaned sows. **Journal of Animal Science**. v. 82, n. 10, p. 3088-3093, 2004.

KNOX, R. V. Recruitment and selection of ovarian follicles for determination of ovulation rate in the pig. **Domestic animal endocrinology**. v. 29, n. 2, p. 385-397, 2005.

KNOX, R. V. *et al.* Effect of frequency of boar exposure and adjusted mating times on measures of reproductive performance in weaned sows. **Journal of Animal Science**. v. 80, n. 4, p. 892-899, 2002.

KNOX, R. V.; RODRIGUEZ -ZAS, S. Factors influencing estrus and ovulation in weaned sows as determined by transrectal ultrasound. **Journal of Animal Science**. v. 79, n. 12, p. 2957-2963, 2001.

KOKETSU, Y.; DIAL, G. Factors influencing the postweaning reproductive performance of sows on commercial farms. **Theriogenology**. v. 47, n. 7, p. 1445-1461, 1997.

KULLER, W. *et al.* Intermittent suckling: Effects on piglet and sow performance before and after weaning. **Journal of Animal Science**. v. 82, n. 2, p. 405-413, 2004.

LANGENDIJK, P. *et al.* Effect of boar contact on follicular development and on estrus expression after weaning in primiparous sows. **Theriogenology**. v. 54, n. 8, p. 1295-1303, 2000.

LOPES, T. *et al.* Altrenogest treatment before weaning improves litter size in sows. **Reproduction in domestic animals**. v. 52, p. 75-77, 2017.

LUCY, M. *et al.* Ovarian follicular growth in sows. **Reproduction (Cambridge, England) Supplement**. v. 58, p. 31-45, 2001.

MALLMANN, A. L. *et al.* Two different feeding levels during late gestation in gilts and sows under commercial conditions: impact on piglet birth weight and female reproductive performance. **Journal of Animal Science**. v. 96, n. 10, p. 4209-4219, 2018.

MARTINAT-BOTTÉ, F. *et al.* Synchronization of oestrus in gilts with altrenogest: effects on ovulation rate and foetal survival. **Animal reproduction science**. v. 39, n. 4, p. 267-274, 1995.

MIHM, M. *et al.* Association between the duration of dominance of the ovulatory follicle and pregnancy rate in beef heifers. **Reproduction**. v. 102, n. 1, p. 123-130, 1994.

PALMER, W.; TEAGUE, H.; VENZKE, W. Macroscopic observations on the reproductive tract of the sow during lactation and early postweaning. **Journal of Animal Science**. v. 24, n. 2, p. 541-545, 1965.

PATTERSON, J. *et al.* Responses to delayed estrus after weaning in sows using oral progestagen treatment. **Journal of Animal Science**. v. 86, n. 8, p. 1996-2004, 2008.

PATTERSON, J. *et al.* Effect of skip-a-heat breeding on subsequent reproductive performance in 1st parity sows. **Advances in Pork Production**. v. 17, 2006.

PENZ JR, A. M.; BRUNO, D.; SILVA, G. Interação nutrição-reprodução em suínos. **Acta Scientiae Veterinariae**. v. 37, n. Supl 1, p. s183-s194, 2009.

PERRY, J.; ROWELL, J. Variations in foetal weight and vascular supply along the uterine horn of the pig. **Reproduction**. v. 19, n. 3, p. 527-534, 1969.

POPE, W. *et al.* Causes and consequences of early embryonic diversity in pigs. **Journal of reproduction and fertility. Supplement**. v. 40, p. 251-260, 1990.

PRUNIER, A.; QUESNEL, H. Nutritional influences on the hormonal control of reproduction in female pigs. **Livestock Production Science**. v. 63, n. 1, p. 1-16, 2000.

QUESNEL, H. Nutritional and lactational effects on follicular development in the pig. *In: Control of pig reproduction VIII*. 1° ed. Nottingham UK: Nottingham University Press, v. 8. p.121-134, 2009.

QUESNEL, H.; ETIENNE, M.; PÈRE, M.-C. Influence of litter size on metabolic status and reproductive axis in primiparous sows. **Journal of Animal Science**. v. 85, n. 1, p. 118-128, 2007.

QUESNEL, H. *et al.* Influence of feed restriction during lactation on gonadotropic hormones and ovarian development in primiparous sows. **Journal of Animal Science**. v. 76, n. 3, p. 856-863, 1998.

QUESNEL, H.; PRUNIER, A. Endocrine bases of lactational anoestrus in the sow. **Reproduction Nutrition Development**. v. 35, n. 4, p. 395-414, 1995.

REDMER, D.; DAY, B. Ovarian activity and hormonal patterns in gilts fed allyl trenbolone. **Journal of Animal Science**. v. 53, n. 4, p. 1088-1094, 1981.

ROJKITTIKHUN, T. *et al.* Effects of insulin administration at weaning on hormonal patterns and reproductive performance in primiparous sows. **Journal of Veterinary Medicine Series A**. v. 40, n. 1-10, p. 161-168, 1993.

SCHENKEL, A. *et al.* Body reserve mobilization during lactation in first parity sows and its effect on second litter size. **Livestock Science**. v. 132, n. 1-3, p. 165-172, 2010.

SCHMIDT, C. M.; CHIBA, L. I.; HOOD, W. R. The effects of parity and litter size on bone metabolic activity in pregnant and lactating sows. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. v. 102, n. 6, p. 1651-1656, 2018.

SHAW, H.; FOXCROFT, G. Relationships between LH, FSH and prolactin secretion and reproductive activity in the weaned sow. **Journal of reproduction and fertility**. v. 75, n. 1, p. 17-28, 1985.

SOEDE, N. *et al.* Suboptimal reproductive performance of second parity sows; causes, consequences and use of post-waning altrenogest. *In: Proceedings of the*

22nd International Pig Veterinary Society Congress, Jeju, Korea, 10-13 June 2012, 2012a, 2012a. p.57-62.

SOEDE, N. *et al.* Timing of lactational oestrus in intermittent suckling regimes: consequences for sow fertility. **Animal reproduction science**. v. 130, n. 1, p. 74-81, 2012b.

STEVENSON, J. S.; DAVIS, D. L.; POLLMANN, D. S. Altrenogest and fat for summer breeding of primiparous sows. **Journal of Animal Science**. v. 61, n. 2, p. 480-486, 1985.

TAROCCO, C. *et al.* Effect of split-weaning interval on return to estrus and sow fertility. **Journal of Swine Health and Production**. v. 8, n. 5, p. 221-223, 2000.

TERRY, R. *et al.* Split weaning increases the incidence of lactation oestrus in boar-exposed sows. **Animal reproduction science**. v. 142, n. 1, p. 48-55, 2013.

TOKACH, M. *et al.* Nutrient requirements of the modern high-producing lactating sow, with an emphasis on amino acid requirements. **Animal**. v. 13, n. 12, p. 2967-2977, 2019.

VAN DEN BRAND, H. *et al.* Dietary energy source at two feeding levels during lactation of primiparous sows: I. Effects on glucose, insulin, and luteinizing hormone and on follicle development, weaning-to-estrus interval, and ovulation rate. **Journal of Animal Science**. v. 78, n. 2, p. 396-404, 2000.

VAN DEN BRAND, H. *et al.* Effects of postweaning dietary energy source on reproductive traits in primiparous sows. **Journal of Animal Science**. v. 79, n. 2, p. 420-426, 2001.

VAN LEEUWEN, J. *et al.* Effects of altrenogest treatments before and after weaning on follicular development, farrowing rate, and litter size in sows. **Journal of Animal Science**. v. 89, n. 8, p. 2397-2406, 2011a.

VAN LEEUWEN, J. *et al.* Variation in LH pulsatility during 24 h after a postweaning altrenogest treatment in relation to follicle development in primiparous sows. **Animal reproduction science**. v. 126, n. 1-2, p. 101-107, 2011b.

VAN LEEUWEN, J. *et al.* Follicle size and reproductive hormone profiles during a post-weaning altrenogest treatment in primiparous sows. **Reproduction, Fertility and Development**. v. 27, n. 2, p. 304-312, 2015.

VAN LEEUWEN, J. *et al.* Post-weaning Altrenogest treatment in primiparous sows; the effect of duration and dosage on follicular development and consequences for early pregnancy. **Animal reproduction science**. v. 119, n. 3-4, p. 258-264, 2010.

VAN LEEUWEN, J. *et al.* The effect of different postweaning altrenogest treatments of primiparous sows on follicular development, pregnancy rates, and litter sizes. **Journal of Animal Science**. v. 89, n. 2, p. 397-403, 2011c.

VARGAS, A. J. *et al.* Factors associated with return to estrus in first service swine females. **Preventive veterinary medicine**. v. 89, n. 1-2, p. 75-80, 2009.

VESSEUR, P.; KEMP, B.; HARTOG, L. d. Factors affecting the weaning-to-estrus interval in the sow. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. v. 72, n. 1-5, p. 225-233, 1994.

VESSEUR, P. C. **Causes and consequences of variation in weaning to oestrus interval in the sow**. 1997. 150 p. Tese de Doutorado (Doctor of Philosophy). Research Institute for Pig Husbandry Wageningen University The Netherlands 1997.

WALTON, J. Effect of boar presence before and after weaning on estrus and ovulation in sows. **Journal of Animal Science**. v. 62, n. 1, p. 9-15, 1986.

WANG, Z. *et al.* Effects of altrenogest on reproductive performance of gilts and sows: A meta-analysis. **Animal reproduction science**. v. 197, p. 10-21, 2018.

WERLANG, R. *et al.* Effects of Breeding at the Second Oestrus or After Post-Weaning Hormonal Treatment with Altrenogest on Subsequent Reproductive Performance of Primiparous Sows. **Reproduction in domestic animals**. v. 46, n. 5, p. 818-823, 2011.

WILSON, M. E.; BIENSEN, N. J.; FORD, S. P. Novel insight into the control of litter size in pigs, using placental efficiency as a selection tool. **Journal of Animal Science**. v. 77, n. 7, p. 1654-1658, 1999.

ZAK, L. *et al.* Pattern of feed intake and associated metabolic and endocrine changes differentially affect postweaning fertility in primiparous lactating sows. **Journal of Animal Science**. v. 75, n. 1, p. 208-216, 1997a.

ZAK, L. *et al.* Role of luteinizing hormone in primiparous sow responses to split weaning. **Reproduction in domestic animals**. v. 43, n. 4, p. 445-450, 2008.

ZAK, L. *et al.* Impact of different patterns of feed intake during lactation in the primiparous sow on follicular development and oocyte maturation. **Journal of Reproduction and Fertility**. v. 110, n. 1, p. 99-106, 1997b.