

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Veterinária
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Soraia Viana Ferreira

Planos de nutrição para fêmeas suínas gestantes hiperprolíficas: desempenho reprodutivo e programação pré-natal de leitões

Belo Horizonte
2021

Soraia Viana Ferreira

Planos de nutrição para fêmeas suínas gestantes hiperprolíficas: desempenho reprodutivo e programação pré-natal de leitões

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para Obtenção do grau de Doutora em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. Dalton de Oliveira Fontes

Coorientadora: Prof. Dra. Fernanda Radicchi Campos Lobato de Almeida

Belo Horizonte
2021

F383p

Ferreira, Soraia Viana ,1990-

Planos de nutrição para fêmeas suínas gestantes hiperprolíficas: desempenho reprodutivo e programação pré-natal de leitões/ Soraia Viana Ferreira. – 2021.
57f.:il

Orientador: Dalton de Oliveira Fontes

Coorientadora: Fernanda Radicchi Campos Lobato de Almeida

Tese (Doutorado) apresentada à Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do título de Doutora.

Bibliografias: f. 20 a 27.

1.Suino - Doenças - Teses – 2. Medicina Veterinária – Teses - I. Fontes, Dalton de Oliveira – II. Almeida, Fernanda Radicchi Campos Lobato de - III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária – IV. Título.

CDD – 636.089

Bibliotecário responsável Marcio Alves dos Santos CRB 3589
Escola de Veterinária, UFMG.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

**"Planos de nutrição para fêmeas suínas gestantes hiperprolíficas:
desempenho reprodutivo e programação pré-natal de leitões"**

SORAIA VIANA FERREIRA

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia **vinte e cinco de fevereiro de dois mil e vinte e um**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos seguintes professores:

Dra. Ana Luísa Neves Alvarenga Dias

Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Diego Vilela Alkmin

DanBred Brasil

Dr. Leonardo José Camargos Lara

Universidade Federal de Minas Gerais

Dr. Walter Motta Ferreira

Universidade Federal de Minas Gerais

Dra. Fernanda R. Campos Lobato de Almeida

Universidade Federal de Minas Gerais

Dr. Dalton de Oliveira Fontes - Orientador

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 25 de fevereiro de 2021.

Aos meus pais pelo imensurável amor.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ser fonte inesgotável de esperança em minha vida, por renovar a minha fé a cada dia e, prover forças para prosseguir na realização dos meus sonhos.

Aos meus pais por serem meu alicerce desde sempre, por encorajar cada passo meu, por acreditar em todos os meus sonhos, por trabalharem incansavelmente para que todos se tornassem realidade e principalmente por serem minha inspiração de força, segurança e coragem.

Ao Bernardo por ser amparo, força, amor, amizade e cumplicidade diante de tanta luta nos últimos 8 anos. Agradeço por sempre acreditar em meus sonhos e por me apoiar em todas as minhas decisões. Sou grata por simplesmente existir em minha vida.

À toda minha família por tornarem esta jornada mais leve.

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária pela oportunidade de cursar o doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

À DB pelo financiamento do projeto de pesquisa e investimento científico ofertado durante sua condução. Em especial a granja Santa Maria pela acolhida afetuosa.

Ao Prof. Dr. Dalton de Oliveira Fontes pela orientação e ensinamentos ao longo desta jornada.

À Prof. Dra. Fernanda Radicchi Campos Lobato de Almeida, coorientadora que meu coração elegeu como grande amiga. Agradeço pelo enorme carinho, pela acolhida maternal no LABER, por todo incentivo profissional e pessoal e pela dedicação com este projeto.

Ao Prof. Dr. Leonardo José Camargos Lara e Profa. Dra. Ângela Maria Quintão Lana pelos ensinamentos e incentivo ao longo dessa jornada. Agradeço igualmente pela excelente condução do colegiado de Pós-Graduação em Zootecnia e pelo olhar humano sobre os discentes. Vocês tornam esta 'casa' mais harmônica e acolhedora!

Ao Dr. Diego Alkmin, pelo empenho e pelas contribuições científicas na realização deste trabalho.

Aos Professores Leonardo Lara, Walter Motta, Ana Luísa Alvarenga e Fernanda Almeida e ao Dr. Diego Alkmin pela colaboração e enriquecimento desta tese.

Ao LABER e toda sua equipe pelo ampliar dos horizontes, por fazer pensar além da produção de suínos, por todo conhecimento e técnicas aprendidas.

Ao Multilab EV-UFMG e a Professora Fabiola de Oliveira Paes Leme pelo auxílio nas análises de bioquímica sanguínea.

À Stefany Araújo, grande amiga, companheira na coleta de dados diurna e noturna, que não mediu esforços para a condução deste trabalho, que contribuiu efetivamente com seu senso de organização, empatia e principalmente cuidado. Sua amizade certamente foi um dos maiores presentes que o doutorado me proporcionou.

As amigadas que a DB me presenteou durante a condução do trabalho: Ana Paula Liboreiro, Dário Melo, Edna Pereira, Juliana Dementshuk e Michelle Oliveira. Serei sempre grata por tanto acolhimento.

À Anaise Resende e Geraldo Shukuri, serei eternamente grata por tanto apoio e incentivo à minha formação profissional e pessoal.

Ao Lucas Alves Rodrigues que contribuiu cientificamente e intelectualmente na realização deste trabalho. Gratidão por sua valiosa colaboração durante essa jornada.

À Thais Garcia, grande amiga e parceira de trabalho, a quem sou grata por todo apoio pessoal e contribuição científica nas análises e coleta de dados.

Aos queridos Amanda Rodrigues, Keith Lohaine, Leonardo Ferreira, Stefany Araújo, Tainá Sampaio, Matheus, Izabelle, Saffir pela dedicação e empenho na coleta de dados e nas análises laboratoriais, vocês foram essenciais para este projeto.

Aos meus amigos que tornaram essa jornada mais divertida, agradeço pelos cafés intermináveis na cantina da Vet e pela companhia nas noites de estudos: Jana, Vini, Pati, Natália, Diogo, Matheus, Clarice, Felipe e Martolino.

À Simone e Alejandra por me proporcionarem a melhor convivência do mundo em nossa casa.

*“Animal experimental: sob o nosso controle ele cresce, depende e confia. Respeito
haja, enquanto vivo, pois não será em vão seu sacrifício.”*

Ivan Barbosa Machado Sampaio

RESUMO

Os planos de nutrição capazes atender às exigências nutricionais das fêmeas suínas gestantes e de seus conceptos têm sido estudados a fim de reduzir a variação do peso ao nascimento, melhorar a produtividade de matrizes suínas e obter melhor custo-benefício com arraçamento. Entretanto, se fazem necessários mais estudos com fêmeas altamente prolíficas e o efeito em sua prole. Este estudo tem como objetivo investigar os efeitos de diferentes planos de nutrição durante duas gestações consecutivas sobre o desempenho reprodutivo de fêmeas suínas hiperprolíficas, bioquímica sanguínea e longevidade, bem como avaliar a programação pré-natal de sua prole de acordo com parâmetros biométricos, sanguíneos e histomorfométricos avaliando leitões de alto (AP) e baixo peso ao nascer (BP). No capítulo I está descrita a revisão de literatura, a qual discorre sobre a nutrição nas diferentes fases da gestação e os tipos de planos alimentares, seus efeitos na condição corporal da fêmea gestante e lactante, influência em parâmetros sanguíneos, desempenho reprodutivo, peso ao nascimento, programação pré-natal e restrição intrauterina de crescimento. No experimento 1, apresentado no Capítulo II, foram utilizados cento e trinta e cinco fêmeas suínas gestantes aleatoriamente designadas a um dos três planos de nutrição (Req, Bump e Maintenance) ao longo das ordens de parto três (P3) e quatro (P4). O desempenho zootécnico e reprodutivo das fêmeas gestantes e lactantes foram registrados. Além disso, amostras de sangue foram coletadas para glicose sérica pré e pós-prandial e insulina plasmática, bem como análises de triglicerídeos, cálcio e fósforo. O descarte, estratificado por causa e as taxas de retenção foram registradas em todos os tratamentos para cada ordem de parto. No experimento 2, apresentado no Capítulo III, quinze matrizes suínas foram distribuídas aleatoriamente a um dos três planos de nutrição ao longo da ordem de parto 4. Foram coletados dados biométricos, tecidos intestinais para avaliação histomorfométrica e sangue para análises bioquímicas em leitões de baixo peso ao nascer (BP) e alto (AP) (10 leitões/tratamento). Os resultados deste estudo indicaram que uma maior ingestão de ração durante o final da gestação pode melhorar o status nutricional da matrizes suínas, desencadeando resultados positivos no tamanho da leitegada de fêmeas hiperprolíficas (por exemplo, mais de 17 leitões nascidos). No entanto, o escore de condição corporal deve ser avaliado cuidadosamente para evitar ganho de peso excessivo durante partos sucessivos. Além disso, o fornecimento do plano Maintenance durante a gestação resultou em programação pré-natal em leitões de BP (caracterizados como RIUC), demonstrada por menores medidas biométricas como circunferência abdominal, torácica, peso do fígado, peso e comprimento do ID, bem como menor status energético da prole ao nascimento com redução dos níveis de glicose sanguínea.

Palavras-chave: bumpfeeding; nutrição materna; porca; restrição intrauterina de crescimento.

ABSTRACT

Nutrition plans capable of meeting the nutritional requirements of pregnant sows and their offspring have been studied in order to reduce variation in birth weight, improve the productivity of swine sows and obtain lower feed costs. However, more studies are needed with hyperprolific sows and the effect on their offspring. This study aims to investigate the effects of different nutrition plans during two consecutive pregnancies on the reproductive performance of hyperprolific sows, blood biochemistry and longevity, as well as to evaluate the prenatal programming of their offspring according to biometric, blood and histomorphometric tests evaluating high (AP) and low birth weight (BP) piglets. Chapter I describes the literature review, which discusses nutrition in the different phases of pregnancy and the types of eating plans, their effects on the body condition of pregnant and lactating sows, influence on blood parameters, reproductive performance, birth weight, prenatal programming and intrauterine growth restriction. In experiment 1, presented in Chapter II, one hundred and thirty-five pregnant sows were used, randomly assigned to one of three nutrition plans (Req, Bump and Maintenance) throughout farrowing orders three (P3) and four (P4). The zootechnical and reproductive performance of pregnant and lactating sows were recorded. In addition, blood samples were collected for pre- and postprandial serum glucose and plasma insulin, as well as analyzes of triglycerides, calcium and phosphorus. Culling, stratified by cause, and retention rates were recorded across all treatments for each delivery order. In experiment 2, presented in Chapter III, fifteen sows were randomly distributed to one of the three nutrition plans along farrowing order 4. Biometric data, intestinal tissues for histomorphometric evaluation and blood for biochemical analyzes were collected in low weight piglets at birth (BP) and high (AP) (10 piglets/treatment). The results of this study indicated that greater feed intake during late pregnancy can improve the nutritional status of sow pigs, triggering positive results in the litter size of hyperprolific females (for example, more than 17 piglets born). However, the body condition score must be carefully assessed to avoid excessive weight gain during successive births. Furthermore, the provision of the Maintenance plan during pregnancy resulted in prenatal programming in BP piglets (characterized as RIUC), demonstrated by lower biometric measurements such as abdominal and chest circumference, liver weight, ID weight and length, as well as lower energy status of offspring at birth with reduced blood glucose levels.

Keywords: bumpfeeding; intrauterine growth restriction; maternal nutrition; sow.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ingredients, estimated and analyzed composition of gestation and lactation diets (as-fed basis) fed to sows.....	32
Tabela 2. Effect of plane of nutrition during gestation of parity 3 (P3) sows on BW and body condition score at days 1 and 110 of gestation, and weaning.....	32
Tabela 3. Effect of plane of nutrition during gestation of parity 4 (P4) sows on BW and body condition score at days 1 and 110 of gestation, and weaning.....	33
Tabela 4. Impact of different planes of nutrition during the parity 3 (P3) on sowreproductive performance at farrowing and at weaning.	33
Tabela 5. Impact of different planes of nutrition during subsequent parity (P3 and P4) on sowreproductive performance at farrowing and at weaning	33
Tabela 6. Post-prandial levels of plasma calcium, phosphorus and triglycerides, and insulin resistance parity 4 (P4) sows fed different planes of nutrition during gestation.	34
Tabela 7. The effect of planes of nutrition fed during parity 3 (P3) and parity 4 (P4) on sowretention rates and culling reasons from P3 to parity 5 (P5).....	34
Tabela 8. Efeito dos planos de nutrição materno sobre parâmetros biométricos da prole de alto peso (AP) e baixo (BP) ao nascer	55
Tabela 9. Efeito dos planos de nutrição materno sobre parâmetros sanguíneos da prole de alto peso (AP) e baixo (BP) ao nascer na histomorfometria do intestino delgado.....	56
Tabela 10. Efeito dos planos de nutrição materno sobre parâmetros sanguíneos da prole de alto peso (AP) e baixo (BP) ao nascer.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS

AP: Alto peso ao nascer

BP: Baixo peso ao nascer

BUMP: *Bumpfeeding*

EM: Energia metabolizável

REQ: *Requirements* (Exigência nutricional)

RIUC: Restrição intrauterina de crescimento

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA	14
1. Introdução	14
2.A nutrição nas diferentes fases da gestação e os tipos de planos alimentares.....	15
2.1 Nutrição da cobertura aos 21 dias de gestação	16
2.2 Nutrição de 22 a 75 dias de gestação	17
2.3 Nutrição de 76 dias de gestação ao parto	17
3. Efeito de planos alimentares no peso e na condição corporal da fêmea gestante e lactante em sua vida produtiva	19
4. Influência da nutrição durante a gestação nos parâmetros sanguíneos	22
4.1 Glicose e Triglicérides	22
4.2 Insulina	22
4.3 Cálcio e Fósforo	23
5. Desempenho reprodutivo e peso ao nascimento	24
6. Programação pré-natal em suínos	26
7. Restrição intrauterina de crescimento (RIUC).....	28
7.1 Eventos gestacionais que levam a ocorrência de restrição intrauterina de crescimento em suínos.....	28
8. Considerações Finais	32
7. Referências	33
CAPÍTULO II - PLANE OF NUTRITION DURING GESTATION AFFECTS REPRODUCTIVE PERFORMANCE AND RETENTION RATE OF HYPERPROLIFIC SOWS UNDER COMMERCIAL CONDITIONS	41
CAPÍTULO III - PLANOS NUTRICIONAIS PARA FÊMEAS SUÍNAS HIPERPROLÍFICAS DURANTE A GESTAÇÃO E RESULTADOS BIOMÉTRICOS, BIOQUÍMICOS E MORFOLÓGICOS EM LEITÕES DE BAIXO E NORMAL PESO AO NASCER	50

CAPÍTULO I

REVISÃO DE LITERATURA

1. Introdução

A suinocultura mundial evoluiu consideravelmente nos últimos anos por meio de grandes investimentos realizados nas áreas de nutrição, genética, manejo e ambiência. Assim sendo, a fêmea suína moderna em muito se difere da fêmea do passado, destacando-se as inúmeras modificações metabólicas decorrentes, principalmente, do advento da hiperprolificidade. Tais mudanças são de caráter corporal e fisiológico, nas quais a demanda nutricional para produzir leitegadas maiores e mais pesadas merecem atenção especial, surgindo assim a necessidade da avaliação constante das exigências nutricionais na gestação.

O plano alimentar comumente utilizado no período gestacional consiste no fornecimento de ração restrita, para garantir adequadas condições de escore corporal e evitar acúmulos excessivos de gordura. Desta forma, é crucial levar em consideração cada ciclo produtivo da fêmea e monitorar as mudanças nas reservas corporais que estão diretamente relacionadas ao manejo alimentar, que por sua vez, afetam drasticamente os custos de produção (Solà-Oriol, 2016).

Têm sido realizados, nos últimos anos, estudos que avaliaram a ingestão de ração na gestação manipulando a quantidade de ração ofertada e, assim, tem-se observado os efeitos do aumento ou redução da ingestão de todos nutrientes, incluindo energia, aminoácidos, vitaminas e minerais (Amdi et al., 2013; Mallmann et al., 2018; Mallmann et al., 2019a; Mallmann et al., 2019b). De uma perspectiva prática, a manipulação da quantidade de ração em vez de nutrientes específicos é mais fácil de se realizar, uma vez que o fornecimento de ração diário pode ser aumentado sem a necessidade de uma dieta diferente ou suplemento (Gonçalves et al., 2016a) e os resultados podem ser facilmente replicados a campo.

Estes estudos têm sido conduzidos também com o objetivo de aumentar o peso dos leitões ao nascimento, todavia os trabalhos mais recentes se basearam em fêmeas com número de nascidos entre 12 e 16 leitões, que se encontram abaixo do potencial das fêmeas hiperprolíficas. Semelhantemente, as recomendações nutricionais das tabelas brasileiras para aves e suínos consideraram fêmeas com número de nascidos entre 13 e 15 leitões (Rostagno, 2017).

As exigências nutricionais das fêmeas suínas gestantes são determinadas pela demanda para manutenção e ganho materno, bem como para o crescimento fetal e placentário (Rostagno, 2017). Dietas que não atendem adequadamente as exigências das fêmeas têm impacto

negativo sobre a longevidade, perdas corporais excessivas durante a lactação e menor resistência a doenças. O efeito da nutrição materna inadequada também é refletido na prole, podendo causar redução do número de nascidos, menor peso ao nascimento e ao desmame, maior variação no peso da leitegada, aumento da mortalidade de leitões na lactação e crescimento desuniforme por toda a vida (Ball et al., 2008; Foxcroft, 2008).

Objetivou-se com esta revisão abordar a influência da nutrição materna através de diferentes planos de nutrição nos principais eventos gestacionais, sobre o desempenho reprodutivo e produtivo, parâmetros sanguíneos e efeitos sobre a programação pré-natal decorrentes na prole.

2. A nutrição nas diferentes fases da gestação e os tipos de planos alimentares

Para estabelecer um adequado programa de nutrição para matrizes suínas, deve-se considerar o material genético de cada granja, suas necessidades nutricionais e os fatores que afetam essas necessidades. Também é preciso entender os diversos aspectos metabólicos da interação entre o genótipo, a nutrição e a reprodução da fêmea suína. Este entendimento é fundamental para que se possa alcançar, ao mesmo tempo, produtividade e longevidade do plantel (Silva, 2010). Ademais, a nutrição da fêmea gestante deve atender as necessidades de cada fase gestacional, considerando o processo como algo sequencial, onde uma etapa influenciará a subsequente (Magnabosco et al., 2013).

Há na literatura diferentes formas de se caracterizar as fases do período gestacional. Os períodos inicial e intermediário da gestação são comumente utilizados para recuperar reservas corporais, especialmente para porcas jovens e o final da gestação para fornecer aporte extra de nutrientes aos fetos (NRC, 2012).

De um modo geral, considera-se como fase inicial da gestação, o período compreendido entre a cobertura até o 21º dia de gestação, sendo esta fase crucial para a sobrevivência e implantação dos embriões (Mallmann et al. 2017).

A fase posterior, considerada como a fase intermediária da gestação ocorre do dia 21 ao 75º (Young et al., 2004). De acordo com Goodband et al. (2013) o ganho de peso da fêmea é alcançado quando se tem uma alimentação em níveis superiores aos necessários para manutenção e crescimento dos tecidos fetais, fluidos e conceptos. Por esse motivo a alimentação neste período merece atenção especial, uma vez que ainda não há grandes necessidades além da manutenção (Ji et al., 2005).

O período que compreende a fase final da gestação (últimos 40-45 dias), também chamado de terço final, é caracterizado como o momento no qual os crescimentos fetal e

mamário se acentuam (Mcpherson et al., 2004; Ji et al., 2005; Kim et al., 2005). Neste período há maiores controvérsias na literatura em relação à alimentação.

O NRC (2012) apresenta um modelo em que a estimativa das exigências das fêmeas para o início e meados da gestação para porcas são: 6,9 Mcal/dia de EM e 7,8 g/dia de lisina digestível; e outra para o terço final: 8,2 Mcal/dia de EM e 13,1 g/dia de lisina digestível. Além disso, neste modelo podem ser avaliados planos nutricionais baseados em variáveis que influenciam as exigências, tais como, estágio gestacional, regime de alimentação, efeito da ordem de parto, tamanho da leitegada, instalação e fatores ambientais.

De acordo com a recomendação de Rostagno et al. (2017) as exigências nutricionais das fêmeas suínas gestantes são determinadas pela demanda para manutenção e ganho materno, bem como para os crescimentos fetal e placentário. Estes autores recomendam o fornecimento de 7,9 e 8,7 Mcal/dia de EM e 9,39 e 18,14 g de lisina digestível de 0-85 dias e 86-115 dias de gestação, respectivamente. Entretanto, não há evidências sobre as exigências de fêmeas que têm um alto número de nascidos (≥ 17 leitões).

2.1 Nutrição da cobertura aos 21 dias de gestação

O início da gestação tem sido utilizado para recuperar as perdas de condição corporal da lactação anterior em porcas (NRC, 2012). Durante os primeiros 21 dias de gestação, o tamanho da leitegada é definido, as reservas corporais devem ser repostas e a quantidade de ração deve ser ajustada para cada porca para atingir condição de escore corporal consideradas ideais dentro do padrão da genética utilizada (Town et al., 2004, Moehn et al, 2013).

Este período também é conhecido por ser uma fase crítica da gestação em função da migração embrionária, reconhecimento materno da gestação, implantação e início da placentação (Foxcroft et al., 2006). Nessa fase, os planos nutricionais são projetados de acordo com o objetivo de aumentar a sobrevivência embrionária (Jindal et al., 1996).

Entretanto, estratégias de manejo ou interferências nutricionais durante esta fase podem afetar a sobrevivência do embrião (Langendijk, 2015), uma vez que a maioria das mortes embrionárias ocorre durante a segunda e a terceira semana de gestação (Bazer & Johnson, 2014), levando a implicações no tamanho da leitegada.

Jindal et al. (1996) observaram que o aumento da oferta de ração para marrãs após a inseminação até o dia 15 da gestação (1,9 kg/dia vs. 2,6 kg/dia) afetou negativamente a sobrevivência do embrião (84,7% vs. 64,5%). Por outro lado, em estudos recentes, Quesnel et al. (2010) relataram que o aumento da quantidade de ração (2,0 kg/dia vs. 4,0 kg/dia) para marrãs após inseminação até o dia 7 da gestação não afetou a sobrevivência embrionária (87% vs. 84%).

Em estudo mais recente, Mallmann et al. (2020) avaliaram três planos alimentares que consistiam em 1,8, 2,5 e 3,2 kg/dia (com uma dieta a base de 3,15 Mcal EM/kg, 15% PB, e 0,68% de lisina digestível) durante os 30 dias iniciais da gestação e observaram que fêmeas alimentadas com 3,2 kg tiveram -1,1 leitões em comparação com as fêmeas alimentadas com 1,8 ou 2,5 kg/d.

2.2 Nutrição de 22 a 75 dias de gestação

O terço intermediário da gestação é marcado pelo início da miogênese fetal, ou seja, desenvolvimento do tecido muscular do feto. Porém, apenas efeitos modestos sobre o peso dos leitões ao nascimento foram observados, quando o fornecimento de ração é aumentado nesse período (Lawor et al., 2007; Cerisuelo et al., 2008).

De acordo com Koketsu & Lida (2017) esta fase não é considerada um período tão crítico para o desempenho reprodutivo das fêmeas, desde que recebam um manejo nutricional adequado às exigências nutricionais, já que alguns nutrientes e energia são necessários para o crescimento placentário, fetal e materno.

Sendo assim, esta fase pode ser utilizada para manipular o ganho de peso das fêmeas, alterando o fornecimento de ração para permitir: 1) ganho de peso para porcas magras; ou 2) redução moderada do peso corporal se as porcas estiverem com excesso de peso (Johnston et al., 2010).

Mallmann et al. (2019b) avaliaram o crescimento materno e o desempenho reprodutivo, através de planos alimentares que consistiam em duas quantidades de ração (1,8 ou 3,5 kg/dia) em duas fases diferentes (dias 22 a 42 dias e 90 a 110 dias) durante a gestação de marrãs e porcas (com uma dieta a base de milho e soja com 3,15 Mcal EM/kg, 15,0% PB e 0,68% lisina digestível). Estes autores observaram que o peso ao nascimento do leitão e a eficiência placentária não foram influenciados pelo fornecimento dos planos alimentares. O peso das fêmeas, entretanto, foi maior aos 42 dias quando o nível de 3,5 kg de ração/dia foi ofertado.

De acordo com estes resultados, evidenciou-se que a fase intermediária da gestação consiste em oportunidade para manipular as reservas corporais ou mantê-las, enquanto no final gestação, o objetivo é fornecer nutrientes adequados para os fetos e glândulas mamárias (Goodband et al., 2013; Mallmann et al., 2019b).

2.3 Nutrição de 76 dias de gestação ao parto

De acordo com o NRC (2012) um manejo alimentar específico para o final da gestação é o *Bump feeding*, definido como o aumento da ingestão diária de ração em até 1 kg desde o dia 90 da gestação até o parto e tem sido uma prática amplamente utilizada. O objetivo deste

manejo é fornecer energia extra e os aminoácidos necessários no final da gestação para satisfazer o crescimento exponencial dos conceptos.

De acordo com Vallet et al., (2014) há maior necessidade de nutrientes no terço final da gestação em relação às demais fases, uma vez que os fetos tendem a aumentar a superfície de contato materno-fetal através do aumento das dobras do tecido placentário para potencializar o fornecimento de nutrientes aos fetos e assim promover o seu crescimento, que ocorre de forma exponencial nesta fase. De acordo com Kim (2014) se as matrizes suínas estiverem em estado catabólico ao final da gestação, devido ao consumo limitado de nutrientes, o crescimento fetal pode ser prejudicado, e, conseqüentemente, provocar aumento da morbidade e mortalidade dos leitões.

O crescimento fetal (e o peso resultante do nascimento) é importante para a sobrevivência e o potencial de crescimento do leitão durante o período de lactação e após o desmame (Akdag et al., 2009; Cabrera et al., 2012). Em termos de nutrição, a alta taxa de crescimento fetal aumenta a exigência de proteína e aminoácidos no terço final da gestação. Normalmente, os nutrientes são priorizados para a prole e se o fornecimento de ração materno é inadequado ou se a composição alimentar não é otimizada para a porca no terço final, a gordura e proteína do corpo serão mobilizados para garantir crescimento de fetos e outros tecidos reprodutivos (Theil et al., 2012).

Além disso, o desenvolvimento da glândula mamária atinge o estágio crítico em torno de 75-85 de gestação. Este é o período em que ocorre a proliferação de células secretoras, que determinará o número de células e, finalmente, a capacidade de síntese do leite (Solà-Oriol, 2016). Vignola (2009) sugeriu que aumentar o fornecimento de ração no final da gestação evita que a porca esteja em balanço energético negativo antes do parto, conseqüentemente tenha uma produção de leite comprometida na fase de lactação e reduza a atividade reprodutiva pós-desmame. Goodband et al. (2013) concluíram em uma revisão da literatura relacionada ao fornecimento de ração adicional para porcas e marrãs no terço final da gestação, que a alimentação extra nesta fase pode influenciar a sobrevivência dos leitões durante a lactação.

De forma contrária, alguns estudos revelaram que a prática de fornecer maiores quantidades de ração às fêmeas no terço final da gestação pode não ser uma prática benéfica (Gonçalves et al., 2016a; Gonçalves et al., 2016b). Desta forma, apresentaram-se controvérsias na literatura em relação ao arraçamento no terço final da gestação e a importância de mais estudos sobre o tema foram evidenciados.

De acordo com Gonçalves et al. (2016a) o fornecimento de ração para matrizes suínas gestantes não deve ser realizado de forma excessiva, uma vez que porcas gordas ao parto, provavelmente terão baixo consumo de ração durante a lactação, perderão mais peso, produzirão menos leite e, conseqüentemente, desmamarão leitegadas mais leves.

Em consonância, Gonçalves et al. (2016b) ao avaliar fêmeas suínas (com a média de leitões nascidos totais de 14,2 para leitoas e de 15,2 para porcas) sugeriram que o efeito do peso ao nascimento foi influenciado, principalmente, pela energia do amido e não pelo consumo de aminoácidos das dietas. No mesmo estudo, o aumento de ração na fase final de gestação proporcionou um acréscimo no número de natimortos em 32% quando comparados a porcas que não receberam adicional de ração no final de gestação. Tal efeito negativo não foi observado em marrãs. Estes autores sugeriram um conceito de alimentação linear (fornecimento de uma mesma quantidade de ração durante toda a gestação próximo às exigências de manutenção da porca).

3. Efeito de planos alimentares no peso e na condição corporal da fêmea gestante e lactante em sua vida produtiva

O peso corporal da porca é afetado por multifatores como qualidade da ração, estresses térmicos, problemas sanitários, entre outros. Contudo, após o advento da hiperprolificidade, dois fatores ganham destaque: genética e nutrição. O fator genético não pode ser totalmente controlado, uma vez que as fêmeas modernas apresentam menor espessura de toucinho e carcaça mais magra, além de alta exigência para crescimento fetal e mamário. Sendo assim, a manipulação nutricional durante a gestação e lactação é um possível fator para garantir não somente índices reprodutivos satisfatórios, mas também longevidade às fêmeas (Kim et al., 2016).

A literatura recente relata a que o aumento da quantidade de ração durante a gestação resulta em aumento de peso às matrizes durante a gestação. Este resultado está bem consolidado em diversos estudos, apesar de tratarem do fornecimento de diferentes quantidades de ração, níveis de energia e aminoácidos.

Em breve revisão de literatura sobre o fornecimento extra de ração na gestação Gonçalves et al. (2016a) relataram que o ganho de peso das fêmeas aumenta 7 kg a cada 3.3 Mcal EM (aproximadamente 1 kg de uma dieta baseada em milho e soja). Semelhantemente, Gonçalves et al. (2016b), estudando os efeitos da ingestão de energia e aminoácidos no final da gestação (4,50 e 6,75 Mcal/d de EL com 10,7 ou 20,0 g/dia de lisina digestível), relataram maior ganho de peso em fêmeas que consumiram dietas de alta energia, com efeito

potencializado quando consumiram também altos níveis de aminoácidos. Estes achados reforçaram e ajudaram a perpetuar o conceito de alimentação linear durante a gestação.

A prática da alimentação linear, entretanto, precisa ser elucidada, principalmente no que diz respeito a fêmeas magras. Farmer et al. (2016) avaliaram a relação entre a condição corporal e o desenvolvimento da glândula mamária de primíparas e observaram impacto negativo no desenvolvimento mamário nas fêmeas magras (12-15 mm de espessura de gordura), em relação às fêmeas com maior espessura de gordura corporal (17-26 mm) que não apresentaram efeitos prejudiciais na mamogênese durante o período de transição.

Com o objetivo avaliar os efeitos de dois diferentes níveis de alimentação (1,8 e 2,2 kg/d) de 90 dias de gestação até o parto com uma dieta a base de milho e farelo de soja (3,25 Mcal EM/kg e 0,65% de lisina ileal digestível), Mallmann et al. (2018) avaliaram marrãs e multíparas do dia 90 de gestação até o parto. Estes autores observaram que o aumento da ingestão diária de energia em 1,3 Mcal EM resultou em 3,1 kg a mais de ganho de peso corporal.

Mallmann et al. (2019a) avaliaram o efeito do fornecimento de quatro diferentes quantidades de ração (1,8, 2,3, 2,8 e 3,3 kg / d) de 90 dias de gestação até o parto, com uma ração de gestação à base de farelo de milho e soja (3,29 Mcal ME por kg e 0,64% lisina digestível). Estes autores também observaram aumento de ganho peso linear à medida em que se fornecia maior quantidade de ração ao final da gestação.

Em estudo mais recente, para avaliar duas fases de gestação (Fase 1 - d 22 a 42; Fase 2 - d 90 a 110) e duas quantidades de ração (1,8 ou 3,5 kg / d) com uma dieta de gestação de 3,15 Mcal EM, Mallmann et al. (2019b) também relataram que o aumento da quantidade de ração em uma ou duas fases diferentes durante a gestação aumentou em 3% o peso corporal ao final da gestação.

A perda de peso na lactação foi reportada em estudos anteriores, nos quais porcas criadas em condições comerciais podem perder entre 15-40 kg de peso corporal durante a lactação devido à ingestão limitada de nutrientes durante esta fase (Beyer et al., 2007; Hansen, 2012; Cools et al., 2014).

A perda de reservas corporais durante a lactação também pode ser associada ao aumento do ganho de peso corporal durante o terço final da gestação ou ao aumento do consumo energia nos últimos dias que antecedem o parto. Long et al. (2010) observaram que marrãs apresentaram perda de peso linear ao desmame à medida em que se forneceu ração de gestação mais energética (6,3, 6,5, 6,7 e 6,9 Mcal EM / kg).

De acordo com Amdi et al. (2013) as mães alimentadas com maior nível energético no terço final da gestação (10867 kcal ED/dia) apresentaram maior perda de peso na lactação quando comparadas as que consumiram menor nível energético (5,58 Mcal ED/dia).

Ren et al. (2017) investigaram os efeitos de diferentes níveis de alimentação (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 vezes o nível da energia de manutenção) durante três curtos períodos de gestação que duravam sete dias cada (dia 27, dia 55 e dia 83 de gestação). Estes autores observaram que o aumento do fornecimento de energia nos períodos específicos aumentou o ganho de peso linearmente durante a gestação e em contrapartida, as fêmeas que ganharam mais peso também apresentaram maior perda de peso durante a lactação.

Mallmann et al. (2018) também observaram que tanto mães quanto múltiplas apresentaram maior perda de peso do fim da gestação à lactação quando consumiram nível mais alto de energia

Como pode-se perceber há um consenso na literatura associando o aumento de peso na gestação e a perda de peso na lactação através da manipulação dietética gestacional. De acordo com os estudos mencionados, o aumento do consumo de energia principalmente na fase final da gestação promove uma redução de consumo durante a lactação. Como as fêmeas estão em intenso catabolismo devido a produção de leite, acentuam-se as perdas corporais (Solà-Oriol & Gasa, 2016).

Rooney et al. (2020), entretanto, não observaram diferenças significativas para perda de peso da lactação quando comparam 4 níveis de energia digestível (13,8, 14,5, 15,2, 15,9 MJ ED/kg) fornecidos de 108 dias de gestação até o desmame. A inconsistência desses resultados com a literatura atual pode ser atribuída ao momento de início do experimento, que estava muito próximo ao parto. Ademais, as fêmeas deste estudo ganharam peso durante entre o parto e o desmame. Os autores então concluíram que, uma vez satisfeitos os requisitos de energia para manutenção, a energia restante da dieta foi utilizada para repor suas próprias reservas corporais e promover crescimento materno, em oposição ao aumento da produção de leite e do crescimento da leitegada.

Alguns estudos demonstraram que a perda excessiva de peso durante lactação prolonga o intervalo desmame-estro e aumenta a incidência de porcas em anestro (Johnston et al., 1999; Yoder et al., 2012). A perda de peso excessiva também pode afetar a qualidade dos ovócitos, sobrevivência embrionária e, conseqüentemente, o tamanho da leitegada na próxima gestação (Zak et al., 1997). Entretanto, não foram relatados problemas reprodutivos nos estudos mais recentes que se avaliaram diferentes quantidades de ração para porcas durante a gestação

(Gonçalves et al., 2016; Mallmann et al., 2018; Mallmann et al., 2019a; Mallmann et al., 2019b).

4. Influência da nutrição durante a gestação em parâmetros sanguíneos

4.1 Glicose e Triglicerídeos

Os animais não ruminantes utilizam a glicose como uma das principais fontes energéticas. A maior parte da energia da dieta é absorvida na forma de glicose, absorvida pelo trato gastrointestinal dos suínos e utilizada nos tecidos durante as primeiras 4 a 6 horas pós-prandiais, sendo o excedente armazenado sob a forma de glicogênio, para utilização tardia no processo de glicogenólise (Serena et al., 2009; Theil et al., 2015). A glândula mamária (para produção de colostro) e o crescimento fetal são responsáveis pela queda da glicose arterial. De acordo Theil et al. (2012) esses compartimentos possuem transportadores de glicose (Glut1 e Glut3) ativos independentemente dos níveis plasmáticos de insulina.

Feyera et al. (2018), ao avaliarem metabólitos do plasma uterino, observaram que houve um aumento da extração de glicose pelo útero com o progresso da gestação, sugerindo que este é o principal metabólito energético para fins oxidativos no útero gravídico. Ademais, durante o parto, o útero também extraiu triglicerídeos e glicose como os únicos substratos energéticos. Estas extrações de glicose e triglicerídeos foram 1,4 e 6 vezes maiores, respectivamente, durante o parto do que no pós-parto, indicando que a energia derivada da dieta contribui consideravelmente durante o trabalho de parto intenso. Sendo assim, dietas que proporcionem aumento das concentrações de glicose podem estar associadas ao crescimento fetal e ainda disponibilizar energia em partos prolongados.

4.2 Insulina

A insulina é um hormônio responsável pela redução da taxa de glicose no sangue, ao promover a entrada de glicose nas células e, assim como a glicose é fortemente influenciada pela alimentação.

De acordo com Père & Etienne (2007) as fêmeas tornam-se resistentes à insulina no final da gestação (para direcionamento da glicose aos fetos) e, de forma mais pronunciada, na lactação (para direcionamento mamário), sendo esta resistência acompanhada de maior concentração de ácidos graxos não esterificados. A resistência à insulina pode ser causada pelo consumo excessivo na gestação, que afeta provavelmente o número e/ou a afinidade dos receptores de insulina, e se caracteriza pela baixa resposta no *clearance* da glicose à insulina exógena (Eissen et al., 2000). Acredita-se que a indução da resistência à insulina, devido as

elevadas concentrações de ácidos graxos não esterificados, seja uma adaptação fisiológica para aumentar a disponibilidade de glicose para a glândula mamária (Quesnel, 2009).

Mosnier et al. (2010) sugeriram que fêmeas pluríparas que apresentam baixo consumo e têm maior balanço energético negativo no início da lactação já começaram a mobilizar suas reservas corporais na gestação, podendo estar associado ao aumento da resistência à insulina durante o final da gestação. Os autores observaram que o consumo alimentar na primeira semana de lactação foi negativamente correlacionado com a proporção insulina:glicose da última semana de gestação.

4.3 Cálcio e Fósforo

Os ossos representam o principal reservatório de cálcio e fósforo no organismo, porém, não representam depósito estático destes minerais, atuando de forma dinâmica com o sangue para garantir o equilíbrio entre as necessidades destes minerais e suas reservas. De acordo com Wuryastuti et al. (1991), ao final da gestação, há um aumento da demanda fetal por cálcio e em resposta a esta demanda, a absorção deste mineral aumenta ao final da gestação.

A absorção, distribuição, deposição, mobilização óssea e excreção destes elementos são feitas pela ação conjunta da vitamina D, paratormônio (PTH) e calcitonina. A vitamina D, por meio do seu metabólito 1,25-dihidroxicolecalciferol (1,25(OH)₂D) e o PTH atuam aumentando a entrada de cálcio no plasma e líquidos extracelulares (*pool extracelular*), enquanto que calcitonina atua de modo inverso, reduzindo assim os níveis séricos de cálcio (Goff et al., 1991; Flohr et al., 2013).

No plasma, o cálcio está presente sob a forma de íons livres, que são importantes na regulação da coagulação sanguínea. Quando ocorre uma diminuição do cálcio plasmático, a glândula paratireóide secreta o hormônio PTH, que dentro de minutos aumenta a reabsorção renal do cálcio do filtrado glomerular (Goff et al., 1986).

O cálcio também é considerado um mineral essencial para a contração muscular. O *status* adequado do cálcio nos últimos dias de gestação pode ser necessário para contrações apropriadas dos músculos que cercam o útero, que são responsáveis por transportar os fetos para frente e expulsá-los através do canal de parto (Theil, 2015). Sendo assim, a obesidade excessiva no parto pode estar relacionada ao parto prolongado (Oliviero et al., 2010) e isso indica que o status nutricional de Ca da porca no período de transição pode desempenhar papel fundamental no processo de parto.

O fósforo é o segundo mineral mais abundante no organismo animal e cerca de 80% é encontrado nos ossos e dentes. Este mineral também desempenha um importante papel na transferência de energia via adenosina monofosfato, adenosina difosfato e adenosina

trifosfato, com implicações na gliconeogênese, no transporte de ácidos graxos, na síntese de proteínas e aminoácidos e na atividade da bomba sódio e potássio. A concentração deste mineral no soro ou plasma precisa ser avaliada, já que seus valores reduzem rapidamente quando a dieta é inadequada (Johnston et al., 1999). Cerca de 30% do fósforo sanguíneo está presente como ânion fosfato inorgânico, o restante está incorporado em moléculas orgânicas, como as proteínas e as membranas celulares.

Os níveis de fósforo sanguíneos são controlados pelos hormônios calcitonina e PTH, por meio de sua relação com a forma ativa da vitamina D. Desta forma, o PTH diminui sua absorção intestinal e sua mobilização óssea e estimula a excreção renal (Furlan & Pozza, 2014).

No final da gestação, os níveis de fósforo plasmático podem declinar precipitadamente, à medida que o crescimento do feto se acelera e remove quantidades substanciais de fósforo da circulação materna. O início da síntese e o aumento rápido da produção de leite não só eleva as demandas de glicose, para a síntese de lactose (açúcar do leite), como também de minerais tais como cálcio (Ca) e fósforo (P). Com isso, ao parto, a crescente demanda nutricional devido à produção de leite, aliada a ingestão de alimento relativamente baixa nesta fase, podem permitir que as concentrações séricas de alguns minerais caiam a níveis abaixo do fisiológico (Theil, 2015).

5. Desempenho reprodutivo e peso ao nascimento

A busca por informações sobre o fornecimento de ração ideal para cada linhagem genética é constante, uma vez que esta informação pode contribuir para otimizar a produção da fêmea e influenciar uma série de fatores sobrepostos como tamanho e peso da leitegada, desempenho do leitão, vitalidade e variabilidade de peso (Solà-Oriol & Gasa, 2016). Com a evolução genética constante, o aumento do número de nascidos e a maior necessidade de produção de leite, torna-se cada vez mais necessário entender qual a real exigência da fêmea suína moderna que seja capaz de impactar no peso e tamanho da prole ao nascimento sem resultar em exagerado ganho materno.

Neste contexto, Long et al. (2010) observaram que o peso da leitegada ao nascer aumentou linearmente a medida em que se forneceu ração de gestação mais energética para marrãs (6,3, 6,5, 6,7 e 6,9 Mcal EM / kg). Ademais, o número de leitões nascidos vivos por leitegada no tratamento 6,7 Mcal EM/d foi significativamente maior. De acordo com os autores, este resultado demonstrou que fêmeas modernas de alta produção exigiram muito mais energia durante a gestação para maximizar o crescimento fetal.

Amdi et al. (2013) investigaram os efeitos da condição corporal de marrãs (magra ou gorda) e do nível de alimentação (1,8 kg/d; 2,5 kg/d; 3,5 kg/d) de 25 a 90 dias de gestação e observaram que fêmeas que consumiram 1,8 kg/dia e 3,5 kg/dia apresentaram maior número de leitões nascidos vivos, sendo a média de nascidos totais no experimento de 12,4. O aumento de ração proporcionou maior peso ao nascimento à prole de fêmeas que consumiram 3,5 kg/dia.

Gonçalves et al. (2016b) realizaram um estudo com objetivo de determinar os efeitos do consumo de aminoácidos e energia durante o final da gestação sobre o peso ao nascer dos leitões e desempenho reprodutivo de marrãs e múltiparas (14,5 nascidos totais) alojadas em condições comerciais. Porcas alimentadas com alto consumo de energia ao final da gestação tiveram menor número de leitões nascidos vivos em comparação àquelas alimentadas com baixa energia, e tais evidências não foram encontradas nas marrãs. A redução do número de nascidos vivos foi consistente com a maior probabilidade de natimortos em porcas alimentadas com alto consumo de energia em relação a porcas alimentadas com baixa ingestão de energia. Ademais, o peso individual ao nascer foi de $30 \pm 8,2$ g a mais para as fêmeas alimentadas com alto nível de energia. Estes autores, entretanto, não observaram influência dos níveis de alimentação no número total de leitões nascidos, fetos mumificados, leitões natimortos e coeficiente de variação de peso da leitegada.

Ren et al. (2017) investigaram os efeitos de diferentes níveis de alimentação (0,5, 1,0 e 2,0 vezes o nível da energia de manutenção - 3,3 Mcal/kg de EM) durante três curtos períodos de gestação que duravam 7 dias cada (dia 27, dia 55 e dia 83 de gestação) e observaram que o peso ao nascimento dos leitões (leitegadas com média de 13 leitões) aumentou linearmente com o aumento dos níveis de alimentação durante a gestação, enquanto o peso ao desmame dos leitões foi semelhante entre os níveis estudados.

Mallmann et al. (2018) não observaram evidências dos efeitos da quantidade de ração (1,8 e 2,2 kg/d) no peso ao nascimento individual de leitões e o CV dentro da leitegada para as marrãs e porcas. De maneira semelhante, ao estratificar o número total de leitões nascidos (<15 e ≥ 15 para marrãs; <16 e ≥ 16 para porcas), não foram observados efeitos do fornecimento de ração no peso individual ao nascer de leitões e CV dentro da leitegada. Além disso, não foram encontradas diferenças na taxa de natimortos, fetos mumificados e porcentagem de leitões que pesaram menos de 1 kg ao nascimento.

Ao avaliar duas fases de gestação (fase 1 - d 22 a 42; fase 2 - d 90 a 110) e duas quantidades de ração (1,8 ou 3,5 kg / d) com uma dieta de gestação de 3,15 Mcal EM, Mallmann et al. (2019b) observaram que fêmeas alimentadas com 3,5 kg/d durante a fase 2

tiveram leitegadas mais pesadas do que aquelas alimentadas com 1,8 kg/d. O fornecimento de 3,5 kg/d na fase 2 reduziu a ocorrência de leitões leves em marrãs, mas não em porcas. Não foram observadas diferenças entre níveis de alimentação no número total de leitões nascidos, fetos mumificados, leitões natimortos e coeficiente de variação dentro da leitegada. A média de nascidos totais neste estudo foi de 14,6 leitões, assim como na maioria dos trabalhos, o que configura em dúvidas sobre a nutrição de fêmeas altamente prolíficas, com média de nascidos totais igual ou superior a 17 leitões.

6. Programação pré-natal em suínos

O excesso ou deficiência de nutrientes durante a gestação pode afetar significativamente o desenvolvimento da prole, resultando em efeitos permanentes na anatomia, fisiologia e metabolismo de leitões (Langley-Evans, 2006, Foxcroft et al., 2009). Cerca de 14 a 18 dias após a ovulação e fertilização, o embrião suíno inicia a fixação no útero. O embrião é dependente da nutrição materna para crescimento e desenvolvimento. Durante esse período, inicia a programação fetal, que tem *start* por estímulo ou insulto nutricional e ambiental, e resulta em mudanças na diferenciação, crescimento ou desenvolvimento de órgãos, especialmente músculos e tecido adiposo (Senger, 2004, Abbott et al., 2006).

Associada à programação fetal, alguns autores descreveram a relação deste evento com *imprinting* genômico. O *imprinting* genômico é um mecanismo de regulação da expressão gênica que permite apenas a expressão de um dos alelos parentais. Ao contrário da maioria dos genes em que a expressão é bialélica, os genes que estão submetidos a este mecanismo (genes imprinted) tem expressão monoalélica (Bird, 2007). Paralelamente, o *imprinting* genômico atua diretamente a formação de fibras musculares e adipócitos.

Conforme mostrado na Figura 1, o tempo para a formação das fibras musculares primárias é de 25 a 50 dias de gestação, e as fibras musculares secundárias são formadas entre 50 e 90 dias de gestação. As fibras secundárias estão localizadas em torno dos miotubos primários, utilizando-os como suporte (Zhang et al., 2019). O crescimento do músculo após o nascimento acontece somente através de um aumento no tamanho das fibras musculares (hipertrofia), sem formação de novas fibras musculares, ou seja, não há processo de hiperplasia. Sendo assim, dietas maternas com restrição de nutrientes diminuem significativamente o número de fibras musculares em leitões neonatos (Karunaratne et al., 2005, Ji et al., 2017).

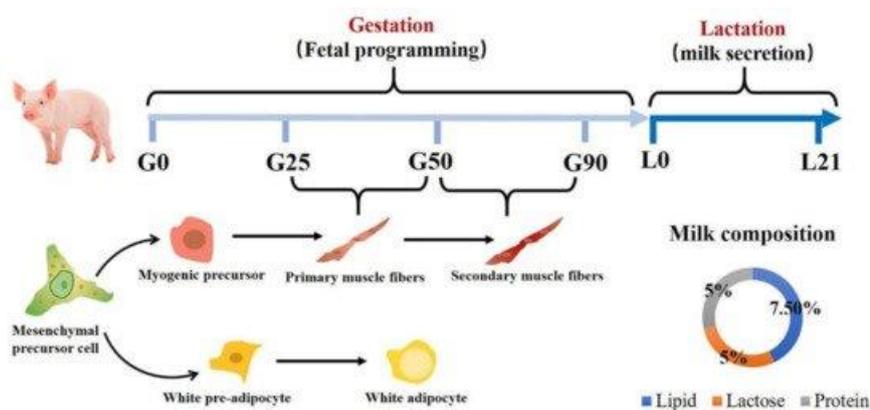


Figura 1. Regulação materna do desenvolvimento inicial dos neonatos por meio da programação fetal e da lactação.

Adaptado de Zhang et al. (2019).

De acordo com McPherson et al. (2004) as exigências nutricionais de fêmeas suínas gestantes não são atendidas quando se fornece uma quantidade constante de proteína dietética durante gestação, uma vez que a demanda nutricional materna e fetal aumentam até o parto. Semelhantemente, Kim et al. (2009) relataram maior variação de peso entre fetos, principalmente após 45 dias de gestação, quando há limitação no fornecimento de nutrientes reduzindo a transferência de metabólitos para o crescimento máximo dos conceptos.

Rehfeldt et al. (2012) avaliaram o consumo adequado, limitado e excessivo de proteína em primíparas gestantes. Estes autores observaram que a dieta de baixa ingestão de proteína materna resultou em uma remodelação do tecido muscular esquelético da prole, com menos miofibras formadas durante a miogênese e menor diferenciação muscular. Ao desmame, observaram que houve uma compensação total em massa corporal, entretanto, houve maior desenvolvimento de adiposidade associada à diferenciação acelerada de adipócitos subcutâneos, sugerindo que uma oferta insuficiente de proteína pode levar a uma maior propensão a obesidade da prole, tardiamente. Além disso, ao desmame foram observados um menor número de miofibras nos leitões das fêmeas do consumo de proteína limitado, sendo um indicativo de um potencial restrito de crescimento muscular, que pode afetar a composição corporal na vida adulta.

Além do efeito sobre a programação pré-natal, a redução de ingestão de proteína durante a gestação é um dos fatores que podem resultar em restrição intrauterina de crescimento (RIUC). A RIUC refere-se à situação em que a taxa de crescimento de um feto é inferior que o potencial de crescimento normal para a idade gestacional e é resultado de efeitos genéticos, maternos, placentários ou fetais. As principais consequências da RIUC para os

leitões são: menor peso ao nascimento e maior variabilidade de peso, podendo resultar em menor sobrevivência neonatal, maior susceptibilidade a doenças, reduzida taxa de crescimento pós-natal e pior qualidade da carcaça dos animais ao abate (Wu et al., 2006).

7. Restrição intrauterina de crescimento (RIUC)

Como mencionado, ao longo das últimas décadas, o melhoramento genético de fêmeas suínas destinadas à reprodução focou no aumento da leitegada, através da seleção para taxa de ovulação potencializando o nascimento de leitões de baixa viabilidade.

Embora o aumento no potencial reprodutivo destas fêmeas tenha possibilitado maior produtividade e ganho econômico na atividade suinícola, ocasionou problemas relacionados à desuniformidade das leitegadas ao nascimento, contribuindo para maior variabilidade de peso dos leitões, altas taxas de morbidade e mortalidade pré-desmame, além de restrição permanente de crescimento e desenvolvimento (Wang et al., 2017).

A restrição intrauterina de crescimento (RIUC) causa comprometimento do crescimento e desenvolvimento do embrião/feto de mamíferos ou de seus órgãos durante a gestação (Wu et al., 2006).

Algumas alterações fisiológicas que acontecem durante a gestação destas fêmeas hiperprolíficas levam à ocorrência do RIUC. Essas modificações são decorrentes principalmente da lotação uterina, a qual reduz o espaço para o desenvolvimento dos conceptos; da localização do feto no útero; da insuficiência de fluxo sanguíneo e consequentemente da redução na transferência de nutrientes materno-fetais; da insuficiência placentária; de falhas no processo de miogênese que acarretam um baixo peso ao nascer, com menor número de fibras musculares, menor peso de órgãos e vilosidades intestinais pouco eficientes em comparação aos leitões normais. A RIUC provavelmente comprometerá o desempenho dos leitões por toda a vida, além de ser uma das causas mais comuns de mortalidade na maternidade, particularmente na primeira semana de vida.

Compreender este conjunto de mudanças fisiológicas que ocorrem na gestação e ocasionam a RIUC são de suma importância para formular estratégias capazes de mitigar sua ocorrência.

7.1 Eventos gestacionais que levam a ocorrência de restrição intrauterina de crescimento em suínos e suas consequências

A RIUC pode ser definida como a redução no crescimento e desenvolvimento de embriões e fetos de mamíferos, assim como de seus órgãos durante a gestação (Wu et al., 2006). Leitões RIUC possuem características físicas que são próprias desta síndrome tais

como: olhos abaulados, rugas perpendiculares ao redor da boca e testa íngreme - com o aspecto semelhante a testa de um golfinho (Hales et al., 2013).

As principais consequências da RIUC para os leitões são: menor peso ao nascimento, alto risco de mortalidade neonatal, maior variabilidade de peso dentro da leitegada, maior susceptibilidade a doenças, reduzida taxa de crescimento pós-natal e pior qualidade da carcaça ao abate (D'Inca et al., 2010; Furtado et al., 2012; Alvarenga et al., 2013).

A lotação uterina pode prejudicar o crescimento fetal principalmente pela restrição de nutrientes (Wang et al., 2017), ocasionando um crescimento placentário insuficiente, uma vez que a placenta do suíno é epiteliocorial e difusa e requer adequado espaço de superfície para realizar trocas nutricionais conceito-maternais (Magnabosco et al., 2015), com o mínimo de concorrência pelos vasos sanguíneos maternos disponíveis entre placentas adjacentes.

A placenta desempenha um papel fundamental no transporte de nutrientes, gases respiratórios e resíduos entre a mãe e o feto e a sua eficiência pode ser medida pelo peso corporal de um leitão dividido pela massa da sua placenta (Dallanora et al., 2017). Uma eficiência placentária elevada permitiria que placentas menores fossem capazes de manter o desenvolvimento fetal adequado, sem afetar sua viabilidade.

Town et al. (2004) realizaram uma pesquisa com fêmeas prenhes com úteros povoados por 15 ou 9 leitões e verificaram que maior número de conceptos poderia resultar em menor desenvolvimento placentário, uma vez que tanto aos 30 quanto aos 90 dias de gestação o peso da placenta de fetos alojados em úteros que abrigavam 15 leitões foi menor quando comparados a úteros que abrigavam 9 leitões. Estes autores também verificaram que aos 30 dias de gestação os embriões são menos sensíveis a limitações de nutrientes que os fetos em fase mais avançada de gestação e que essa alteração de peso na placenta poderia resultar em menor peso ao nascimento pela redução da superfície de contato do endométrio (parede do útero) com a placenta nos úteros com até 15 leitões.

Fetos RIUC parecem receber menor aporte de nutrientes pela redução de fluxo sanguíneo, que é o principal fator que influencia a disponibilidade de nutrientes para o crescimento fetal. Pere e Etienne (2000) observaram que a correlação entre o aumento do número de fetos e o crescimento individual dos mesmos foi negativa e o fluxo sanguíneo uterino por feto diminuiu de 40 para 20% à medida que aumentou o tamanho da leitegada. Posteriormente, Guimarães et al. (2014) verificaram que outro fator que pode influenciar o suprimento de nutrientes pela redução ou aumento do fluxo sanguíneo é a posição fetal em diferentes segmentos do útero.

No estudo realizado por Che et al. (2016) foi evidenciado que os pesos fetal e placentário, bem como as concentrações de glicose foram significativamente maiores em fetos grandes que estavam posicionados em direção à junção utero-tubária em relação aos fetos menores posicionados em direção ao corpo do útero. Kim et al. (2013) observaram que o peso fetal diminui linearmente da junção utero-tubária para o corpo do útero mostrando que a posição dos fetos no útero pode favorecer seu desenvolvimento e conseqüentemente a ocorrência de RIUC.

No terço final da gestação, os fetos tendem a aumentar a superfície de contato materno-fetal através do aumento das dobras do tecido placentário para potencializar o fornecimento de nutrientes. Neste momento da gestação, os conceptos com crescimento restrito tentam promover um incremento exagerado dessas dobras, em suas placentas pouco desenvolvidas, com intuito de receber mais nutrientes. Essas mudanças morfológicas aumentam a área superficial da interação entre o suprimento de sangue materno e fetal, melhorando assim a eficiência placentária em resposta ao tamanho reduzido da placenta; no entanto, a largura da região estromal (tecido conjuntivo vascularizado) foi menor em placentas de pequenos em comparação com grandes fetos (Vallet e Freking, 2007) e a regulação desses mecanismos compensatórios para captar mais nutrientes pode exceder a capacidade do tecido do estroma comprometendo ainda mais a transferência de nutrientes para o feto e/ou ocasionando a morte do mesmo (Vallet et al., 2014). Considerando que o tecido estromal consiste em fibroblastos, cujo principal produto é o glicosaminoglicano sintetizado a partir de glicose, o crescimento restrito de fetos pode ser um reflexo do transporte insuficiente de glicose (Vallett et al., 2010; Vallet et al., 2014).

Devido à insuficiência de nutrientes, a miogênese de alguns conceptos pode ser comprometida, afetando a formação de fibras musculares. A lotação uterina no 30º dia de gestação poderia afetar a diferenciação das fibras musculares através da redução da expressão de miogenina, que é um fator regulador da miogênese, responsável pelo início da diferenciação terminal dos mioblastos em células musculares. Além disso, pode haver mudanças na expressão dos genes do sistema regulatório do fator de crescimento semelhante a insulina (IGF), que desempenha um papel predominante no desenvolvimento e no crescimento fetal. As concentrações circulantes de IGF estão positivamente relacionadas ao peso fetal, alterando a proliferação e diferenciação do músculo esquelético, implicando em redução da expressão do IGF-1 no *Longissimus dorsi* e nos tecidos hepático e renal (Chen et al., 2011), e no aumento da expressão de IGFR1 e IGFBP3 aos 65 dias de gestação e de IGFR1,

IGFR2 e IGFBP5 no terço final de gestação, como regulação pela baixa expressão do hormônio de crescimento (Tilley et al., 2007).

Estudos têm relacionado o RIUC ao menor desenvolvimento de órgãos como fígado, pâncreas, rins, estômago e intestino, assim como a alterações na morfologia intestinal, como a redução da altura das vilosidades intestinais (Dong et al., 2014), afetando de forma negativa a capacidade digestiva, absorptiva e metabólica dos leitões e, portanto, comprometendo o desempenho pós-natal dos animais (Alvarenga et al., 2013). Especula-se que os prejuízos no desenvolvimento gastrointestinal são as maiores causas pelas quais os animais com RIUC crescem mais lentamente em relação àqueles com crescimento intrauterino normal (Wang et al., 2010).

Entretanto, esses leitões possuem crescimento do cérebro relativamente preservado em relação aos outros órgãos, resultando em medidas desproporcionais ao corpo, um fenômeno conhecido como “efeito de poupar o cérebro” comprovado em estudos recentes (Amdi et al., 2014). A manutenção do peso do cérebro parece ser de importância fundamental para todos os fetos, quer sejam de peso normal ou com restrição de crescimento. Portanto, enquanto os mecanismos de compensação podem manter o crescimento do cérebro de maneira desproporcional nos fetos com crescimento restrito, mecanismos fisiológicos similares devem operar, embora em menor proporção, de forma a assegurar que o peso cerebral seja mantido dentro de uma faixa ideal, mesmo nos animais com crescimento aparentemente normal (McMillen et al., 2001).

Leitões com baixo peso ao nascer tem alta sensibilidade ao frio, levam mais tempo para realizar a primeira mamada e dificilmente conseguem disputar pelas melhores tetas, por isso, representam a categoria com as menores chances de sobrevivência (Lay et al., 2008), culminando muitas vezes em mortalidade antes do desmame (Hales et al., 2013).

Sabe-se que a ingestão de colostro está relacionada a saúde, sobrevivência e vitalidade do recém-nascido e uma das consequências do melhoramento genético é que, muitas vezes, o número de leitões nascidos supera o número de glândulas mamárias da fêmea, dificultando a mamada, principalmente do colostro (Bortolozzo, et. al., 2015). De acordo com Quesnel et al. (2012) seria necessária a ingestão de 200 g/leitão de colostro para a sobrevivência na fase neonatal, entretanto Amdi et al. (2013) observaram que leitões RIUC não ingeriram colostro em quantidade suficientes e apresentaram níveis de glicose plasmática e o glicogênio hepático reduzidos após 24 horas de vida. Os leitões pequenos ao nascimento continuam apresentando menores pesos ao longo das fases de produção e requerem um maior número de dias para alcançar peso de abate em relação aos seus irmãos maiores de mesma leitegada. Os animais

que chegam ao abate apresentam carcaças mais leves e menor deposição de carne magra (Alvarenga et al. 2014).

A maioria dos leitões com baixo peso ao nascimento morre antes do desmame e aqueles que sobrevivem sofrem atraso de crescimento permanente. Quiniou et al. (2002) observaram que apenas 15% dos leitões com peso ao nascimento menor que 0,6 kg e que 48% dos nascidos entre 0,6 e 0,8 kg permaneceram vivos ao desmame corroborando com Furtado et al. (2007) que observaram que os nascidos com menos de 0,9 kg tiveram mortalidade de aproximadamente 30%.

8. Considerações finais

Os estudos realizados, nos últimos anos, avaliando a manipulação de ração na gestação através de diferentes planos nutricionais forneceram inúmeras informações relevantes, mas também conflitantes, principalmente no que diz respeito ao arraçoamento na fase final da gestação e sua relação com o peso da leitegada e o número de nascidos vivos.

Foi evidenciado que o aumento do fornecimento de energia ao final da gestação proporciona ganho de peso às fêmeas suínas, entretanto, os relatos mostram leitegadas compostas por 12 a 16 leitões nascidos totais. Sendo assim, há necessidade de estudos que avaliem o efeito da manipulação da quantidade de ração e a influência de diferentes planos alimentares para linhagens altamente prolíficas (nascidos totais ≥ 17 leitões) sobre a condição corporal, desempenho reprodutivo, longevidade e bioquímica sanguínea no final da gestação.

Avaliar os efeitos da programação pré-natal em leitões de alto e baixo peso ao nascer torna-se um importante parâmetro para estudar possíveis alterações fisiológicas na prole de fêmeas submetidas a diferentes planos de nutrição durante a gestação (variando a quantidade de ração de forma prática), uma vez que estes dados poderiam fornecer informações capazes de auxiliar a indústria na escolha do plano de nutrição com maior custo/benefício.

9. Referências

- ALVARENGA A.L.N.; CHIARINI-GARCIA, H.; CARDEAL, P.C. et al. Intra-uterine growth retardation affects birth weight and postnatal development in pigs, impairing muscle accretion, duodenal mucosa morphology and carcass traits. *Reproduction, Fertility and Development*, v.25, p.387–395. 2013.
- ALVARENGA, A.L.N.; SOUSA, R.V.; CHIARINI-GARCIA, H. et al. Fatty acid profile, oxidative stability of pork lipids and meat quality indicators are not affected by birth weight. *Animal*, v.8, p.660–666. 2014.
- ABBOTT, D.H.; PADMANABHAN, V.; DUMESIC, D.A. Contributions of androgen and estrogen to fetal programming of ovarian dysfunction. *Reproductive Biology and Endocrinology*, v. 4, n. 17, 2006.
- AKDAG, F.; ARSLAN, S.; DEMIR, H. The effect of parity and litter size on birth weight and the effect of birth weight variations on weaning weight and pre-weaning survival in piglet. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, v. 8, n. 11, p. 2133-2138, 2009.
- AMDI, C.; KROGH, U.; FLUMMER, C. et al. Intrauterine growth restricted piglets defined by their head shape ingest insufficient amounts of colostrum1. *Journal of Animal Science*, v 91, p.5605-5613, 2013.
- AMDI, C.; GIBLIN, L.; RYAN, T.; STRICKLAND, N. C.; LAWLOR, P. G. Maternal backfat depth in gestating sows has a greater influence on offspring growth and carcass lean yield than maternal feed allocation during gestation. *Animal*, v. 8, p. 236–244, 2014.
- BALL, R.O.; SAMUEL, R. & MOEHN, S. Nutrient requirements of prolific sows. *Advances in Pork Production*, v.19, p.223-236, 2008.
- BAZER, F. W.; JOHNSON, G. A. Pig blastocyst-uterine interactions. *Differentiation*, v. 87, p. 52–65, 2014.
- BEYER, M., W. JENTSCH, S. KUHLA, H. WITTENBURG, F. KREIENBRING, H. SCHOLZE, P. E. RUDOLPH, AND C. C. METGES. Effects of dietary energy intake during gestation and lactation on milk yield and composition of first, second and fourth parity sows. *Archives Animal Nutrition*, v. 61, p. 452-468, 2007.
- BIRD, A. Perceptions of epigenetics. *Nature*, v.447, p. 396-398, 2007.
- BORTOLOZZO, F.P.; MOREIRA, L.P.; BERNARDI, M.L. et al. Produção e consumo de colostro em suínos: quais os fatores envolvidos? In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 2015, Rio Grande do Sul. Anais... Porto Alegre: [s.n.] 2015. p. 43-61. (Palestra).
- CABRERA, R.A.; LIN, X.; CAMPBELL, J.M.; MOESER, A.J. ODLE, J. Influence of birth order, birth weight, colostrum and serum immunoglobulin G on neonatal piglet survival. *Journal of Animal Science and Biotechnology* v.23, n. 1, p. 42, 2012.
- CERISUELO, A.; SALA, R.; GASA, J.; CHAPINAL, N.; CARRIÓN, D.; COMA, J. & BAUCCELLS,

- M. Effects of extra feeding during mid-pregnancy on gilts productive and reproductive performance. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v.6, n.2, p.219-229, 2008.
- COOLS, A. D. M., DECALUWÉ, R.; BUYSE, J.; VAN KEMPEND, T. A. T. G.; LIESEGANGE, A.; JANSSENS, G. P. J. Ad libitum feeding during the peripartur period affects body condition, reproduction results and metabolism of sows. *Animal Reproduction Science*, v. 145, p. 130-140, 2014.
- CHE, L.; XU, M. M.; YANG, Z. G. et al. Detection of placental proteomes at different uterine positions in Large White and Meishan gilts on gestational Day 90. *Plos One*, v.11, p.12, 2016.
- CHEN, R.J.; YIN, Y.L.; PA, J. et al. Expression profiling of IGFs and IGF receptors in piglets with intrauterine growth restriction. *Livestock Science*, v.136, p.72-75. 2011.
- DALLANORA, D.; MARCON, J.; WALTER, M. P. et al. Effect of dietary amino acid supplementation during gestation on placental efficiency and litter birth weight in gestating gilts, *Livestock Science*, v.197, p. 30-35, 2017.
- D'INCA, R.; CHE, L. T.; THYMANN, P. T. et al. Intrauterine growth restriction reduces intestinal structure and modifies the response to colostrum in preterm and term piglets. *Livestock Science*, v.133, p.20–22, 2010.
- DONG, L.; ZHONG, X.; AHMAD, H. et al. Intrauterine growth restriction impairs small intestinal mucosal immunity in neonatal piglets. *J. Hist. & Cyto.*, v. 62, p. 510– 518, 2014.
- EISSEN, J. J.; KANIS, E.; KEMP, B. Sows factors affecting voluntary feed intake during lactation. *Livestock Production Science*. v. 64, p. 147-165, 2000.
- FARMER, C., DUARTE, C. R. A.; VIGNOLA, M.; PALIN, M. F. Body condition of gilts at the end of gestation affects their mammary development. *Journal of Animal Science*, v. 94, n. 5, p.1897–1905, 2016.
- FEYERA, T.; PEDERSEN, T. F.; KROGH, U. et al. Impact of sow energy status during farrowing on farrowing kinetics, frequency of stillborn piglets, and farrowing assistance, *Journal of Animal Science*, v. 96, n. 6, p. 2320–2331, 2018.
- FLOHR, J. R.; TOKACH, MICHAEL D.; HENRY, STEVEN C.; POTTER, M. L.; TOKACH, LISA M.; GOFF, et al. The effects of orally supplemented vitamin D3 on serum 25(OH)D3 concentrations and growth of pre-weaning and nursery pigs. *Nursery Nutrition and Management*, 2013.
- FOXCROFT, G. Hyper-prolificacy and acceptable post-natal development—a possible contradiction. *Advances in pork production*, v. 19, p. 205-211, 2008.
- FOXCROFT, G.R.; DIXON, W.T.; NOVAK, C.T.; PUTMAN, C.T.; TOWN, S.C. & VINSKY, M.D.A. The biological basis for prenatal programming of postnatal performance in pigs. *Journal of Animal Science*, 84, 13 suppl, 105-112. 2006.
- FOXCROFT, G,R; DIXON, W.T.; DYCK, M.K.; NOVAK, S.; HARDING, J.C.S.; ALMEIDA, F.R.C.L. Prenatal programming of postnatal development in the pig. In: Rodriguez-Martinez H,

- VALLET JL, ZICIK AJ. (Eds). Control of Pig Reproduction VIII. 8 ed, Thrumpton: Nottingham University Press 66, 213-231, 2009.
- FURLAN, A.C.; POZZA, P. C. Exigência de Minerais para Suínos. In: SAKOMURA, N.; VILAR DA SILVA, J.H.; COSTA, F.G.P; FERNADES, J.B.K., HAUSCHILD, L. (Org.). Nutrição de Não Ruminantes. 1ed.Jaboticabal: FUNEP, v. 1, p. 403-423, 2014.
- FURTADO C.S.D.; MELLAGI A.P.G.; CYPRIANO C.R. et al. Fatores não infecciosos que influenciam o desempenho de leitões lactentes. *Acta Scientiae Veterinariae*, v.35, p.47-55, 2007.
- FURTADO, C.S.D.; MELLAGI, A.P.G.; CYPRIANO, C.R. et al. Influência do peso ao nascimento e lesões orais, umbilicais ou locomotoras no desempenho de leitões lactentes. *Acta Scientiae Veterinariae*, v.40, p.77, 2012.
- GOFF, J. P.; REINHARDT, T.A.; HORST, R.L. Bone resorption renal function, and mineral estado in cows treated with 1,25-dihydroxycholecalciferol and its 24-fluoro analogues. *Journal of Nutrition*, v. 116, p. 1500-1510, 1986.
- GOFF, J.P.; HORST, R.L.; MUELLER, F.J.; MILLER, J.K.; KIESS, G.A.; DOWLEN, H.H. Addition of chloride to prepartal diet high in cations increases, 1,25- dihydroxyvitamin D response to hypocalcemia, preventing milk fever. *Journal of Dairy Science*, v. 74, p. 3863-3869, 1991.
- GONÇALVES, M.A.D.; DRITZ, S.S.; TOKACH, M. D.; PIVA, J. H.; DEROUCHÉY, J. M.; WOODWORTH, J. C.; GOODBAND, R. D. Fact sheet - Impact of increased feed intake during late gestation on reproductive performance of gilts and sows. *Journal of Swine Health and Production*, 10, 2016a.
- GONÇALVES, M.A.D; GOURLEY,K.M.; DRITZ, S.S.; TOKACH, M.D.; BELLO, N. M.; DEROUCHÉY, J. M.; WOODWORTH, J. C.; GOODBAND, R. D. Effects of amino acids and energy intake during late gestation of high-performing gilts and sows on litter and reproductive performance under commercial conditions. *Journal of Animal Science*, v. 94, n. 5, p. 1993-2003, 2016b.
- GOODBAND, R.D., M.D. TOKACH, M.A.D. GONCALVES, J.C. WOODWORTH, S.S. DRITZ, AND J.M. DEROUCHÉY. Nutritional enhancement during pregnancy and its effects on reproduction in swine. *Animal Frontiers*, v. 3, n.4, p. 68-75, 2013.
- GUIMARÃES, G.C.; BETARELLI, R.P.; ZANGERONIMO, M.G. et al. Vascularization of broad ligament of uterus and its relationship with fetal and placental development in gilts. *Theriogenology*, v. 82, p. 232-237, 2014.
- HALES, J.; MOUSTSEN, V.A.; NIELSEN, M.B.F.; et al. Individual physical characteristics of neonatal piglets affect pre-weaning survival of piglets born in a noncrated system. *J. Anim. Sci.*, v.91, p.4991–5003. 2013.
- HANSEN, A.V.; LAURIDSEN, C.; SORENSEN, M.T.; BACH KNUDSEN, K.E.; THEIL, P. K. Effects of nutrient supply, plasma metabolites, and nutritional status of sows during transition

- on performance in the next lactation. *Journal of Animal Science* v. 90, p. 466-480, 2012.
- JI, F.; WU, G.; BLANTON, J. & KIM, S. Changes in weight and composition in various tissues of pregnant gilts and their nutritional implications. *Journal of Animal Science*, v.83, n.2, p.366-375, 2005.
- JI, Y.; WU, Z.; DAI, Z.; WANG, X.; LI, J.; WANG, B.; WU, G. Fetal and neonatal programming of postnatal growth and feed efficiency in swine. *Journal of Animal Science and Biotechnology* , 8, 42, 2017.
- JINDAL, R.; COSGROVE, J.R.; AHERNE, F.X. & FOXCROFT, G.R. Effect of nutrition on embryonal mortality in gilts: association with progesterone. *Journal of Animal Science*, v.74, p.620–624, 1996.
- JOHNSTON L.J, ELLIS M., LIBAL G.W., MAYROSE V.B., WELDON W.C. & NCR-89 Committee on Swine Management. Effect of room temperature and dietary amino acid concentration on performance of lactating sows. *Journal of Animal Science*. v. 77, p. 1638-1644, 1999.
- JOHNSTON, L.; LINDEMANN, M.; GAINES, A. *National Swine nutrition guide* (pp. 133–162) (2nd ed.). Saskatoon: Prairie Swine Center. 2010.
- KARUNARATNE, J.; ASHTON, C.; STICKLAND, N. Fetal programming of fat and collagen in porcine skeletal muscles. *Journal of Anatomy*. V. 207, p. 763–768, 2005.
- KIM JS, YANG X, BAIDOO SK. Relationship between Body Weight of Primiparous Sows during Late Gestation and Subsequent Reproductive Efficiency over Six Parities. *Asian-Australas Journal Animal Science*. n.29, v.6, p.768–774, 2016.
- KIM, S. W. Exigências nutricionais da fêmea suína gestante. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS. *Produção de suínos-Teoria e prática*. 1 ed. Brasília, DF, 2014. cap.9, p. 379-385.
- KIM, S. W.; WEAVER, A. C.; SHEN, Y. B. et al. Improving efficiency of sow productivity: Nutrition and health. *Journal of Animal Science and Biotechnology*., v. 4, p. 26, 2013.
- KIM, S.; WU, G.; BAKER, D. H. Ideal protein and dietary amino acid requirements for gestating and lactating sows. *Pig News and Information*, v. 26, n. 4, p. 89-99, 2005.
- KIM, S.W.; HURLEY, W.L.; WU, G.; JI, F. Ideal amino acid balance for sows during gestation and lactation. *Journal of Animal Science*, n. 87, p. 123–132, 2009.
- KOKETSU, Y. & LIDA, R. Sow housing associated with reproductive performance in breeding herds. *Molecular Reproduction Development*, v.84, n.9, p.979-986, 2017.
- LANGENDIJK, P. Early gestation feeding and management for optimal reproductive performance. In: *The Gestating and Lactating Sow*. 1sted. p.27-45, 2015.
- LANGLEY-EVANS, S.C. Developmental programming of health and diseases. *Proceedings of the Nutrition Society* v. 65, p. 97-105, 2006.
- LAWLOR, P., LYNCH, P.B., O'CONNELL, M.K., MCNAMARA, L., REID, P., STICKLAND, N.C. The influence of over feeding sows during gestation on reproductive performance and pig

- growth to slaughter. *Archiv fur Tierzucht*, v. 50, p. 82-91, 2007.
- LAY, D.C.; KATTESH JR, H.G.; CUNNICK, J.E.; et al. Prenatal stress effects on pig development and response to weaning. *Journal of Animal Science*, v.86, p.1316-1324. 2008.
- LONG, H. F.; JU, W.S.; PIAO, L.G.; KIM, Y.Y. Effect of Dietary Energy Levels of Gestating Sows on Physiological Parameters and Reproductive Performance. *Asian-Australas Journal Animal Science*. v. 23, n. 8, p. 1080 – 1088, 2010.
- MAGNABOSCO, D.; BIERHALS, T.; RIBEIRO, R.R.; CEMIN, H.S.; FACCIN, J.E.; BERNARDI, M.L.; WENTZ, I. & BORTOLOZZO, F.P. Lysine supplementation in late gestation of gilts: effects on piglet birth weight, and gestational and lactational performance. *Ciência Rural*, v.43, n.8, p.1464-1470, 2013.
- MAGNABOSCO, D. MENEGAT, M.B., BERNARDI, M.L., et al. Efeito do peso ao nascer no desempenho da futura matriz reprodutora suína. Avanços em sanidade, produção e reprodução de suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 2015, Rio Grande do Sul. Anais... Porto Alegre: [s.n.] 2015. p. 43-61. (Palestra).
- MALLMANN, A.L.; BETIOLO, F.B.; CAMILLOTI, E.; MELLAGI, A.P.G.; ULGUIM, R.R.; WENTZ, I.; BERNARDI, M.L.; GONÇALVES, M.A.D.; KUMMER, R. & BORTOLOZZO, F.P. 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.
- MALLMANN, A.L.; CAMILOTTI, E.; FAGUNDES, D.P.; MELLAGI, A.P.G.; BERNARDI, M.L.; WENTZ, I. & BORTOLOZZO, F.P. Aumentar a quantidade de ração no terço final de gestação: é esta uma estratégia viável para melhorar o peso ao nascimento? In: Barcellos, D.E.; Bortolozzo, F.P.; Wentz, I.; Bernardi, M.L.; Mellagi, A.P.G. & Ulguim, R.R. *Avanços em sanidade, produção e reprodução de suínos II*. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, p.163-173. 2017.
- MALLMANN, A.L.; CAMILOTTI, E.; FAGUNDES, D.P.; VIER, C.E.; MELLAGI, A.P.G.; ULGUIM, R.R.; BERNARDI, M.L.; ORLANDO, U.A.D.; GONÇALVES, M.A.D.; KUMMER, R. & BORTOLOZZO, F.P. Impact of feed intake during late gestation on piglet birth weight and reproductive performance: A dose-response study performed in gilts. *Journal of Animal Science*, v.97, n.2, 2019a.
- MALLMANN, A.L.; FAGUNDES, D.P.; VIER, C.E.; OLIVEIRA, G.S.; MELLAGI, A.P.G.; ULGUIM, R.R.; BERNARDI, M.L.; ORLANDO, U.A.D.; COGO, R.J.; BORTOLOZZO, F.P. Maternal nutrition during early and late gestation in gilts and sows under commercial conditions: impacts on maternal growth and litter traits, *Journal of Animal Science*, v.97, n.12, p.4957–4964, 2019b.
- MALLMANN, A.L.; OLIVEIRA, G.S.; ULGUIM, R.R.; MELLAGI, A.P.G.; BERNARDI, M.L.; ORLANDO, U.A.D.; COGO, R.J.; BORTOLOZZO, F.P. Impact of feed intake in early

- gestation on maternal growth and litter size according to body reserves at weaning of young parity sows. v.98, skaa 075, 2020.
- McMILLEN, I.C.; ADAMS, M.B.; ROSS, J.T. et al. Fetal growth restriction: adaptations and consequences. *Repr.*, v.122, p.195-204, 2001.
- McPHERSON, R. L., F. JI, G. WU, J. R. BLANTON, And S. W. KIM. Fetal growth and compositional changes of fetal tissues in pigs. *Journal of Animal Science*.v.82, p.3014– 3020. 2004.
- MOEHN, S., BALL, R. O. Nutrition of pregnant sows. In: *Proceedings of the London Swine Conference, Managing for Production*, London, Ontario. p. 55–63. London Swine Conference, Tools of the Trade, London, Ontario. p. 3–19, 2013
- MOSNIER, E., ETIENNE, M., RAMAEKERS, P.; PERE, M.C. The metabolic status during the peripartum period affects the voluntary feed intake and the metabolism of the lactating multiparous sow. *Livestock Science*, v. 127, p. 127-136, 2010.
- NRC - National Research Council. Proteins and amino acids. In: *Nutrient Requirements of Swine*. 11th rev ed. Washington, DC: National Academy Press; 2012:15–44.
- OLIVIERO, C.; HEINONEN, M.; VALROS, A.; PELTONIEMI, O. Environmental and sow-related factors affecting the duration of farrowing. *Animal Reproduction Science*, v. 119, p. 85-91, 2010.
- PÈRE, M.C.; ETIENNE, M. Uterine blood flow in sows: effects of pregnancy stage and litter size. *Reproduction Nutrition Development*., v.40, p.369-382, 2000.
- PÈRE M. C.; ETIENNE, M. Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *Journal of Animal Science*, v. 85, p. 101-110, 2007.
- QUESNEL, H. Nutritional and lactational effects on follicular development in the pig. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Pig Reproduction* (Banff, Canada), p.121-134, 2009.
- QUESNEL, H.; BOULOT, S.; SERRIERE, S. ET AL. Post-insemination level of feeding does not influence embryonic survival and growth in highly prolific gilts. *Animal Reproduction Science*, v.120, p.120-124, 2010.
- QUESNEL, H.; FARMER, C.; DEVILLERS. N. Colostrum intake: Influence on piglet performance and factors of variation. *Livestock Science*, v.146, p.105–114, 2012.
- QUINIOU, N.; DAGORN, J.; GAUDRÉ, D. Variation of piglets' birth weight and consequences on subsequent performance. *Livestock Science*, v.78, p.63-70, 2002.
- REHFELDT C, LANG IS, GÖRS S, HENNIG U, KALBE C, STABENOW B, BRÜSSOW KP, PFUHL R, BELLMANN O, NÜRNBERG G, OTTEN W, METGES CC. Limited and excess dietary protein during gestation affects growth and compositional traits in gilts and impairs offspring fetal growth. *Journal of Animal Science* 89, 329-41, 2011.
- REN, P.; YANG, X.J.; KIM, J.S.; MENON, D. & BAIDOO, S.K. Effect of different feeding levels during three short periods of gestation on sow and litter performance over two reproductive cycles. *Animal Reproduction Science*, v.177, p.42-55, 2017.
- REN, P.; YANG, X.J.; RAILTON, R.; JENDZA, J.; ANIL, L. & BAIDOO, S.K. Effects of different

- levels of feed intake during four periods of gestation and housing systems on sows and litter performance. *Animal Reproduction Science*, v.188, p.21-34, 2018.
- ROONEY, H.B.; O'DRISCOLL, K.; O'DOHERTY, J.V.; LAWOR, P.G. Effect of increasing dietary energy density during late gestation and lactation on sow performance, piglet vitality and lifetime growth of offspring. *Journal of Animal Science*, v.98, n.1, 2020.
- ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M.I.; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N.K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M.V.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S.L.T.; BRITO, C.O. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. 4a edição. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2017. 488p.
- SENGER, P.L. *Pathways to Pregnancy and Parturition*; Current Conceptions, Inc.: Pullman, WA, USA, 2004.
- SERENA, A., H. JØRGENSEN, AND K. E. BACH KNUDSEN. Absorption of carbohydrate-derived nutrients in sows as influenced by types and contents of dietary fiber. *Journal of Animal Science*, v. 87, p. 136-147, 2009.
- SILVA, B. A. N. Nutrição Fêmeas Suínas de Alta Performance Reprodutiva nos Trópicos Nutrição. *Institute for Pig Genetics The Netherlands*, n. 37, p. 10 - 35, 2010.
- SOLÀ-ORIO, D. & GASA, J. Feeding strategies in pig production: Sows and their piglets. *Animal Feed Science and Technology*, v.233, p.34-52, 2016.
- THEIL P. K.; NIELSEN, M. O.; SØRENSEN, M. T.; LAURIDSEN, C. LACTATION, MILK AND SUCKLING. In: Bach Knudsen, K. E.; Kjeldsen, N. J.; Poulsen, H. D.; Jensen, B. B. *Nutritional physiology of pigs*. Danish Pig Research Centre, Copenhagen, Denmark. p. 1–47, 2012.
- TILLEY, R.E.; MCNEIL, C.J.; ASHWORTH, C.J. et al. Altered muscle development and expression of the insulin-like growth factor system in growth retarded fetal pigs. *Domestic Animal Endocrinology*, v.32, p.167–177. 2007.
- THEIL, P. K. Transition feeding of sows. In: FARMER, C. *The gestating and lactating sow*. p. 147–172, 2015.
- TOWN, S., PUTMAN, C., TURCHINSKY, N., DIXON, W., FOXCROFT, G. Number of conceptuses in utero affects porcine fetal muscle development. *Reproduction*, v. 128, n. 4, p. 443-454, 2004.
- VALLET, J. L.; FREKING, B. A. Differences in placental structure during gestation associated with large and small pig fetuses. *Journal of Animal Science*, v.85, p.3267–3275, 2007.
- VALLET, J. L.; MILES, J. R.; FREKING, B. A. Effect of fetal size on fetal placental hyaluronan and hyaluronoglucosaminidases throughout gestation in the pig. *Animal Reproduction Science*, v.118, p. 297–309, 2010.
- VALLET, J. L.; MCNEEL, A. K.; MILES, J. R.; FREKING, B. Placental accommodations for transport and metabolism during intra-uterine crowding in pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. v.5, p.55. 2014.

- VIGNOLA, M. Sow feeding management during lactation. In: Proceedings of the 2009 London Swine Conference, Tools of the Trade, London, Ontario. p. 107–117, 2009.
- WANG, J.; FENG, C.; LIU, T. et al. Physiological alterations associated with intrauterine growth restriction in fetal pigs: Causes and insights for nutritional optimization. *Mol Reprod Dev.*, v.1, p.8, 2017.
- WANG, X.; WU, W.; LIN, G. et al. Temporal proteomic analysis reveals continuous impairment of intestinal development in neonatal piglets with intrauterine growth restriction. *J. Prot. Res.*, v.9, p.924-935, 2010.
- WU, G.; BAZER, F.W.; WALLACE, J.M. et al. Intrauterine growth retardation: Implications for the animal sciences. *J. Anim. Sci.*, v.84, p.2316-2337. 2006.
- WURYASTUTI, H.; HOWARD, D.; STOWE, E.; MILLER, R. The influence of calcium in the gestational diet on serum 1, 25-dihydroxycholecalciferol in sows and piglets. *Journal of Animal Science*, v. 69, p. 734–739, 1991.
- YODER, C., SCHWAB, C., FIX, J., DUTTLINGER, V., BAAS, T. Lactation feed intake in purebred and F1 sows and its relationship with reproductive performance. *Livestock Science*, v. 150, n. 1, p. 187-199, 2012.
- YOUNG, M.G.; TOKACH, M.D.; AHERNE, F.X.; MAIN, S.; DRITZ, S.; GOODBAND, R.D. & NELSEN, L. Comparison of three methods of feeding sows in gestation and the subsequent effects on lactation performance. *Journal of Animal Science*, v.82, n.10, p.3058-3070, 2004.
- ZAK, L.; COSGROVE, J.R.; AHERNE, F.X. & FOXCROFT, G.R. 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, 1997.
- ZHANG, S.; HENG, J.; SONG, H.; ZHANG, Y.; LIN, X.; TIAN, M.; CHEN, F.; GUAN, W. Role of Maternal Dietary Protein and Amino Acids on Fetal Programming, Early Neonatal Development, and Lactation in Swine. *Animals*, 9, 19, 2019.

CAPÍTULO II

ARTIGO PUBLICADO – ANIMAL

Disponível online 23 de dezembro de 2020

<https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100153>



Plane of nutrition during gestation affects reproductive performance and retention rate of hyperprolific sows under commercial conditions



S.V. Ferreira ^{a,*}, L.A. Rodrigues ^{b,c}, M.A. Ferreira ^a, D.V. Alkmin ^d, J.M. Dementshuk ^{d,e}, F.R.C.L. Almeida ^f, D.O. Fontes ^a

^a Department of Animal Science, School of Veterinary, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, 31270-901, MG, Brazil

^b Department of Animal and Poultry Science, College of Agriculture and Bioresources, University of Saskatchewan, Saskatoon, S7N 5B4, SK, Canada

^c Prairie Swine Centre, Inc., Box 21057, Saskatoon, S7H 5N9, SK, Canada

^d DB Genética Suína Brazil, Patos de Minas, 38706-000, MG, Brazil

^e Department of Animal Science, School of Agronomy, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 91540-000, RS, Brazil

^f Department of Morphology, Institute of Biological Sciences, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, 31270-901, MG, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 May 2020

Received in revised form 10 November 2020

Accepted 12 November 2020

Available online 23 December 2020

Keywords:

Bump feeding

Nutritional status

Pre-weaning growth

Sow longevity

Swine

ABSTRACT

Defining a maternal plane of nutrition during gestation is pivotal for improving sow productivity and the cost-effectiveness of feeding. The benefits of increasing the amount of feed during late gestation have been controversial. The objective of this study was to investigate the effects of different planes of nutrition during gestation on reproductive performance of hyperprolific sows and pre-weaning litter performance. One hundred and thirty-five gestating sows were randomly assigned to one of three planes of nutrition throughout parities three and four (P4), as follows: Req – plane designed to meet requirements of prolific sows (2.3 kg per day from day 1 to 21; 1.8 kg per day from day 22 to 75; 2.3 kg per day from day 76 to farrowing); Bump – plane designed as the Req, with increased feed intake during late gestation (3.0 kg per day from day 91 to farrowing); and Maintenance – plane designed to closely meet maintenance requirements of sows (1.8 kg per day from day 1 to farrowing). All treatments were fed the same gestation diet (2.50 MCal NE/kg; 0.67% SID Lysine; 15.17% CP). Sow biometrical parameters at farrowing and at weaning, and litter characteristics were recorded. Also, blood samples were collected for pre- and post-prandial serum glucose and plasma insulin, as well as triglycerides, calcium, and phosphorus analyses. Culling, stratified by cause, and retention rates were recorded in all treatments for each parity. Over two parities, Bump sows had higher weight gain and, at P4, had a higher number of piglets born alive ($P < 0.05$). Bump sows lost more weight between the end of gestation and weaning over two parities ($P < 0.05$). Maintenance sows showed reduced body condition score with a higher percentage of piglets removed throughout lactation (due to inappetence and inability to reach the udder) at P4 ($P = 0.03$). Pre- and post-prandial glucose levels were higher in Bump sows, as well as post-prandial insulin and phosphorus levels at P4 ($P < 0.05$). Bump sows also showed increased plasma triglycerides compared to the other treatments ($P = 0.03$). Retention rate was reduced in Maintenance compared to Bump and Req sows at parity 5 ($P = 0.02$). Taken together, our results indicate that higher feed intake allowance during late gestation may improve the sow's nutritional status triggering positive results on litter size of hyperprolific sows (e.g., more than 17 total born). However, body condition score must be carefully evaluated to prevent excessive weight gain during successive parities.

© 2020 The Authors. Published by Elsevier Inc. on behalf of The Animal Consortium. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Implications

Controlled, large-scale nutrition experiments in sow farms can set the basis for speeding up translation of findings to the industry and enhance pork productivity. In a commercial setting, the current experiment showed that an increased feed intake after 90 days of gestation improved subsequent litter size without compromising birth weight in litters larger than 17 piglets, which demonstrates adequate nutrient

provision for conceptus development. This may be partly explained by improved pre- and post-prandial energy status of sows. In addition, decreased retention rates at subsequent parities may be associated with feeding sows close to maintenance requirements during gestation.

Introduction

Sows require intensive nutritional management because of the continuous genetic selection for prolificacy and leaner body composition. Plane of nutrition during gestation must provide adequate amounts of nutrients for maintenance, maternal weight gain, milk production, and

* Corresponding author.

E-mail address: soraivianazoo@zootec.dout.ufmg.br (S.V. Ferreira).

fetal/placental growth (National Research Council (NRC), 2012). Defining an adequate plane of nutrition can provide advantages for daily operations, as specific nutrients may be provided during different gestation periods without the need to formulate different diets.

Bump feeding is the practice of increasing the amount of feed during late gestation (e.g., after 90 days) aiming at providing an improved nutrient profile for fast-growing fetuses, with reported benefits on litter birth and weaning weights (Cromwell et al., 1989; Shelton et al., 2009). However, recent evidence indicates that only gilts benefit from this feeding regimen (Gonçalves et al., 2016; Mallmann et al., 2018), while sows with an ideal body condition score showed increased stillborn rate with a concomitant marginal effect on litter growth when bump-fed (Mallmann et al., 2019). Moreover, bump feeding may result in overgrowth of sows (Gonçalves et al., 2016), which could lead to reduced feed intake during the subsequent lactation (Cromwell et al., 1989; Revell et al., 1994), increased catabolism of body reserves (Kim et al., 2015), reduced colostrum yield (Decaluwé et al., 2014), and decreased subsequent litter size and weight gain (Kim et al., 2015).

We therefore proposed a controlled trial in a commercial sow farm to extrapolate current nutrient intake recommendations during gestation for females in parity 3 (P3) and 4 (P4). Our objective was to evaluate different gestation planes of nutrition during the peak of production (e.g., P3 and P4) and monitor sows until parity 5 (P5). Furthermore, our study aimed at establishing an optimal plane of nutrition for sows farrowing more than 17 piglets by evaluating nutritional status and reproductive performance, as well as litter characteristics. Such an approach is essential as current requirements are designed for females farrowing between 13 and 15 piglets (National Research Council (NRC), 2012; Rostagno, 2017) and may be underestimated for hyperprolific sows.

Material and methods

The experiment was conducted in the city of Patos de Minas, located in the south eastern part of Brazil (842 m altitude, 18°34' South latitude, and 46°31' West longitude), a region with a tropical savanna with dry winter season (Aw) (Köppen, 1936 climate classification).

Animals and housing

A total of 135 gestating sows (Landrace females × York-shire boars; DB Brazil, Patos de Minas, MG, Brazil) with a BW of 225.2 ± 19.8 kg were included in the trial during P3. The number of animals required per treatment ($n = 45$) was calculated according to the equation from Sampaio (2015). Briefly, we used data from Mallmann et al. (2018), which was a study conducted in commercial conditions and evaluated similar variables. We selected average piglet birth weight, which had the highest SEM and calculated sample size accordingly (Sampaio, 2015). The following criteria were met for inclusion in the study: 1) females belonging to the same maternal genetic line, 2) females not used as foster sows in previous parities, 3) females with good health status (e.g., absence of lameness, prolapse, reproductive disorder, or abortion in previous parities), 4) body condition score between 2.5 and 3.5 (1–5 scale; Young et al. (2004)), and 5) Caliper units (7–14 scale; Knauer and Baitinger (2015)). Sows were assigned to treatments such that initial BW, Caliper unit (objective measurement), total number of born (Req = 16.94 ± 1.27 , Bump = 16.96 ± 1.20 ; Maintenance = 16.99 ± 1.28), and total number weaned (Req = 11.97 ± 0.87 , Bump = 11.98 ± 0.85 ; Maintenance = 11.91 ± 0.90) in parity 2 were compatible among treatments. It should be noted that if a given sow failed to meet the criteria mentioned above, they were excluded from the trial.

Throughout gestation, females were housed in individual crates measuring 0.72×2.12 m (front 0.93 m solid floor, back 1.05 m slatted), equipped with a feeder and a nipple drinker. On day 110 of gestation, sows were transferred from the gestation facility to a farrowing room. Each farrowing room was equipped with 26 individual conventional

farrowing crates. Each crate measured 1.10×2.41 m, with a piglet area of 1.53×0.53 m, which had an accessible creep area, rubber mats, and a heat lamp. Individual bowl feeders and nipple drinkers were located at the front of each sow space. During the experimental period, a digital thermo-hygrometer (Model 7666.02.0.00; Inconterm, Porto Alegre, RS, Brazil) was placed in the middle of the facility at the sows' back level, allowing continuous measurement of indoor temperature (minimum: 22.3 °C, maximum: 25.3 °C) and humidity (average: 81%).

Experimental design

Sows were randomly placed on trial over 3 blocks (according to BW – Block 1: 31.1%; Block 2: 40.0% and Block 3: 28.9% of sows in each treatment), being assigned to one of three planes of nutrition throughout P3 and P4, as follows (Fig. 1): Req – plane designed to meet requirements of prolific sows (2.3 kg per day from day 1 to 21; 1.8 kg per day from day 22 to 75; 2.3 kg per day from day 76 to farrowing), according to Rostagno (2017) ($n = 45$); Bump – plane designed as the Req, but with increased feed intake during late gestation (3.0 kg per day from day 91 to farrowing) ($n = 45$); and Maintenance – plane designed to closely meet maintenance requirements of sows (1.8 kg per day from day 1 to farrowing) ($n = 45$), according to Gonçalves et al. (2016). The plane Req was designed to meet energy and amino acid requirements of highly prolific sows according to the Brazilian Table of Nutrient Requirements (Rostagno, 2017), with an adaptation from day 21 to 75 of gestation, reducing net energy and SID Lysine intake to 4.50 Mcal and 12.06 g per day, respectively, due to evidence of reduced nutrient requirements during this period (Ji et al., 2005; Goodband et al., 2013; Koketsu and Lida, 2017) and as an attempt to improve cost-effectiveness of the plane of nutrition. Bump sows were fed the same amounts of feed from 1 to 90 day of gestation as Req females and were offered 0.7 kg additional feed from 90 days of gestation until farrowing aiming at providing supporting nutrients for conceptuses development. Finally, Maintenance sows were fed 1.8 kg of feed throughout gestation to test the hypothesis that sows fed close to maintenance requirements during gestation can still exhibit reasonable productive and reproductive performance (Gonçalves et al., 2016; Mallmann et al., 2018). The NE intake on the low-energy treatment was calculated to meet the maintenance requirement for a 230-kg BW female. Sows from all experimental treatments were fed the same diet throughout gestation and lactation in P3 and P4 (Table 1), which were formulated to meet specifications for gestating and lactating sows (Rostagno, 2017). During P5, all the females were placed on the same plane of nutrition (Req) to evaluate residual effects of planes offered during P3 and P4. The selection of P3 and P4 sows was based on internal indexes of the commercial herd. We used total born piglets and born alive as selection criteria, since these measures peak in P3 and P4, which is consistent with recent findings (Thomas et al., 2018; Lavery et al., 2019). Therefore, even though we are unable to replicate findings for other parities, we aimed at investigating planes of nutrition during highly demanding periods. Feed was daily weighed, placed into individual bags, and offered to the sows.

Experimental procedures

All sows were weighed using a 0.1-kg digital scale (KM3-N, Coimma, São Paulo, Brazil) and their body condition was assessed using Caliper unit measurement at the beginning of the trial (day 1 of gestation), at day 110 of gestation, and at weaning (23 ± 1.5 days after farrowing).

Farrowing was monitored individually to calculate the duration of farrowing and average birth interval, which was considered the period between birth of the last pig and complete placenta expulsion. Placental efficiency was calculated as placental weight after complete expulsion divided by litter weight (van Rens et al., 2005). After farrowing, the total number of piglets born, born alive, stillborn, mummies, and

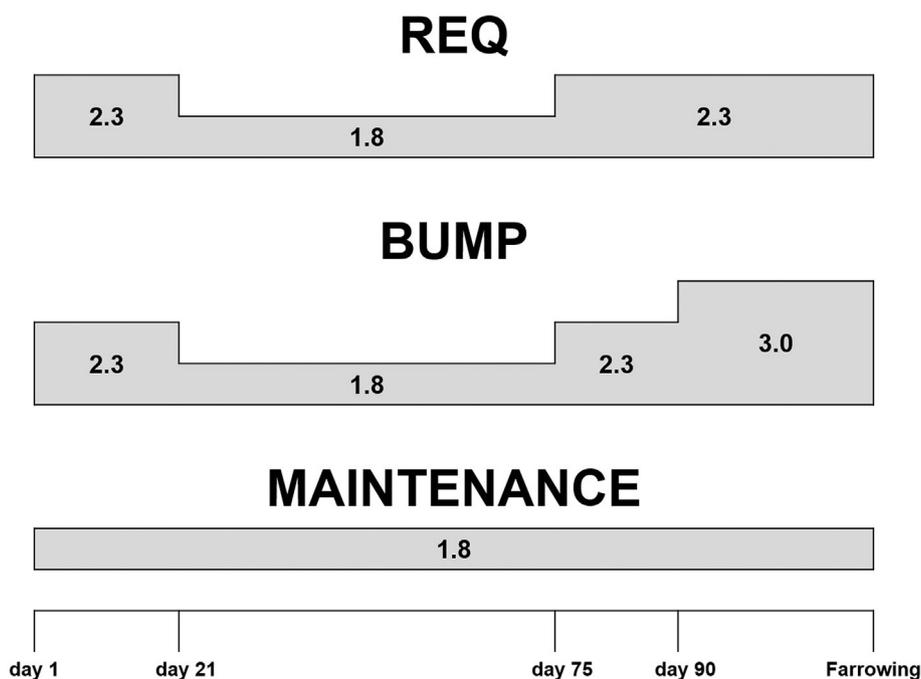


Fig. 1. Planes of nutrition with amounts (kg) provided to sows throughout gestation. Gestating sows were fed a diet containing 2.5 MCal NE/kg, 0.67% SID Lysine, and 15.17% CP. REQ = Requirements; BUMP = Bump feeding; NE = net energy; SID = standardized ileal digestible.

individual piglet BW (5-g digital scale) was recorded. Cross-fostering (performed according to piglet BW) of piglets was completed within 24 h of farrowing with litters standardized to 13 and 12 piglets for P3 and P4, respectively. The remaining piglets were allocated to nursing sows and were not accounted for as weaned. The lactational feed intake was measured daily between farrowing and weaning at P3. Briefly, sows were fed by a semi-automatic system in which 40-kg-feed bags were weighed and placed on a cylinder providing ad libitum access to feed throughout the lactation period. There was constant monitoring of cylinders to ensure that feed was available. Feed remaining in the bags and leftovers from the sows were collected, pooled, and weighed for calculation of lactational feed intake. The lactation length and weaning-to-estrus interval were recorded. Total number of piglets weaned, weaning weight as well as pre-weaning mortality and removal rate were recorded. Removal rate was recorded throughout lactation as the percentage of piglets removed and allotted to a foster sow, due to inability to reach the udder and inappetence. Briefly, by observation, piglets showing slower growth rate and mild prostration compared to their siblings were identified with a marker and kept restrained within the creep area. Subsequently, the marked piglets were weighed and when showing decreased BW compared to the expected growth were removed from trial.

After P3, all the sows were exposed to a mature teaser boar twice a day (09:00 AM, 02:00 PM) after weaning. Intrauterine insemination with 1.25×10^9 viable sperm in 45 ml of extended semen was performed in sows showing signs of estrus. We used heterospermic semen doses to exclude the boar (Landrace females \times York-shire boars; DB Brazil, Patos de Minas, MG, Brazil) effect. Semen doses, used within 2 days of collection to maintain semen quality, were all tested prior to insemination to ensure adequate concentrations. When signs of estrus were detected, females were inseminated during the afternoon with one semen dose per day. All sows returning to estrus were excluded from the study. Reproductive performance was evaluated as performed during P3. Maternal weight gain was calculated as the difference between sow BW when inseminated at P3 and sow BW when weaned at P4.

At 112 days of gestation during P4, 10-ml blood samples were taken from the jugular vein 1 h before (pre-prandial) and 1 h after feeding (post-prandial) into tubes with and without sodium fluoride. Blood

samples collected into tubes with sodium fluoride were centrifuged within 20 min from sampling to obtain plasma, whereas blood samples collected into tubes without sodium fluoride were kept at ambient temperature for 2 h before centrifugation to obtain serum. Thereafter, plasma and serum were obtained by centrifugation at $1500 \times g$ for 15 min at room temperature using a benchtop centrifuge (80-2B; CentriBio) and stored at -20°C until analysis. Pre- and post-prandial serum glucose and plasma insulin, and post-prandial calcium, phosphorus, and triglycerides were analyzed at the Multilab-EV/UFMG, using commercial kits (Biotécnica, Varginha, MG, Brazil). Insulin resistance was calculated according to the following equation: Insulin resistance = $[(\text{pre-prandial insulin, mIU/l}) * (\text{pre-prandial glucose, mmol/l})] / 22.5$ (Wallace et al., 2004).

The retention rate was calculated as the percentage of sows that were maintained in the production flow until P5 within each treatment. A retention rate of 100% was calculated for those sows maintained in the herd for the overall period (142 days = 115 days of gestation + 23 days of lactation + 4 days of weaning to estrus interval). Retention rate was then calculated as a percentage, being the number of days, each sow was maintained in the herd in a given parity divided by the overall duration in days of that parity.

Statistical analysis

Data were analyzed using R Software (R Core Team, 2019). The codes used for statistical analysis in R are given in Supplementary Material S1. Body weight and weight variation, body condition score, farrowing duration, interval between births, total number of piglets born, born alive, average birth weight, litter birth weight, placental weight, placental efficiency, lactation duration, litter weaning weight, average weaning weight, and weaning to estrus interval were analyzed using mixed model (lme4 package) and means were compared through Wald test (lmerTest package). The stillborn and mummies percentage were analyzed using non-parametric Kruskal-Wallis test (Agricolae package) and means were compared using the Nemenyi post-hoc test. For performance in the subsequent parity, data were analyzed using repeated measures. In this sense, the fixed effect of treatment and block, parity order (3 and 4),

Table 1

Ingredients, estimated and analyzed composition of gestation and lactation diets (as-fed basis) fed to sows.

Item	Diets	
	Gestation ¹	Lactation ²
Corn	40.85	55.56
Sorghum	28.00	–
Soybean meal, 46% CP	15.00	26.80
Soybean oil	–	5.00
Sugar	–	4.00
Soybean hulls	10.00	3.00
Meat and bone meal, 49% CP	2.00	2.65
Yeast from sugarcane	1.50	–
Dicalcium phosphate	1.60	1.15
Limestone	0.12	0.42
Salt	0.50	0.50
L-Lysine	0.10	0.20
L-Tryptophan	0.03	–
DL-Methionine	–	0.07
L-Threonine	–	0.07
L-Valine	–	0.08
Vitamin and mineral premix ³	0.30	0.50
Estimated (e) and analyzed (a) composition, e/a		
CP, %	15.17/14.84	18.59/16.79
Net energy (NE), MCal/kg	2.50	2.72
Metabolizable energy (ME), MCal/kg	3.23	3.51
Crude fiber (CF), %	5.86/5.80	3.96/3.96
Total calcium, %	0.84/0.71	0.85/0.75
Available calcium, %	0.85	0.95
Total phosphorus, %	0.64/0.66	0.66/0.62
Available phosphorus, %	0.50	0.50
SID Lysine, %	0.67	1.00
SID Tryptophan, %	0.17	0.19
SID Methionine + Cysteine, %	0.38	0.55
SID Threonine, %	0.43	0.65
SID Valine, %	0.61	0.82
Sodium, %	0.23	0.26

REQ = Requirements; BUMP = Bump feeding; SID = standardized ileal digestible.

¹ Gestating Req sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 2.3 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Bump sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 3.0 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Maintenance sows were fed 1.8, 1.8, 1.8, and 1.8 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively.

² All the sows (Req, Bump, and Maintenance) were fed the same diet during lactation.

³ Vitamin and mineral premix composition, supplied per kg of gestation diet: iodine 0.2 mg/kg; copper 17 mg/kg; iron 13 mg/kg; manganese 16.7 mg/kg; selenium 0.055 mg/kg; zinc 18 mg/kg; cobalt 0.03 mg/kg; pantothenic acid 3.99 mg/kg; folic acid 0.59 mg/kg; biotin 0.16 mg/kg; niacin 5.9 mg/kg; vit. A 2 390 IU/g; vit. B1 0.43 mg/kg; vit. B2 1.59 mg/kg; vit. B6 0.59 mg/kg; vit. B12 5.9 mcg/kg; vit. D3 490 IU/g; vit. E 13 IU/kg; vit. K3 0.49 mg/kg. Vitamin and mineral premix composition, supplied per kg of lactation diet: iodine 0.23 mg/kg; copper 75 mg/kg; iron 15 mg/kg; manganese 7.9 mg/kg; selenium 0.065 mg/kg; zinc 33 mg/kg; cobalt 0.038 mg/kg; pantothenic acid 4.99 mg/kg; folic acid 0.67 mg/kg; biotin 0.165 mg/kg; niacin 6.74 mg/kg; vit. A 2 690 IU/g; vit. B1 0.49 mg/kg; vit. B2 1.79 mg/kg; vit. B6 0.67 mg/kg; vit. B12 6.74 mcg/kg; vit. D3 560 IU/g; vit. E 15.74 IU/kg; vit. K3 0.56 mg/kg.

and their interaction were included. Blood sampling data were subjected to ANOVA and means were compared using the Student Newman Keuls test (Agricolae package). Retention rate data was analyzed using the Kruskal–Wallis test from Agricolae package and means were compared using the Nemenyi post-hoc test. For all data analysis, the treatments and block (BW ranges) were included as fixed effects and the date of beginning of trial was included as random effect, except for those parameters analyzed through non-parametric analysis. Each sow was considered the experimental unit and statistical differences were considered significant when $P \leq 0.05$, while $P \leq 0.10$ was considered as a trend.

Results

Sow body weight changes and body condition scores at parity 3

Validating the randomization process, no differences between treatments were observed ($P = 0.99$) in BW and Caliper units at day 1 of

gestation at P3 (Table 2). At day 110 of gestation, Bump sows were heavier than Req sows (+6.4 kg), which were both heavier than Maintenance sows (+8.9 kg) ($P < 0.01$). At weaning, Bump sows tended to be heavier than Maintenance sows, with Req sows being intermediate ($P = 0.07$). From day 1 to day 110 of gestation, Bump sows gained more weight than Req sows (+6.4 kg) which gained more weight than Maintenance sows (+9.6 kg) ($P < 0.01$). Maintenance sows lost less weight between day 110 of gestation and weaning than Bump and Req sows ($P < 0.01$). Planes of nutrition did not affect Caliper unit measured at either day 1 or day 110 of gestation and at weaning, lactational feed intake, lactation length, and weaning to estrus interval of P3 sows ($P > 0.05$).

Sow body weight changes and body condition scores at parity 4

At day 1 of gestation at P4, Bump sows were heavier ($P = 0.03$) than Req (+6.0 kg) and Maintenance (+8.0 kg) sows (Table 3). Similarly, at day 110 of gestation, Bump sows were heavier than Req sows, which were heavier than Maintenance sows ($P < 0.01$). At weaning, Maintenance sows were lighter than Bump (–11.0 kg) and Req (–7.7 kg) sows ($P < 0.01$). From day 1 to day 110 of gestation, Bump and Req sows gained more weight than Maintenance ($P < 0.01$). Bump sows lost more weight between day 110 of gestation and weaning than Maintenance sows ($P = 0.02$). Planes of nutrition did not influence Caliper unit of P4 sows at day 1 or day 110 of gestation ($P > 0.05$). At weaning, Bump sows showed the highest Caliper unit measure (10.3), Maintenance the lowest (9.5), with Req being intermediate (9.8) ($P = 0.02$). Maternal weight gain between P3 and P4 was increased in Bump sows compared to Req (+3.1 kg) and Maintenance (+9.5 kg) sows ($P < 0.01$).

Litter performance at parity 3 and parity 4

The total number of piglets born tended to increase in Bump sows compared to Req and Maintenance sows ($P = 0.06$) at P3 (Table 4). There was no effect of treatment on any other litter performance

Table 2

Effect of plane of nutrition during gestation of parity 3 (P3) sows on BW and body condition score at days 1 and 110 of gestation, and weaning.

Parameters	Treatments ¹			SEM	P-value
	Req n = 43	Bump n = 44	Maintenance n = 43		
BW, kg					
Day 1 of gestation	226.2	226.2	226.2	1.6	0.99
Day 110 of gestation	261.4 ^b	267.8 ^a	252.5 ^c	2.2	<0.01
Weaning	231.9	237.2	230.0	2.3	0.07
Day 1 to day 110 of gestation	35.1 ^b	41.5 ^a	25.5 ^c	1.8	<0.01
Day 110 of gestation to weaning	–29.4 ^a	–30.4 ^a	–23.3 ^b	1.7	<0.01
Caliper unit ²					
Day 1 of gestation	10.3	10.3	10.3	0.2	0.99
Day 110 of gestation	10.6	10.8	10.4	0.2	0.28
Weaning	9.4	9.7	9.3	0.2	0.42
Lactational feed intake, kg	6.7	7.1	7.2	0.2	0.11
Lactation length, days	23.4	23.2	23.3	0.2	0.31
Weaning to estrus interval, days	3.9	3.8	3.9	0.1	0.32

NE = net energy; SID = standardized ileal digestible.

^{a-c} Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹ Gestating Req sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 2.3 kg from 1 to 21 days, 21–75 days, 75–90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Bump sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 3.0 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Maintenance sows were fed 1.8, 1.8, 1.8, and 1.8 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. The gestation diet was formulated to contain 2.5 MCal NE/kg, 0.67% SID Lysine, and 15.17% CP.

² Body condition score was assessed using a prototype caliper (Knauer and Baitinger, 2015).

Table 3

Effect of plane of nutrition during gestation of parity 4 (P4) sows on BW and body condition score at days 1 and 110 of gestation, and weaning.

Parameters	Treatments ¹			SEM	P-value
	Req	Bump	Maintenance		
	n = 36	n = 38	n = 35		
BW, kg					
Day 1 of gestation	229.7 ^b	235.7 ^a	227.7 ^b	2.1	0.03
Day 110 of gestation	257.5 ^b	266.5 ^a	245.4 ^c	2.8	<0.01
Weaning	244.6 ^a	247.9 ^a	236.9 ^b	2.3	<0.01
Day 1 to day 110 of gestation	27.6 ^a	30.2 ^a	17.6 ^b	2.4	<0.01
Day 110 of gestation to weaning	-13.4 ^{ab}	-18.6 ^a	-8.2 ^b	2.7	0.02
Caliper unit²					
Day 1 of gestation	9.7	9.4	9.3	0.2	0.27
Day 110 of gestation	10.7	10.5	10.3	0.2	0.48
Weaning	9.8 ^{ab}	10.3 ^a	9.5 ^b	0.1	0.02
Maternal weight gain, kg	17.6 ^a	20.7 ^a	11.2 ^b	2.0	<0.01
Lactation length, days	22.7	22.7	22.9	0.2	0.54
Weaning to estrus interval, days	3.9	3.8	3.9	0.1	0.49

NE = net energy; SID = standardized ileal digestible.

^{a,b}Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹ Gestating Req sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 2.3 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Bump sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 3.0 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Maintenance sows were fed 1.8, 1.8, 1.8, and 1.8 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. The gestation diet was formulated to contain 2.5 MCal NE/kg, 0.67% SID Lysine, and 15.17% CP.

² Body condition score was assessed using a prototype caliper (Knauer and Baitinger, 2015).

parameters measured at either farrowing or weaning during P3 ($P > 0.10$). During subsequent parities (P3 and P4), both the total number of piglets born ($P < 0.01$) and born alive ($P = 0.01$) were increased in Bump sows compared to Req and Maintenance sows (Table 5). The percentage of mummies was increased in Bump sows and decreased in Req

Table 4

Impact of different planes of nutrition during the parity 3 (P3) on sow reproductive performance at farrowing and at weaning.

Parameters	Treatment ¹			SEM	P-value
	Req	Bump	Maintenance		
	n = 43	n = 44	n = 43		
Farrowing					
Farrowing duration, min	331.2	354.1	315.9	12.6	0.47
Birth interval, min	19.4	18.4	19.6	0.7	0.94
Total born, n	17.9	19.3	18.0	0.4	0.06
Born alive, n	16.3	16.8	15.8	0.5	0.29
Stillborn, %	5.5	5.1	5.4	0.4	0.67
Mummies, %	3.4	4.7	4.4	0.4	0.36
Birth weight, kg	1.32	1.30	1.32	0.1	0.67
Piglets < 1000 g, %	80.9	79.9	81.8	3.2	0.83
Litter birth weight, kg	21.8	21.4	21.7	1.1	0.86
Placental weight, kg	5.3	4.7	4.5	0.2	0.41
Placental efficiency	4.8	5.0	5.2	0.1	0.20
Weaning					
Litter size after equalization, n	13.0	13.0	13.0	0.0	1.00
Total weaned, n	11.8	12.0	11.9	0.1	0.76
Piglet weaning weight, kg	7.1	7.4	7.0	0.1	0.19
Piglets weaning, %	91.2	92.5	91.9	1.3	0.76
Pre weaning mortality, %	4.4	4.9	4.2	0.6	0.41
Piglets removed, %	3.4	2.6	5.2	0.5	0.19

NE = net energy; SID = standardized ileal digestible.

¹ Gestating Req sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 2.3 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Bump sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 3.0 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Maintenance sows were fed 1.8, 1.8, 1.8, and 1.8 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. The gestation diet was formulated to contain 2.5 MCal NE/kg, 0.67% SID Lysine, and 15.17% CP.

sows, with Maintenance sows being intermediate ($P = 0.04$). Maintenance sows had a higher percentage of piglets removed (5.2%) compared to Req (3.6%) and Bump sows (2.4%) ($P = 0.03$). There was no effect of treatment on any other litter performance parameters measured at either farrowing or weaning during subsequent parities (P3 and P4; $P > 0.10$).

Blood glucose, insulin, triglycerides, calcium, and phosphorus analysis

Pre-prandial plasmatic insulin levels (Fig. 2) were not impacted by treatments ($P = 0.31$). Post-prandial insulin levels were higher in Req and Bump sows than in Maintenance sows ($P = 0.02$). Moreover, pre-prandial glucose levels were higher in Bump sows, lower in Maintenance sows, with Req sows being intermediate ($P = 0.01$). Post-prandial glucose was higher in Bump sows and lower in Req and Maintenance sows ($P < 0.01$). Post-prandial phosphorus ($P < 0.01$) and triglycerides levels ($P = 0.03$) were higher in Bump sows compared to Req and Maintenance sows (Table 6). There was no effect of treatments on post-prandial calcium levels and insulin resistance ($P = 0.39$).

Retention rate and culling reasons

There was no effect of treatments on retention rates at P3 and P4 ($P > 0.05$) (Table 7). At P5, Maintenance sows showed decreased retention rate compared to Req and Bump sows ($P = 0.02$). The total number of sows removed from the study was 11, 10, and 22 for Req, Bump, and Maintenance sows, respectively. Lameness, reproductive disorders, poor body condition, and productivity accounted for 72% of culling reasons in Req sows. In Bump sows, sows were mainly removed due to lameness (40%) and prolapse (40%). The main culling reasons for Maintenance sows were poor body condition (27.3%), reproductive disorder (22.7%), and prolapse (18.2%).

Table 5

Impact of different planes of nutrition during subsequent parity (P3 and P4) on sow reproductive performance at farrowing and at weaning.

Parameters	Treatment ¹			SEM	P-value
	Req	Bump	Maintenance		
	n = 36	n = 38	n = 35		
Farrowing					
Farrowing duration, min	344.1	343.1	332.2	9.3	0.84
Birth interval, min	18.9	18.5	19.1	0.5	0.89
Total born, n	18.5 ^b	19.7 ^a	18.3 ^b	0.6	<0.01
Born alive, n	16.4 ^b	17.3 ^a	16.5 ^b	0.2	0.01
Stillborn, %	6.9	6.1	6.1	0.4	0.30
Mummies, %	3.7 ^b	5.9 ^a	4.3 ^{ab}	0.3	0.04
Birth weight, kg	1.25	1.25	1.26	0.1	0.95
Piglets < 1000 g, %	73.6	75.3	77.7	2.9	0.24
Litter birth weight, kg	20.9	20.6	20.7	1.0	0.86
Placental weight, kg	4.5	4.3	4.4	0.1	0.66
Placental efficiency	4.8	5.0	5.0	0.1	0.17
Weaning					
Litter size after equalization, n	12.7	12.7	12.7	0.1	0.56
Total weaned, n	11.6	11.8	11.6	0.1	0.60
Piglet weaning weight, kg	6.7	6.9	6.9	0.1	0.50
Piglets weaning, %	91.0	92.9	91.0	1.2	0.33
Pre weaning mortality, %	4.4	4.9	4.3	0.6	0.30
Piglets removed, %	3.6 ^b	2.4 ^b	5.2 ^a	0.4	0.03

NE = net energy; SID = standardized ileal digestible.

^{a,b}Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹ Gestating Req sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 2.3 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Bump sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 3.0 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Maintenance sows were fed 1.8, 1.8, 1.8, and 1.8 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. The gestation diet was formulated to contain 2.5 MCal NE/kg, 0.67% SID Lysine, and 15.17% CP.

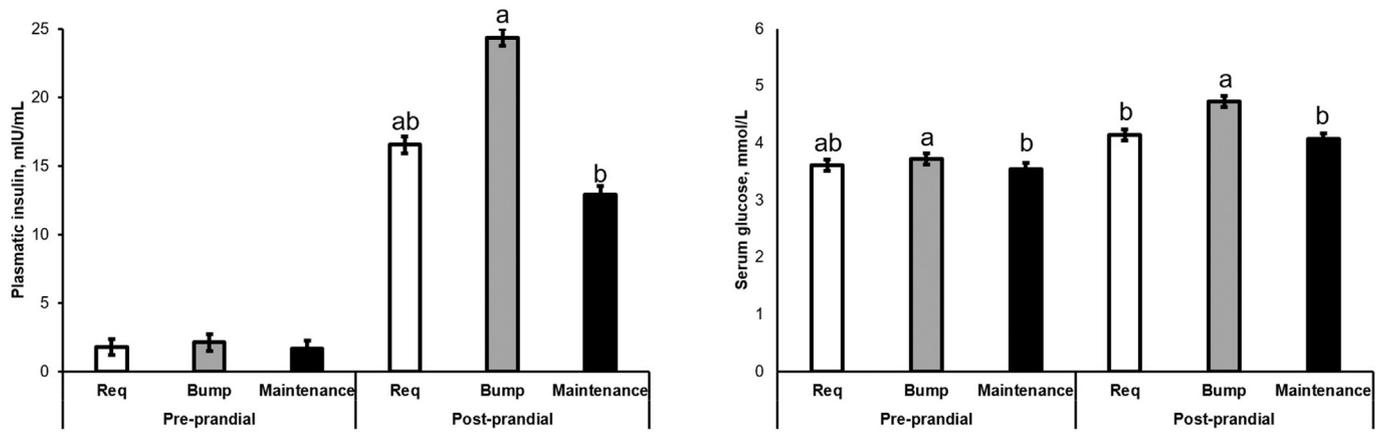


Fig. 2. Pre- and post-prandial plasma insulin, and serum glucose at 112 days of gestation in parity 4 sows fed different planes of nutrition during gestation. Gestating Req sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 2.3 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Bump sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 3.0 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Maintenance sows were fed 1.8, 1.8, 1.8, and 1.8 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. The gestation diet was formulated to contain 2.50MCal NE/kg, 0.67% SID Lysine, and 15.17% CP. NE = net energy; SID = standardized ileal digestible. ^{a,b}Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

Table 6

Post-prandial levels of plasma calcium, phosphorus and triglycerides, and insulin resistance parity 4 (P4) sows fed different planes of nutrition during gestation.

Parameters	Treatments ¹			SEM	P-value
	Req	Bump	Maintenance		
	n = 36	n = 38	n = 35		
Calcium, mg/dl	13.9	14.2	13.7	0.1	0.33
Phosphorus, mg/dl	6.9 ^b	7.4 ^a	6.6 ^b	0.1	<0.01
Triglycerides, mg/dl	66.9 ^b	92.1 ^a	65.7 ^b	4.5	0.03
Insulin resistance	2.6	2.2	2.2	0.1	0.39

NE = net energy; SID = standardized ileal digestible.

^{a,b}Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹ Gestating Req sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 2.3 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Bump sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 3.0 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Maintenance sows were fed 1.8, 1.8, 1.8, and 1.8 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. The gestation diet was formulated to contain 2.5MCal NE/kg, 0.67% SID Lysine, and 15.17% CP.

Discussion

We reported that Bump sows were heavier than the other treatments at P3 and this translated into the subsequent parity (e.g., Bump sows heavier at day 1 and day 110 of gestation at P4), which is consistent with previous findings (Beyga and Rekiel, 2010; Machebe, 2016). Furthermore, weaning weight was decreased in Maintenance sows during P3 and P4. Interestingly, Maintenance sows lost less weight between day 110 of gestation and weaning than Req and Bump in P3 and during P4 compared to Bump sows. An increased loss in Req and Bump sows between weaning and day 110 of gestation might be associated with an increased milk production, even though this parameter was not measured in the present study. Strathe et al. (2017) recently showed a direct relationship between the catabolic state of the female and milk production, where massive tissue mobilization may be expected in sows with greater milk production. Parallely, we observed a decreased removal rate of piglets before weaning in Req and Bump sows compared to Maintenance sows. We speculate that this finding might be associated with insufficient milk production, which increases the occurrence of weak piglets that will end up relocated to a foster sow.

Body condition score measurements and lactational performance were not affected during P3, while Bump sows were fatter at weaning and gained more weight between P3 and P4 than the other treatments.

Table 7

The effect of planes of nutrition fed during parity 3 (P3) and parity 4 (P4) on sow retention rates and culling reasons from P3 to parity 5 (P5).

Item	Treatments ¹			SEM	P-value
	Req	Bump	Maintenance		
	n = 45	n = 45	n = 45		
Retention rate, %					
P3	95.3	98.7	95.3	1.3	0.96
P4	80.0	83.8	79.1	3.1	0.53
P5	74.0 ^a	80.0 ^a	56.0 ^b	3.7	0.02
Culling reasons ²					
Sudden death	1 (9.1%)	1 (10.0%)	0 (0.0%)	-	-
Lameness	2 (18.2%)	4 (40.0%)	2 (9.1%)	-	-
Prolapse	1 (9.1%)	4 (40.0%)	4 (18.2%)	-	-
Reproductive disorder	2 (18.2%)	1 (10.0%)	5 (22.7%)	-	-
Abortion	1 (9.1%)	0 (0.0%)	2 (9.1%)	-	-
Poor body condition	2 (18.2%)	0 (0.0%)	6 (27.3%)	-	-
Poor productivity ³	2 (18.2%)	0 (0.0%)	3 (13.6%)	-	-

NE = net energy; SID = standardized ileal digestible.

^{a,b}Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹ Gestating Req sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 2.3 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Bump sows were fed 2.3, 1.8, 2.3, and 3.0 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days, and 90 days to farrowing, respectively. Gestating Maintenance sows were fed 1.8, 1.8, 1.8, and 1.8 kg from 1 to 21 days, 21 to 75 days, 75 to 90 days and 90 days to farrowing, respectively. The gestation diet was formulated to contain 2.5MCal NE/kg, 0.67% SID Lysine, and 15.17% CP.

² Total number of sows culled within reasons. Values and their percentages from overall within treatments in brackets.

³ Total born lower than 10 piglets in the previous parity.

Clowes et al. (2003b) suggested that leaner sows were less susceptible to the suppressing effects of mobilization of body reserves during lactation and this was further corroborated by Clowes et al. (2003a), who confirmed no drop in lactational performance when protein losses were within 9–12%. Therefore, it would be expected that Maintenance sows, which were leaner at P4, would have improved reproductive performance than Bump and Req sows, considering the relationship between body condition during gestation and subsequent lactational performance. It is possible to infer that the lack of effect of increased weight gain on lactational feed intake in the present study is associated with insulin resistance at the end of pregnancy which did not differ among treatments and may be associated with reduced feed intake during lactation (Mosnier et al., 2010). It should be noted that there is historical evidence of an ability of sows to recover lactational BW loss in

subsequent gestation parities when loss is within the range of 12–35 kg (Dourmad et al., 1996).

Our data showed that the number of total piglets born at P3 tended to improve by bump feeding during gestation compared to sows fed at requirement or maintenance. An increased number of born alive during P3 is unexpected considering that Bump and Req sows were fed the same amounts of feed until day 35 of gestation, the period when the number of viable fetuses is established. However, during the subsequent parity, the number of born alive was increased in Bump sows, which suggests that the additional nutrient supply could support adequate development of healthy, viable fetuses in the subsequent parity. The increased total born number observed in Bump-fed sows may reflect their better metabolic state, demonstrated by higher post-prandial levels of glucose, insulin, and phosphorus in late gestation. In fact, glucose is the key energy metabolite for oxidative purpose in the gravid uterus (Feyera et al., 2018), and its reduced utilization rate by maternal tissues provides greater amounts available for the offspring (van der Peet-Schwering et al., 2004). There is a contrast in findings from the present study and results from recent studies using similar approaches, where sows did not benefit from Bump feeding and ended up with poorer reproductive performance (Gonçalves et al., 2016; Mallmann et al., 2019). One possible explanation is that our results are related to the hyperprolific condition during P3 and P4, which was different from the other studies. Furthermore, we aimed at providing a Maintenance plane throughout two parity orders and observe the long-term outcomes, while previous studies adjusted feeding protocols according to body condition score (Gonçalves et al., 2016; Mallmann et al., 2018). We acknowledge the limitations of not sampling sows during an extended period (e.g., 2–4 h post-prandially) and not having information on metabolic state around farrowing which could better indicate overall state of the females when giving birth. However, we speculate that Bump sows were able to sustain their higher glucose and insulin levels post-prandially compared to Req and Maintenance sows. Moreover, we selected day 112 of gestation because we also evaluated birth interval, farrowing duration, and stillborn frequency. Therefore, we aimed at minimizing stressful situations around farrowing considering that its occurrence is highly individual. Selection of day 112 is consistent with a late gestation period, where collection of metabolic data is associated with fetal growth and prioritization of nutrients. Here, we provide evidence of an improved nutritional status of sows fed the Bump plane over two subsequent parities.

Feeding gestating sows close to maintenance requirements during P3 and P4 also decreased retention rate at P5, as we observed a twofold increase in culling, regardless of reason, in Maintenance-fed sows compared to Bump and Req sows. This is in line with findings from Hughes (2010) who reported a greater number of females being culled due to lower BWs and backfat thickness, regardless of parity, season, and day relative to weaning. Interestingly, culling reasons for Req sows were very diverse, with lameness, reproductive disorders, poor body condition, and poor productivity representing around 70% of culling reasons. On the other hand, Bump sows were mainly culled due to lameness (40%) and prolapse (40%), while Maintenance sows were primarily removed due to poor body condition (27%). Despite not statistically comparing the treatments regarding culling reasons, our data corroborate previous findings. In an excellent review, Dourmad et al. (1994) highlighted the direct relationship between over-feeding during gestation and the occurrence of culling due to locomotion problems. Parallely, thin sows with both lowered and altered body reserves showed impaired overall reproductive performance and longevity (Lodge et al., 1966). Therefore, nutrition of hyperprolific sows should be carefully evaluated, as retaining sows into later parities (e.g., above 5) is an effective tool to increase returns over total costs and net return on investment (Gruhot, 2017) even though the costs of Req and Bump planes are possibly higher than the Maintenance. However, the increased number of piglets born alive at P4 in Bump-fed sows, which is

a possible predisposing characteristic for being retained for a longer period in the herd, may still be profitable (Gruhot, 2016).

Taken together, our results demonstrate that increasing feed allowance during late gestation may still be beneficial for hyperprolific sows (e.g., farrowing more than 17 piglets) through supporting nutrient availability for increased litter size. Feeding these sows according to a plan close to maintenance requirements can be harmful for maternal body reserves, blood metabolites, and sow longevity. Close attention should be given to the body condition score of sows throughout parities as over- or under-feeding them may impact the results.

Supplementary materials

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100153>.

Ethics approval

The procedures involving animals for this trial were assessed and approved by the Federal University of Minas Gerais Ethical Committee on Animal Experiments (Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil) under Protocol 336/2019.

Data and model availability statement

The data or models of the present study are not deposited in any official repository.

Author ORCIDs

Soraia V. Ferreira: 0000-0003-3887-5200.
 Lucas A. Rodrigues: 0000-0002-1771-0821.
 Matheus A. Ferreira: 0000-0001-5239-0475.
 Diego V. Alkmin: 0000-0002-5826-6771.
 Juliana M. Dementshuk: 0000-0002-3977-7824.
 Fernanda R. C. L. Almeida: 0000-0003-4219-1290.
 Dalton O. Fontes: 0000-0001-9805-3706.

Author contributions

Soraia V. Ferreira: Conceptualization, methodology, validation, investigation, writing – original draft, supervision. Lucas A. Rodrigues: Term, writing – original draft, writing – review & editing, visualization. Matheus A. Ferreira: Validation, formal analysis, investigation. Diego V. Alkmin: Conceptualization, methodology, resources, visualization. Juliana M. Dementshuk: Validation, formal analysis, investigation. Fernanda R. C. L. Almeida: Conceptualization, methodology, resources, writing – review & editing, visualization. Dalton O. Fontes: Conceptualization, methodology, writing – review & editing, project administration.

Declaration of interest

This study was funded by DB Genética Suína Brazil. Mr. Alkmin is the Research and Development Supervisor of DB Genética Suína Brazil. All other authors have no financial or personal relationship with other individuals or organizations that could inappropriately influence or bias the content of the paper.

Acknowledgements

The authors would like to thank DB Genética Suína for providing facilities and animals, Multilab EV-UFGM and Fabiola de Oliveira Paes Leme for assistance with blood biochemistry analysis, and Amanda

Rodrigues, Keith Lohaine, Leonardo Ferreira, Stefany Araújo, Tayna Sampaio, and Thais Garcia Santos for assisting with data collection.

Financial support statement

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

References

- Beyga, K., Rekiel, A., 2010. The effect of the body condition of late pregnant sows on fat reserves at farrowing and weaning and on litter performance. *Archiv Tierzucht* 53, 50–64.
- Clowes, E.J., Aherne, F.X., Foxcroft, G.R., Baracos, V.E., 2003a. Selective protein loss in lactating sows is associated with reduced litter growth and ovarian function. *Journal of Animal Science* 81, 753–764.
- Clowes, E.J., Aherne, F.X., Schaefer, A.L., Foxcroft, G.R., Baracos, V.E., 2003b. Parturition body size and body protein loss during lactation influence performance during lactation and ovarian function at weaning in first-parity sows. *Journal of Animal Science* 81, 1517–1528.
- Cromwell, G.L., Hall, D.D., Clawson, A.J., Combs, G.E., Knabe, D.A., Maxwell, C.V., Noland, P.R., Orr, D.E., Prince, T.J., 1989. Effects of additional feed during late gestation on reproductive performance of sows: a cooperative study. *Journal of Animal Science* 67, 3–14.
- Decaluwé, R., Maes, D., Cools, A., Wuyts, B., De Smet, S., Marescau, B., De Deyn, P.P., Janssens, G.P.J., 2014. Effect of periparturient feeding strategy on colostrum yield and composition in sows. *Journal of Animal Science* 92, 3557–3567.
- Dourmad, J.Y., Etienne, M., Prunier, A., Noblet, J., 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. *Livestock Production Science* 40, 87–97.
- Dourmad, J.Y., Etienne, M., Noblet, J., 1996. Reconstitution of body reserves in multiparous sows during pregnancy: effect of energy intake during pregnancy and mobilization during the previous lactation. *Journal of Animal Science* 74, 2211–2219.
- Feyera, T., Pedersen, T.F., Krogh, U., Foldager, L., Theil, P.K., 2018. Impact of sow energy status during farrowing on farrowing kinetics, frequency of stillborn piglets, and farrowing assistance. *Journal of Animal Science* 96, 2320–2331.
- Gonçalves, M.A.D., Gourley, K.M., Dritz, S.S., Tokach, M.D., Bello, N.M., DeRouchey, J.M., Woodworth, J.C., Goodband, R.D., 2016. Effects of amino acids and energy intake during late gestation of high-performing gilts and sows on litter and reproductive performance under commercial conditions. *Journal of Animal Science* 94, 1993–2003.
- Goodband, R.D., Tokach, M.D., Gonçalves, M.A.D., Woodworth, J.C., Dritz, S.S., DeRouchey, J.M., 2013. Nutritional enhancement during pregnancy and its effects on reproduction in swine. *Animal Frontiers* 3, 68–75.
- Gruhot, T., 2016. Selection for prolificacy and the economic impact of sow retention in the breeding herd. Master's degree thesis. Iowa University, Iowa, IA, USA.
- Gruhot, T.R., 2017. An economic analysis of sow retention in a United States breed-to-wean system. *Journal of Swine Health and Production* 25, 238–246.
- Hughes, P.E., 2010. Relationships among gilt and sow live weight, P2 backfat depth, and culling rates. *Journal of Swine Health and Production* 18, 301–305.
- Ji, F., Wu, G., Blanton, J.R., Kim, S.W., 2005. Changes in weight and composition in various tissues of pregnant gilts and their nutritional implications. *Journal of Animal Science* 83, 366–375.
- Kim, J.S., Yang, X., Pangeni, D., Baidoo, S.K., 2015. Relationship between backfat thickness of sows during late gestation and reproductive efficiency at different parities. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science* 65, 1–8.
- Knauer, M.T., Baitinger, D.J., 2015. The sow body condition caliper. *Applied Engineering in Agriculture* 31, 175–178.
- Koketsu, Y., Lida, R., 2017. Sow housing associated with reproductive performance in breeding herds. *Molecular Reproduction and Development* 84, 979–986.
- Köppen, W., 1936. Das geographische system der klimate. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Germany.
- Lavery, A., Lawlor, P.G., Magowan, E., Miller, H.M., O'Driscoll, K., Berry, D.P., 2019. An association analysis of sow parity, live-weight and back-fat depth as indicators of sow productivity. *Animal* 13, 622–630.
- Lodge, G.A., Elsley, F.W.H., MacPherson, R.M., 1966. The effects of level of feeding of sows during pregnancy. I. Reproductive performance. *Animal Science* 8, 29–38.
- Machebe, N.S., 2016. Influence of nutrition and body condition at first mating on the reproductive performance of gilts in the humid tropics. PhD thesis. University of Nigeria, Nsukka, Nigeria.
- Mallmann, A.L., Betiolo, F.B., Camilloti, E., Mellagi, A.P.G., Ulguim, R.R., Wentz, I., Bernardi, M.L., Gonçalves, M.A.D., Kummer, R., Bortolozzo, F.P., 2018. 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* 96, 4209–4219.
- Mallmann, A.L., Camilloti, E., Fagundes, D.P., Vier, C.E., Mellagi, A.P.G., Ulguim, R.R., Bernardi, M.L., Orlando, U.A.D., Gonçalves, M.A.D., Kummer, R., Bortolozzo, F.P., 2019. Impact of feed intake during late gestation on piglet birth weight and reproductive performance: a dose-response study performed in gilts. *Journal of Animal Science* 97, 1262–1272.
- Mosnier, E., Etienne, M., Ramaekers, P., Pèrè, M.C., 2010. The metabolic status during the peri partum period affects the voluntary feed intake and the metabolism of the lactating multiparous sow. *Livestock Science* 127, 127–136.
- National Research Council (NRC), 2012. Nutrient requirements of swine. 11th revised edition. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- R Core Team, 2019. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Revell, D.K., Williams, I., Mullan, B.P., Smits, R.J., 1994. Body fatness influences voluntary feed intake and liveweight loss during lactation in primiparous sows. *Journal of Animal Science* 72, 533–541.
- Rostagno, H.S., 2017. Brazilian tables for poultry and swine – composition of feedstuffs and nutritional requirements. 4th edition. Federal University of Viçosa, Animal Science Department, Viçosa, MG, BR.
- Sampaio, I.B.M., 2015. Estatística aplicada à experimentação animal. 4th edition. Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, Belo Horizonte, MG, BR.
- Shelton, N.W., Neill, C.R., DeRouchey, J.M., Tokach, M.D., Goodband, R.D., Nelssen, J.L., Dritz, S.S., 2009. Effects of increasing feeding level during late gestation on sow and litter performance. Proceedings of the Kansas Swine Day – agricultural experiment station and cooperative extension service, December 2009, Kansas, USA, pp. 38–50.
- Strathe, A.V., Bruun, T.S., Geertsen, N., Zerrahn, J.E., Hansen, C.F., 2017. Increased dietary protein levels during lactation improved sow and litter performance. *Animal Feed Science and Technology* 232, 169–181.
- Thomas, L.L., Goodband, R.D., Tokach, M.D., Woodworth, J.C., DeRouchey, J.M., Dritz, S.S., 2018. Effect of parity and stage of gestation on growth and feed efficiency of gestating sows. *Journal of Animal Science* 96, 4327–4338.
- van der Peet-Schwering, C.M.C., Kemp, B., Binnendijk, G.P., den Hartog, L.A., Vereijken, P.F.G., Verstegen, M.W.A., 2004. Effects of additional starch or fat in late-gestating high nonstarch polysaccharide diets on litter performance and glucose tolerance in sows. *Journal of Animal Science* 82, 2964–2971.
- van Rens, B.T.T.M., de Koning, G., Bergsma, R., van der Lende, T., 2005. Prewaning piglet mortality in relation to placental efficiency. *Journal of Animal Science* 83, 144–151.
- Wallace, T.M., Levy, J.C., Matthews, D.R., 2004. Use and abuse of HOMA modeling. *Diabetes Care* 27, 1487–1495.
- Young, M.G., Tokach, M.D., Aherne, F.X., Main, R.G., Dritz, S.S., Goodband, R.D., Nelssen, J.L., 2004. Comparison of three methods of feeding sows in gestation and the subsequent effects on lactation performance. *Journal of Animal Science* 82, 3058–3070.

CAPÍTULO III

ARTIGO A SER SUBMETIDO

PLANOS NUTRICIONAIS PARA FÊMEAS SUÍNAS HIPERPROLÍFICAS DURANTE A GESTAÇÃO E RESULTADOS BIOMÉTRICOS, BIOQUÍMICOS E MORFOLÓGICOS EM LEITÕES DE BAIXO E NORMAL PESO AO NASCER

RESUMO

Um plano de nutrição capaz de atender somente as exigências de manutenção de fêmeas suínas hiperprolíficas na fase de gestação afeta negativamente as reservas corporais maternas, os metabolitos sanguíneos e a longevidade. No entanto, há informações limitadas sobre o impacto da nutrição materna sobre a prole com diferentes pesos ao nascer. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de diferentes planos de nutrição durante a gestação nos parâmetros biométricos, bioquímicos e morfológicos da prole de porcas hiperprolíficas. Quinze porcas foram distribuídas aleatoriamente em um dos três planos de nutrição ao longo das ordens de parto 3 e 4, sendo: Req - plano projetado para atender às necessidades de porcas prolíficas (2,3 kg por dia do dia 1 ao 21; 1,8 kg por dia do dia 22 ao 75; 2,3 kg por dia do dia 76 até o parto); Bump - plano projetado como o Req, com aumento da ingestão de alimento durante o final da gestação (3.0 kg por dia desde o dia 91 até ao parto); e Maintenance - plano projetado para atender próximo as exigências de manutenção das porcas (1,8 kg por dia do dia 1 ao parto). As medidas biométricas, a morfologia do intestino, e os parâmetros bioquímicos sanguíneos foram avaliados em leitões com baixo peso (BP) e alto (AP) ao nascer (10 /tratamento). O comprimento do intestino delgado foi reduzido nos leitões de Maintenance em comparação com as porcas Req, que foi reduzido em comparação com as porcas Bump. O peso absoluto e relativo do fígado foram menores em leitões de porcas Maintenance em comparação com Req e Bump.. Leitões com baixo peso ao nascer provenientes de porcas Maintenance apresentaram menor concentração de glicose no sangue. Os leitões com peso normal ao nascer de porcas de Maintenance apresentavam circunferências abdominal e torácica inferiores. Além disso, os leitões AP das porcas Manutenção e Req apresentaram redução do peso do intestino delgado em comparação com os leitões Bump. Todas as medidas biométricas foram menores em leitões BP, exceto o peso relativo do cérebro, a relação circunferência abdominal: peso corporal e a relação peso cérebro: fígado que foram maiores ($P < 0,05$). A largura das vilosidades, das criptas, e a área absorptiva do duodeno, bem como a largura das vilosidades, a profundidade das criptas e a e a área absorptiva do jejuno foram menores em leitões BP em comparação com leitões AP. Estes resultados demonstraram que o baixo peso ao nascer associado ao plano Maintenance durante a gestação prejudicaram o desenvolvimento da prole.

Além disso, a utilização de um plano Maintenance durante a gestação não parece apoiar o desenvolvimento intestinal de leitões com peso normal ao nascer.

Palavras-chave: glicemia; leitão; nutrição materna; restrição intrauterina de crescimento.

ABSTRACT

A nutritional plane capable of meeting only the maintenance requirements of hyperprolific sow in the gestation phase negatively affects maternal body reserves, blood metabolites and longevity. However, there is limited information on the impact of maternal nutrition on different birthweight offspring. The objective of this study was to evaluate the effects of different planes of nutrition during gestation on biometrical, biochemical, and morphological parameters of hyperprolific sows' offspring. Fifteen sows were randomly assigned to one of three planes of nutrition throughout parities 3 and 4, as follows: Req – plane designed to meet requirements of prolific sows (2.3 kg per day from day 1 to 21; 1.8 kg per day from day 22 to 75; 2.3 kg per day from day 76 to farrowing); Bump – plane designed as the Req, with increased feed intake during late gestation (3.0 kg per day from day 91 to farrowing); and Maintenance – plane designed to closely meet maintenance requirements of sows (1.8 kg per day from day 1 to farrowing). Biometrical, organ morphology and blood biochemical parameters were determined in low (LBW) and normal (NBW) birthweight piglets (10 /treatment). Small intestine length was reduced in piglets from Maintenance compared to Req sows, which was reduced compared to Bump sows. Relative liver weight was reduced in piglets from Maintenance sows compared to Req and Bump, while hepatocyte area was reduced in piglets from Maintenance sows compared to Req. Low birthweight piglets from Maintenance sows had lower blood glucose concentration. Normal birthweight piglets from Maintenance sows had lower abdominal and thoracic circumferences. Moreover, NBW piglets from Maintenance and Req sows had decreased small intestine weight compared to Bump. All biometrical measurements were reduced in LBW, except for relative brain weight, abdominal circumference:body weight ratio, and brain:liver weight ratio which were increased ($P<0.05$). Duodenal villous and crypt width, and jejunal villous width, crypt depth, and mucosal height were decreased in LBW compared to NBW piglets. Our results demonstrate that low birthweight and maternal plane of nutrition during gestation close to maintenance requirements impaired offspring development in an independent manner. Furthermore, a maternal plane of nutrition close to maintenance requirements during gestation does not seem to support the intestinal development of normal birthweight piglets.

Keywords: blood glucose; intrauterine growth restriction; piglet; sow nutrition.

1. INTRODUÇÃO

Os planos de nutrição para fêmeas suínas hiperprolíficas gestantes tem sido amplamente discutidos nos últimos anos (Gonçalves et al., 2016, Mallmann et al., 2018, Mallmann et al., 2019, Choi et al., 2019) e gerado informações relevantes sobre o desempenho reprodutivo e eficiência econômica para a indústria suinícola. O enfoque destes estudos tem sido sobre o peso médio dos leitões ao nascimento, entretanto, somente efeitos modestos foram reportados ao aumentar o fornecimento de ração no terço final da gestação (Gonçalves et al., 2016).

A nutrição de fêmeas suínas hiperprolíficas pode ser associada a programação pré-natal, que é caracterizada pela desnutrição do feto durante a vida intrauterina e resultante da ingestão e/ou da transferência inadequada de nutrientes, alterando permanentemente a estrutura dos tecidos fetais (Langley-Evans, 2006, Foxcroft et al., 2009), levando ao nascimento de leitões de baixo peso ao nascer (BP) que podem ser acometidos pela restrição intrauterina de crescimento (RIUC). A RIUC, por sua vez, interfere na sobrevivência neonatal (Matheson et al., 2018), ingestão de colostro (Amdi et al., 2013), na morfometria dos órgãos do sistema digestório (Alvarenga et al., 2013, Felicioni et al., 2020), no sistema imunológico (Bæk et al., 2019), em parâmetros sanguíneos (Amdi et al., 2020), no desenvolvimento e crescimento pós natal (Lynegaard et al., 2020, Xiong et al., 2020).

Relevantes mudanças na composição corporal e fisiologia de leitões de alto peso ao nascimento (AP) e RIUC em resposta a dietas maternas alterando dieteticamente a proteína foram relatadas por Rehfeldt et al. (2011). Estes achados sugeriram que o aumento ou redução do consumo de proteína que extrapola as exigências nutricionais pode resultar em alterações no peso ao nascimento da prole, peso de órgãos e alterações estruturais musculares. Contudo, informações sobre a programação pré-natal da prole de porcas tratadas com planos de nutrição (variando a quantidade de ração de forma prática) são escassos e poderiam fornecer informações capazes de auxiliar a indústria na escolha do plano de nutrição com maior custo/benefício.

Sendo assim, foi proposto um ensaio controlado em uma granja comercial a fim de avaliar os efeitos de planos de nutrição durante a gestação de fêmeas suínas hiperprolíficas (com mais de 17 conceptos) e programação pré-natal sobre parâmetros biométricos, sanguíneos e histomorfométricos da sua prole de AP e BP ao nascer.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na cidade de Patos de Minas, localizada no sudeste do Brasil (842 m de altitude, 18° 34' latitude sul e 46° 31' longitude oeste), uma região de savana tropical com inverno seco (Aw) (Classificação climática de Köppen, 1936).

2.1 Animais e tratamentos

Um total de quinze porcas gestantes (Fêmeas Landrace × Varrões Yorkshire; DanBred Brasil, Patos de Minas, MG, Brasil) com peso médio de $225,2 \pm 19,8$ kg foram incluídas no ensaio durante duas ordens de parto subsequentes, 3 e 4. Os critérios de inclusão das fêmeas no experimento foram descritos por Ferreira et al. (2020).

Durante a ordem de parto 4, 15 pares de leitões foram selecionados imediatamente após o nascimento, antes da ingestão de colostro, para eutanásia. A eutanásia foi realizada com a prole na ordem de parto 4 com objetivo de avaliar possíveis injúrias sofridas *in útero* pelos leitões, que estivessem relacionados à nutrição materna realizada por duas gestações consecutivas. O número de animais necessários por tratamento ($n = 10$) foi calculado de acordo com a equação de Sampaio (2015). Resumidamente, utilizou-se os dados do estudo de Alvarenga et al. (2013), que foi conduzido em condições comerciais brasileiras e avaliou variáveis semelhantes. O peso médio do intestino delgado foi o parâmetro selecionado para cálculo do tamanho da amostra, uma vez que foi a variável com maior CV (Sampaio, 2015). De cada leitegada foram selecionados 2 leitões, divididos em 2 categorias: alto peso ao nascer (AP) e baixo peso ao nascer (BP).

A seleção dos leitões para eutanásia foi realizada de acordo com o peso médio ao nascimento da granja na qual o estudo foi realizado, sendo a média de peso de 1,3 e o $\sigma = 0,4$. As faixas de AP e BP foram calculadas através da equação $\mu + \sigma$ a $\mu \pm 2\sigma$ (Alvarenga et al., 2013, Felicioni et al., 2020, Santos et al., 2022).

2.2 Design experimental

As porcas foram distribuídas aleatoriamente no ensaio em 3 blocos (de acordo com PC - Bloco 1: 31,1%; Bloco 2: 40,0% e Bloco 3: 28,9% das porcas em cada tratamento), sendo atribuídas a um dos três planos de nutrição ao longo de P3 e P4, como segue (Fig. 1): Req - plano projetado para atender às necessidades nutricionais de porcas prolíficas (2,3 kg por dia do dia 1 ao 21; 1,8 kg por dia do dia 22 ao 75; 2,3 kg por dia do dia 76 até o parto), de acordo com Rostagno (2017) ($n = 45$); Bump - plano projetado como o Req, mas com aumento do consumo de ração durante o final da gestação (3,0 kg por dia do dia 91 até o parto) ($n = 45$);

e Maintenance - plano projetado para atender de próximo as exigências de manutenção das porcas (1,8 kg por dia do dia 1 ao parto) (n = 45), de acordo com Gonçalves et al. (2016). O plano Req foi projetado para atender às necessidades de energia e aminoácidos de porcas prolíficas de acordo com a Tabela Brasileira de Necessidades Nutricionais (Rostagno, 2017), com uma adaptação do dia 21 ao 75 de gestação, reduzindo a energia líquida e a ingestão de SID Lisina para 4,50 e 12,06 g por dia, respectivamente, devido à evidência de necessidades reduzidas de nutrientes durante este período (Ji et al., 2005, Goodband et al., 2013, Koketsu e Lida, 2017) e como tentativa de melhorar a relação custo-benefício do plano de nutrição. As porcas Bump foram alimentadas com a mesma quantidade de ração que as fêmeas Req de 1 a 90 dias de gestação e receberam 0,7 kg de ração adicional de 90 dias de gestação até o parto, com o objetivo de fornecer nutrientes extras para o desenvolvimento dos conceptos devido ao crescimento exponencial decorrente desta fase. Finalmente, as porcas de Maintenance foram alimentadas com 1,8 kg de ração durante a gestação para testar a hipótese de que as porcas alimentadas próximo as exigências de manutenção durante a gestação ainda podem obter desempenho produtivo e reprodutivo razoável (Gonçalves et al., 2016, Mallmann et al., 2018). As porcas de todos os tratamentos experimentais foram alimentadas com a mesma dieta ao longo das duas fases de gestação avaliadas e foram formuladas para atender às especificações para porcas em gestação e lactação (Rostagno, 2017).

Através dos tratamentos aos quais as matrizes foram submetidas durante duas gestações consecutivas, selecionou-se 10 leitões machos por tratamento (5 pares de irmãos, sendo 1 AP e 1 BP) para eutanásia, como mostra a figura 1.

2.3 Procedimentos experimentais

Ao nascimento todos os leitões foram submetidos ao mesmo manejo pós-parto (secagem e corte do cordão umbilical). Em seguida, o peso individual dos leitões foi registrado ao nascimento em balança digital de 0,001 kg (Prix 3, Toledo, São Bernardo do Campo, Brasil). Os leitões que se encontravam na faixa de peso avaliada (pares de irmãos) foram identificados, separados da leitegada e levados ao abatedouro para coleta de sangue e eutanásia.

2.3.1 Coleta de sangue e bioquímica sanguínea

A coleta de sangue foi realizada durante a exsanguinação. As amostras foram acondicionadas em tubos com fluoreto de sódio (análise da glicemia) e com heparina sódica (triglicerídeos, colesterol total, HDL e LDL). As amostras foram centrifugadas em até 20 minutos após a coleta a 3.000xg por 10 minutos utilizando uma centrífuga de bancada (80-

2B; Centribio). Após obtenção do plasma e o soro, as alíquotas foram armazenadas em -20°C e encaminhadas ao Multilab-EV / UFMG, onde foram analisadas por meio de kits comerciais (Biotécnica, Varginha, MG, Brasil).

2.3.2 Medidas biométricas

Imediatamente após a eutanásia por eletronarcolese, medidas de conformação corporal foram realizadas de acordo com proposto por Kogelman et al. (2013), mostrado na Figura 2. Foram avaliadas as medidas de conformação corporal no suíno, incluindo circunferência abdominal no umbigo, o comprimento cabeça-cauda, altura do ombro e altura do tórax.

O cérebro e o fígado foram removidos e pesados para se obter a relação entre eles e indicar a ocorrência de RIUC, conforme realizado por Alvarenga et al. (2013). Adicionalmente, foram pesados o coração, rins, intestino delgado e intestino grosso para avaliação do peso absoluto e relativo.

2.3.3 Coleta e histomorfometria do duodeno e jejuno

Porções do intestino delgado (duodeno e jejuno) foram coletados para avaliação histológica. Os fragmentos dos tecidos foram fixados em Paraformaldeído 4% (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil) por 24 horas e posteriormente em tampão fosfato 0,05M (pH 7,4) e incluídos em Paraplast (Sigma Aldrich, São Paulo, Brasil). Cortes histológicos (5 μm de espessura) foram então desparafinizados em xileno e reidratados com diluições graduadas de etanol. As lâminas foram coradas com hematoxilina, eosina (HE) e ácido periódico de Schiff (PAS) para observações morfológicas e contagem de células, respectivamente.

Os cortes histológicos foram avaliados em microscópio de luz (Olympus BX51), e as medidas realizadas em régua encaixada em ocular de 10x, calibrada com régua micrométrica. Um total de 10 unidades cripto-vilosas intactas e bem orientadas do duodeno e jejuno foram selecionadas aleatoriamente para medições de cada parâmetro, conforme realizado anteriormente por Alvarenga et al. (2013).

2.4 Análises estatísticas

Os dados foram analisados utilizando o Software Statistical Analysis System (SAS Institute Inc. 2001). Todas as variáveis foram testadas quanto a normalidade antes da análise. Todos os modelos incluíram o plano de nutrição da porca, categoria de peso ao nascimento (alto e baixo peso ao nascimento) e a interação entre plano de nutrição e categoria de peso ao nascimento, sendo então um arranjo fatorial 2 x 3 (dois pesos ao nascimento e três planos de alimentação para as porcas) e posteriormente as variáveis foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey. Cada leitão foi considerado a

unidade experimental e as diferenças estatísticas foram consideradas significativas quando $P \leq 0,05$, enquanto $P \leq 0,10$ foi considerado tendência.

1. RESULTADOS

Medidas biométricas

A ocorrência de restrição intrauterina de crescimento (RIUC) foi observada nos animais de BP ao nascer dos diferentes grupos experimentais devido a maior proporção do peso cérebro: fígado ($P < 0.01$) (Alvarenga et al., 2013). Ademais, o fator peso ao nascimento foi significativo ($P < 0.01$) em todas os parâmetros biométricos mensurados, comprovando relevantes diferenças físicas entre animais de AP e BP ao nascer.

Validando o processo de randomização, não foram observadas diferenças no peso ao nascimento dos leitões de acordo com os planos de nutrição ofertados a fêmeas gestantes ($P = 0.72$) (Tabela 8). Como esperado, os leitões categorizados como de AP ao nascer apresentaram maior peso ao nascimento em relação aos BP ($P < 0.01$).

As análises biométricas revelaram efeitos dos planos de nutrição maternos sobre a prole eutanasiada, sendo as circunferências abdominal ($P = 0.04$), torácica ($P < 0.01$) e o peso do ID ($P = 0.02$) maiores nos leitões das porcas Bump, menores em leitões de porcas Maintenance e intermediárias na prole de porcas Req. Interessantemente, o comprimento do ID ($P < 0.01$) foi maior na prole de porcas Bump do que em Req, que por sua vez foi maior que do nos leitões de porcas Maintenance.

Não foram observadas diferenças estatísticas em relação aos planos de nutrição ($P > 0.05$) nas análises do peso relativo e absoluto do cérebro, coração, rins, IG, bem como do comprimento cabeça cauda, razão circunferência abdominal: peso e relação cérebro: fígado.

Foram observadas interações entre peso ao nascimento x plano nutricional materno (Tabela 6) sobre a circunferência abdominal ($P = 0.03$). O fator peso ao nascimento influenciou a circunferência abdominal que foi menor nos animais BP, independente do plano de nutrição recebido pela porca. Os leitões de AP Req e Bump apresentaram maior circunferência abdominal em relação aos leitões Maintenance. Já na avaliação dos leitões BP não foram observadas diferenças de acordo com o plano de nutrição.

Semelhantemente foram observadas interações entre peso ao nascimento x plano nutricional materno na circunferência torácica ($P < 0.01$). Nos planos Req e Bump, a circunferência torácica foi maior nos leitões AP dos em relação aos leitões BP, já nos leitões Maintenance não foram detectadas diferenças entre os leitões AP e BP. Comparando-se os tratamentos dentro do fator peso ao nascimento, observou-se que a circunferência torácica dos

leitões de AP Req e Bump foram maiores em relação aos leitões Maintenance, entretanto não foram detectadas diferenças dos planos de nutrição nos leitões de baixo peso ao nascer.

Não foram observadas interações ($P>0.05$) entre plano nutricional materno x peso ao nascimento nas demais variáveis estudadas: peso do cérebro, coração, rins, IG, comprimento do ID, peso relativo do cérebro, comprimento cabeça cauda, razão circunferência abdominal: peso e relação cérebro: fígado.

Histomorfometria do intestino delgado

A avaliação histomorfométrica do ID (Tabela 3) revelou que os parâmetros analisados não diferiram ($P>0.05$) em relação aos planos nutricionais maternos. Da mesma forma, não foram observadas interações entre plano nutricional materno x peso ao nascimento da prole ($P>0.05$). Contudo, a largura das vilosidades, das criptas, e a área absorptiva do duodeno, bem como a largura das vilosidades, a profundidade das criptas e a e a área absorptiva do jejuno foram menores em leitões BP em comparação com leitões AP ($P<0.05$), sendo os leitões de BP mais afetados por alterações histomorfométricas intestinais.

Análises sanguíneas: glicose, colesterol total, HDL, LDL e triglicerídeos

Os níveis de glicose sanguínea da prole eutanasiada, foram maiores em leitões de porcas Req e Bump em relação aos leitões Maintenance ($P=0.01$) (Tabela 5). Ademais, foi observada interação plano nutricional materno x peso ao nascimento na glicose sanguínea. A concentração de glicose sanguínea foi semelhante entre os leitões de AP e BP nos planos Req e Bump. sendo que os leitões de AP apresentaram maior glicemia, os leitões de BP Req e Bump apresentaram valores intermediários e os Maintenance, por sua vez, tiveram menor concentração de glicose sanguínea ($P = 0.03$).

Não foram observadas, entretanto, diferenças entre os tratamentos, peso ao nascimento e interação entre estes fatores nos demais metabólitos sanguíneos analisados: colesterol total, HDL, LDL e triglicerídeos ($P>0.05$).

6. DISCUSSÃO

A nutrição das porcas gestantes desempenha um papel importante no peso do leitão ao nascimento e na variação de peso dentro da leitegada, especialmente em se tratando de fêmeas suínas hiperprolíficas mantidas em condições comerciais. Estudos anteriores avaliaram o desempenho reprodutivo de fêmeas suínas primíparas e multíparas, com foco em peso ao nascimento (Gonçalves et al., 2016, Mallmann et al., 2018, Mallmann et al., 2019, Choi et al., 2019). Contudo, até o momento, pouco se sabe sobre a influência da nutrição materna sobre o desenvolvimento morfofuncional da prole e de seus tecidos em ambiente uterino com alto

número de conceptos (situação de hiperproliferada). Como o baixo peso ao nascer é a principal causa de baixo desenvolvimento pós-natal (Felicioni et al., 2020) e de mortalidade pré-desmame (Stange et al., 2020), compreender as modificações fisiológicas da prole relacionados ao plano nutricional materno é de suma importância do ponto de vista econômico e nutricional. Até onde se sabe, este é o primeiro estudo a demonstrar alterações provenientes da programação fetal na prole de porcas com alto número de conceptos (+17 nascidos totais) tratadas em planos de nutrição modulando quantidades de ração. Os principais achados deste estudo, revelaram importantes associações entre nutrição materna e peso ao nascimento.

Os leitões de BP acometidos por RIUC possuem menor desenvolvimento de órgãos como fígado, rins e intestino o que promove comprometimento da funcionalidade destes órgãos em relação a leitões de AP (Rehfeldt et al., 2011; Alvarenga et al., 2013; Li et al., 2018, Felicioni et al., 2020). A redução do peso de órgãos e alterações na histomorfometria intestinal destes indivíduos pode interferir em funções fisiológicas importantes e permanecer ao longo de sua vida pós-natal, conforme relatado por Alvarenga et al. (2013). Consistentemente, estes achados da literatura corroboram com os resultados do presente estudo, sendo que os leitões RIUC apresentaram menor desenvolvimento frente aos leitões de AP. Tais disfunções reduzem a absorção de nutrientes e reduzem a função de barreira intestinal (Zhang et al., 2017). Portanto, o atraso e a alteração do desenvolvimento intestinal em leitões por RIUC provavelmente desempenham um papel importante na taxa de crescimento mais lenta (Hu et al., 2017).

O menor peso de órgãos como o fígado e ID e comprimento do ID, constatados na prole de porcas tratadas com o plano Maintenance durante a gestação, podem em conjunto, estar associados à menor circunferência abdominal observada no presente estudo, além de comprometimento no funcionamento destes órgãos. Muito embora a redução peso do ID tenha sido proeminente tanto em leitões Req quanto em Maintenance, acredita-se que o peso do fígado foi capaz de manter a circunferência abdominal dos leitões Req intermediária em comparação aos leitões dos demais grupos experimentais. A interação entre o plano nutricional da porca x peso ao nascimento mostrou que os leitões de AP parecem ser os principais responsáveis pela diferença constatada na circunferência abdominal entre a prole do plano Maintenance.

Curiosamente, a interação entre plano nutricional da porca x peso ao nascimento revelou que leitões AP Maintenance, apresentaram menor circunferência torácica entre AP Bump e Req e foi semelhante em todos os grupos experimentais de BP. Estes resultados podem sugerir que a prole de AP Maintenance apresentou alguma alteração no crescimento

de órgãos localizados na caixa torácica (timo, traqueia e esôfago e pulmões), muito embora não tenham sido avaliados no presente estudo. Tais associações podem estar relacionadas a prevalência de doenças respiratórias em algumas fases do desenvolvimento pós natal, conforme relatado por Rocha et al. (2019).

Foi demonstrado em achados anteriores que as concentrações de glicose sanguínea foram menores nestes indivíduos acometidos pela RIUC (Rehfeldt et al., 2011). Supreendentemente, pôde-se observar que o fornecimento do plano Maintenance durante a gestação pode reduzir ainda mais a glicemia da prole Maintenance de BP ao nascimento. Tendo em vista que os leitões neonatos necessitam de energia para se termorregularem, secarem, moverem até atingir o úbere materno e competirem por tetos para ingestão de colostro (Schmitt et al., 2019), situações de baixa glicemia podem levar ao esgotamento das reservas energéticas. Consistentemente com estes achados, foi observado por Ferreira et al. (2020), que fêmeas tratadas com plano Maintenance apresentaram maiores taxas de leitões removidos durante a lactação devido a inapetência e incapacidade de atingir o úbere materno, evidenciando que a baixa glicemia pode causar injúrias no desenvolvimento de suínos recém-nascidos. Nesta fase, entretanto, a glicose não é necessária apenas para produção de energia, mas também como um precursor de fosfolipídios, glicoproteínas, ribose e NAD fosfato (Gardner et al., 2000). Além disso, Ferreira et al. (2020), observaram que porcas tratadas com o plano Maintenance apresentaram menores concentrações de glicose ao final da gestação, o que parece influenciar diretamente na glicemia da prole ao nascimento. Em consonância, Feyera et al. (2018), demonstraram que a glicose parece ser o principal metabólito de energia para o metabolismo oxidativo do útero gravídico e o principal substrato do metabolismo oxidativo fetal (Pere & Etienne., 2018). Reynolds et al. (1985), relataram que cerca de 79% da necessidade de energia para o útero gravídico e 38% do gasto energético fetal poderiam ser atendidos pela glicose absorvida líquida, assumindo que o carbono da glicose não seja usado para outros fins.

Tomados em conjunto, os resultados indicam que a redução da ingestão de ração durante a gestação de acordo com as exigências de manutenção, resulta em programação pré-natal em leitões de BP (caracterizados como RIUC), demonstrada por menores medidas biométricas como circunferência abdominal, torácica, peso do fígado, peso e comprimento do ID, bem como reduzir o status energético da prole ao nascimento com redução dos níveis de glicose sanguínea.

7. DECLARAÇÃO DE ÉTICA

Os procedimentos envolvendo animais durante este ensaio foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal da Universidade Federal de Minas Gerais (Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil) sob o Protocolo 336/2019.

8. REFERÊNCIAS

- Alvarenga, ALN, Chiarini-Garcia H, Cardeal PC, Moreira LP, Foxcroft GR, Fontes D O, Almeida FRCL. 2013. Intra-uterine growth retardation affects birthweight and postnatal development in pigs, impairing muscle accretion, duodenal mucosa morphology and carcass traits. *Reproduction, Fertility and Development* 25, 387-395.
- Amdi C, Krogh U, Flummer C, Oksbjerg N, Hansen CF, Theil PK 2013. Intrauterine growth restricted piglets defined by their head shape ingest insufficient amounts of colostrum, *Journal of Animal Science* 91, 5605–5613.
- Amdi C, Lynegaard JC, Thymann T, Williams AR 2020. Intrauterine growth restriction in piglets alters blood cell counts and impairs cytokine responses in peripheral mononuclear cells 24 days post-partum. *Scientific Reports* 10, 4683.
- Bæk O, Sangild PT, Thymann T e Nguyen DN 2019. Growth Restriction and Systemic Immune
- Choi YH, Hosseindoust A, Kim MJ, Kim KY, Lee JH, Kim YH, Kim JS, Chae BJ 2019. Additional feeding during late gestation improves initial litter weight of lactating sows exposed to high ambient temperature. *Revista Brasileira de Zootecnia* 48, 20180028.
- Felicioni F, Pereira AD, Caldeira-Brant A, Santos TG et al. 2020. Postnatal development of skeletal muscle in pigs with intrauterine growth restriction: morphofunctional phenotype and molecular mechanisms. *Journal of Anatomy* 00, 1– 14.
- Ferreira SV, Rodrigues LA, Ferreira MA, Alkmin DV, Dementshuk JM, Almeida FRCL, Fontes DO 2020. Plane of nutrition during gestation affects reproductive performance and retention rate of hyperprolific sows under commercial conditions, *Animal*, *in press*, 1-8.
- Feyera T, Pedersen TF, Krogh U, Foldager L and Theil PK 2018. Impact of sow energy status during farrowing on farrowing kinetics, frequency of stillborn piglets, and farrowing assistance. *Journal of Animal Science* 96, 2320–2331.
- Foxcroft GR, Dixon WT, Dyck MK, Novak S, Harding JCS, Almeida FRCL 2009. Prenatal programming of postnatal development in the pig. In: Rodriguez-Martinez H, Vallet JL, Zicik AJ. (Eds). *Control of Pig Reproduction VIII*. 8 ed, Thrumpton: Nottingham University Press 66, 213-231.
- Gardner DK, Pool TB, Lane M 2000. Embryo nutrition and energy metabolism and its relationship to embryo growth, differentiation, and viability. *Seminars in Reproductive Medicine* 18, 205–218.

- Goodband RD, Tokach MD, Goncalves MAD, Woodworth JC, Dritz SS and DeRouchey JM 2013. Nutritional enhancement during pregnancy and its effects on reproduction in swine. *Animal Frontiers* 3, 68–75.
- Gonçalves M AD, Gourley KM, Dritz SS, Tokach MD, Bello NM, DeRouchey JM, Woodworth JC and Goodband RD 2016. Effects of amino acids and energy intake during late gestation of high-performing gilts and sows on litter and reproductive performance under commercial conditions. *Journal of Animal Science* 94, 1993–2003.
- Hu L, Peng X, Chen H, Yan C, Liu Y, Xu Q, et al. 2017. Effects of intrauterine growth retardation and *Bacillus subtilis* PB6 supplementation on growth performance, intestinal development and immune function of piglets during the suckling period. *European Journal of Nutrition* 56, 1753–65.
- Ji F, Wu G, Blanton JR and Kim SW 2005. Changes in weight and composition in various tissues of pregnant gilts and their nutritional implications. *Journal of Animal Science* 83, 366–375.
- Kogelman LJA, Kadarmideen HN, Mark T, Karlskov-Mortensen P, Bruun CS, Cirera S, Jacobsen MJ, Jørgensen CB e Fredholm M 2013. An F2 pig resource population as a model for genetic studies of obesity and obesity-related diseases in humans: design and genetic parameters. *Frontiers in Genetics*, 4-29.
- Koketsu Y and Iida R 2017. Sow housing associated with reproductive performance in breeding herds. *Molecular Reproduction and Development* 84, 979–986.
- Köppen, 1936. Köppen W. *Das geographische system der klimate* Gebrüder Borntraeger, Berlin, Germany (1936).
- Langley-Evans SC 2006. Developmental programming of health and diseases. *Proceedings of the Nutrition Society* 65, 97-105.
- Li N, Shimeng H, Lili J, Wei W, Tiantian L, Bin Z, Zhen L, Wang J 2018. Differences in the Gut Microbiota Establishment and Metabolome Characteristics Between Low- and Normal-Birth-Weight Piglets During Early-Life. *Frontiers in Microbiology* 9, 1798.
- Lynegaard J, Hansen C, Kristensen A, Amdi C 2020. Body composition and organ development of intra-uterine growth restricted pigs at weaning. *Animal* 14, 322-329.
- Mallmann AL, Betiolo FB, Camillotti E, Mellagi APG, Ulguim RR, Wentz I, Bernardi ML, Gonçalves MAD, Kummer R and Bortolozzo FP 2018. 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* 96, 4209–4219.
- Mallmann AL, Camilotti E, Fagundes DP, Vier CE, Mellagi APG, Ulguim RR, Bernardi ML, Orlando UAD, Gonçalves MAD, Kummer R and Bortolozzo FP 2019. Impact of feed intake during late

- gestation on piglet birth weight and reproductive performance: a dose-response study performed in gilts. *Journal of Animal Science* 97, 1262–1272.
- Matheson SM, Walling GA, Edwards SA. Genetic selection against intrauterine growth retardation in piglets: a problem at the piglet level with a solution at the sow level 2018. *Genetics Selection Evolution* 50, 46.
- Pere MC, Etienne M 2018. Nutrient uptake of the uterus during the last third of pregnancy in sows: Effects of litter size, gestation stage and maternal glycemia. *Animal Reproduction Science* 188, 101–113.
- Rehfeldt C, Lang IS, Görs S, Hennig U, Kalbe C, Stabenow B, Brüßow KP, Pfuhl R, Bellmann O, Nürnberg G, Otten W, Metges CC 2011. Limited and excess dietary protein during gestation affects growth and compositional traits in gilts and impairs offspring fetal growth. *Journal of Animal Science* 89, 329-41.
- Reynolds LP, Ford SP, Ferrell CL 1985. Blood Flow and Steroid and Nutrient Uptake of the Gravid Uterus and Fetus of Sows. *Journal of Animal Science* 61, 968–974.
- Rocha G, de Lima FF, Machado AP, Guimarães H, Proença E, Carvalho C, Martins LG, Martins T, Freitas A, Dias CP, Silva A, Barroso A, et al. 2019. The Hypertensive Disorders of Pregnancy Study Group: Small for gestational age very preterm infants present a higher risk of developing bronchopulmonary dysplasia. *Journal of Neonatal-Perinatal Medicine* 12, 419-427.
- Rostagno HS, 2017. Brazilian tables for poultry and swine - Composition of Feedstuffs and Nutritional Requirements. Federal University of Viçosa, Animal Science department, 4rd edition. Viçosa, MG, BR.
- Sampaio, IBM, 2015. Estatística aplicada à experimentação animal. Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 4 rd edition. Belo Horizonte, MG, BR.
- Santos, T.G., Fernandes, S.D., de Oliveira Araújo, S.B. et al. 2022. Intrauterine growth restriction and its impact on intestinal morphophysiology throughout postnatal development in pigs. *Sci Rep* 12, 11810.
- Schmitt O, Baxter EM, Lawlor PG, Boyle LA, O'Driscoll K 2019. A Single Dose of Fat-Based Energy Supplement to Light Birth Weight Pigs Shortly After Birth Does Not Increase Their Survival and Growth. *Animals* 9, 227.
- Stange K, Miersch C, Sponder G. et al. 2020. Low birth weight influences the postnatal abundance and characteristics of satellite cell subpopulations in pigs. *Scientific Reports* 10, 6149.
- Xiong L, You J, Zhang W et al. 2020. Intrauterine growth restriction alters growth performance, plasma hormones, and small intestinal microbial communities in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 11, 86.

Zhang LL, Zhang H, Li Y, Wang T 2017. Effects of medium-chain triglycerides on intestinal morphology and energy metabolism of intrauterine growth retarded weanling piglets. *Archives of Animal Nutrition* 71, 231–45.

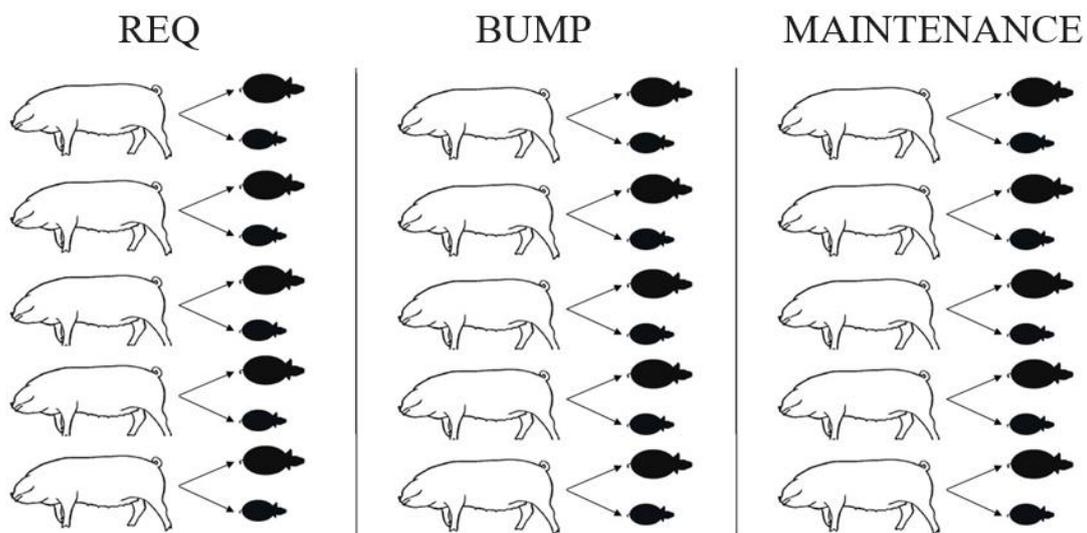


Fig. 3. Seleção de leitões para eutanásia de acordo com a distribuição de fêmeas por tratamento. Foram utilizadas 5 porcas por tratamento e de cada fêmea foi selecionado um leitão de alto peso ao nascer e um leitão de baixo peso ao nascer.

REQ= Exigências; BUMP= Bumpfeeding.

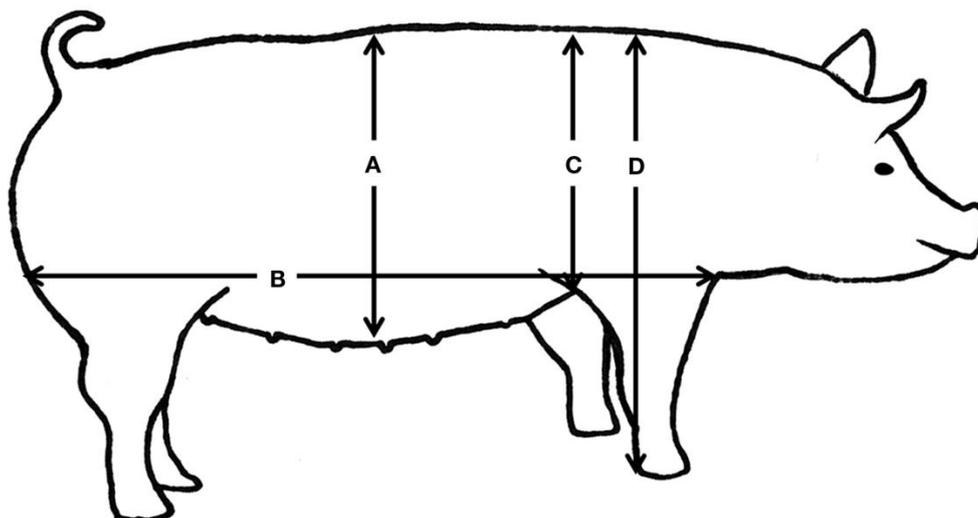


Fig 4. Medidas de conformação corporal no suíno, incluindo circunferência abdominal no umbigo (A), o comprimento cabeça-cauda (B), altura do ombro (C), altura do tórax (D) Adaptado de Kogelman et al. (2013).

Tabela 8. Efeito dos planos de nutrição materno sobre parâmetros biométricos da prole de alto peso (AP) e baixo (BP) ao nascer

Parâmetros	Plano de nutrição ¹			Peso ao nascimento ²			P-valor		
	Req	Bump	Maintenance	AP	BP	SEM	Pla.Nutr.	Peso.Nasc	Pla.Nutr. × Peso.Nasc
Peso ao nascimento (kg)	1.15	1.16	1.14	1.55	0.79	0.40	0.72	<0.01	0.34
Peso absoluto de órgãos (g)									
Cérebro	25.7	27.8	27.0	28.0	25.0	0.01	0.11	<0.01	0.66
Coração	9.0	9.0	8.0	11.0	6.0	0.11	0.33	<0.01	0.90
Fígado	32.0 ^a	32.0 ^a	26.0 ^b	40.0	19.0	0.01	0.02	<0.01	0.10
Rim	9.1	10.0	8.4	12.1	6.4	0.12	0.30	<0.01	0.39
Intestino delgado	29.5 ^{ab}	35.2 ^a	28.0 ^b	42.1	20.5	0.11	0.02	<0.01	0.10
Intestino Grosso	11.1	12.2	11.4	15.0	7.0	0.26	0.77	<0.01	0.43
Peso relativo de órgãos (g)									
Cérebro	0.022	0.024	0.024	0.018	0.032	0.050	0.59	<0.01	0.82
Coração	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008	0.010	0.95	0.46	0.48
Fígado	0.028 ^a	0.028 ^a	0.023 ^b	0.026	0.024	0.160	0.03	0.33	0.26
Rim	0.008	0.009	0.007	0.008	0.008	0.480	0.25	0.99	0.55
Intestino delgado	0.026	0.030	0.025	0.027	0.026	0.190	0.10	0.58	0.32
Intestino Grosso	0.010	0.011	0.010	0.010	0.009	0.070	0.75	0.70	0.51
Intestino delgado (m)	3.280 ^b	3.570 ^a	2.950 ^c	3.750	2.820	0.321	<0.01	<0.01	0.95
Cabeça-cauda (cm)	22.950	22.770	22.520	25.290	20.530	2.324	0.74	<0.01	0.80
Circunferência abdominal (AC; cm)	20.510 ^{ab}	20.880 ^a	19.550 ^b	22.450	18.300	0.903	0.04	<0.01	0.03
Circunferência torácica (cm)	23.370 ^{ab}	23.990 ^a	22.760 ^b	26.050	20.880	1.322	<0.01	<0.01	<0.01
Razão AC:BW	18.920	19.650	18.940	14.520	23.190	3.936	0.63	<0.01	0.25
Razão cérebro fígado (g/g)	0.871	1.107	1.199	0.688	1.418	0.254	0.15	<0.01	0.34

¹As porcas Req foram alimentadas de acordo com as exigências nutricionais de gestação: 2,3, 1,8, 2,3 e 2,3 kg de 1 a 21 dias, 21 a 75 dias, 75 a 90 dias e 90 dias até o parto, respectivamente. As porcas Bump foram alimentadas com 2,3, 1,8, 2,3 e 3,0 kg de 1 a 21 dias, 21 a 75 dias, 75 a 90 dias e 90 dias até o parto, respectivamente. As porcas Maintenance foram alimentadas com 1,8, 1,8, 1,8 e 1,8 kg de 1 a 21 dias, 21 a 75 dias, 75 a 90 dias e 90 dias até o parto, respectivamente. A dieta de gestação foi formulada para conter 2,5 MCal EL / kg, 0,67% SID lisina e 15,17% PB.

²AP: Alto peso ao nascer; BP: Baixo peso ao nascer

^{a, b} Médias dentro da mesma linha com letras diferentes diferem entre si (P <0,05).

Tabela 9. Efeito dos planos de nutrição materno sobre parâmetros sanguíneos da prole de alto peso (AP) e baixo (BP) ao nascer na histomorfometria do intestino delgado

Parâmetros	Plano de nutrição ¹			Peso ao nascimento ²		SEM	P-valor		
	Req	Bump	Maintenance	AP	BP		Pla.Nutr.	Peso.Nasc	Pla.Nutr. × Peso.Nasc
Duodeno									
Altura de vilosidade (µm)	306.71	305.20	299.06	316.87	291.46	45.09	0.96	0.29	0.09
Largura de vilosidade (µm)	70.85	75.70	77.72	83.92	66.26	7.16	0.12	<0.01	0.54
Profundidade de cripta-PC (µm)	121.42	126.85	135.16	131.88	124.65	17.88	0.41	0.45	0.94
Razão AV:PC	2.44	2.74	2.36	2.51	2.48	0.12	0.50	0.81	0.11
Largura da cripta (µm)	115.43	115.15	119.27	126.00	107.89	15.22	0.82	<0.01	0.08
Altura da mucosa (µm)	416.85	432.05	436.56	450.04	410.03	23.99	0.87	0.21	0.29
Área absorptiva	312.65	324.22	331.74	350.51	295.59	10.10	0.71	<0.01	0.37
Jejuno									
Altura de vilosidade AV (µm)	408.14	441.00	446.34	450.90	411.86	12.88	0.54	0.19	0.70
Largura de vilosidade (µm)	66.62	67.55	64.50	73.07	58.69	8.03	0.02	<0.01	0.43
Profundidade de cripta-PC (µm)	84.25	80.72	77.35	85.21	75.46	9.45	0.28	<0.01	0.51
Razão AV:PC	4.84	5.45	5.59	5.36	5.31	0.13	0.18	0.88	0.99
Largura da cripta (µm)	32.12	33.94	31.95	33.53	31.73	4.13	0.60	0.35	0.85
Altura da mucosa (µm)	453.11	400.68	453.86	464.29	409.38	14.23	0.25	0.07	0.43
Área absorptiva	472.62	521.72	519.20	536.14	474.03	30.88	0.35	0.05	0.41

¹ As porcas Req foram alimentadas de acordo com as exigências nutricionais de gestação: 2,3, 1,8, 2,3 e 2,3 kg de 1 a 21 dias, 21 a 75 dias, 75 a 90 dias e 90 dias até o parto, respectivamente. As porcas Bump foram alimentadas com 2,3, 1,8, 2,3 e 3,0 kg de 1 a 21 dias, 21 a 75 dias, 75 a 90 dias e 90 dias até o parto, respectivamente. As porcas Maintenance foram alimentadas com 1,8, 1,8, 1,8 e 1,8 kg de 1 a 21 dias, 21 a 75 dias, 75 a 90 dias e 90 dias até o parto, respectivamente. A dieta de gestação foi formulada para conter 2,5 MCal EL / kg, 0,67% SID lisina e 15,17% PB.

²AP: Alto peso ao nascer; BP: Baixo peso ao nascer

^{A, B} Médias dentro da mesma linha com letras diferentes diferem entre si (P<0,05).

Tabela 10. Efeito dos planos de nutrição materno sobre parâmetros sanguíneos da prole de alto peso (AP) e baixo (BP) ao nascer

Parâmetros	Plano de nutrição ¹			Peso ao nascimento ²			P-valor		
	Req	Bump	Maintenance	AP	BP	SEM	Pla.Nutr.	Peso.Nasc	Pla.Nutr. × Peso.Nasc
Colesterol total (mg/dL)	43.59	48.20	41.69	43.92	45.32	10.78	0.46	0.77	0.94
HDL (mg/dL)	19.88	21.60	22.91	20.25	22.71	7.43	0.66	0.35	0.49
LDL (mg/dL)	22.50	21.28	20.94	22.01	21.10	5.55	0.82	0.64	0.31
Glicose (mmol/L)	51.31 ^a	51.83 ^a	42.68 ^b	57.00	49.28	3.94	0.01	0.13	0.03
Triglicerídeos (mg/dL)	25.28	22.29	26.10	24.24	24.77	4.98	0.24	0.78	0.19

¹ As porcas Req foram alimentadas de acordo com as exigências nutricionais de gestação: 2,3, 1,8, 2,3 e 2,3 kg de 1 a 21 dias, 21 a 75 dias, 75 a 90 dias e 90 dias até o parto, respectivamente. As porcas Bump foram alimentadas com 2,3, 1,8, 2,3 e 3,0 kg de 1 a 21 dias, 21 a 75 dias, 75 a 90 dias e 90 dias até o parto, respectivamente. As porcas Maintenance foram alimentadas com 1,8, 1,8, 1,8 e 1,8 kg de 1 a 21 dias, 21 a 75 dias, 75 a 90 dias e 90 dias até o parto, respectivamente. A dieta de gestação foi formulada para conter 2,5 MCal EL / kg, 0,67% SID lisina e 15,17% PB.

²AP: Alto peso ao nascer; BP: Baixo peso ao nascer

^{A, B} Médias dentro da mesma linha com letras diferentes diferem entre si (P <0,05).