

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**Escola de Veterinária**

**Colegiado de Pós-Graduação em Zootecnia**

Leonardo Francisco Rocha Ferreira

**CASCAS DE CAFÉ E DE SOJA E POLPA CÍTRICA MICRONIZADA NA  
ALIMENTAÇÃO DE PORCAS GESTANTES:  
INFLUÊNCIA NA FISIOLOGIA E DESEMPENHO NA LACTAÇÃO**

Belo Horizonte

2020

Leonardo Francisco Rocha Ferreira

**CASCAS DE CAFÉ E DE SOJA E POLPA CÍTRICA MICRONIZADA NA  
ALIMENTAÇÃO DE PORCAS GESTANTES:  
INFLUÊNCIA NA FISIOLOGIA E DESEMPENHO NA LACTAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Orientador: Dalton de Oliveira Fontes

Belo Horizonte

2020

R672c

Rocha, Leonardo Francisco da,1988 -

Cascas de café e de soja e polpa cítrica micronizada na alimentação de porcas gestantes: influência na fisiologia e desempenho na lactação/ Leonardo Francisco da Rocha.-2020. 48 f.il

Orientador: Dalton de Oliveira Fontes

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

Inclui bibliografia

1. Porca – Reprodução - Teses - 2. Nutrição animal - Teses – 3. Digestibilidade - Teses - I. Fontes, Dalton de Oliveira - II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - III. Título.

**CDD – 636.4**

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569

Biblioteca da Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais.



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

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Cascas de café e de soja e poupa cítrica micronizada na alimentação de porcas gestantes: influência na fisiologia e desempenho na lactação**

**LEONARDO FRANCISCO DA ROCHA**

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia **29 de abril de 2020**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

**Carlos Henrique De Figueiredo Vasconcelos**

Universidade Federal de Viçosa

**Francisco Carlos De Oliveira Silva**

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

**Edgar De Alencar Teixeira**

Universidade Federal de Minas Gerais

**Eloisa De Oliveira Simões Saliba**

Universidade Federal de Minas Gerais

**Dalton de Oliveira Fontes - Orientador**

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 14 de abril de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Angela Maria Quintão Lana**, Coordenador(a) de curso de pós-graduação, em 14/04/2023, às 15:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 30.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_documento\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_documento_acesso_externo=0), informando o código verificador **2230251** e o código CRC **09845014**.

*À minha família, que nunca mediram esforços para me apoiar e ajudar.*

*Dedico,*

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela presença constante, por todo amparo e força diante das dificuldades, por me mostrar o caminho correto nas horas incertas, por ter me concedido a honra de realizar mais este sonho;

À padroeira Nossa Senhora de Aparecida, a qual tenho imensa devoção e gratidão.

A meus avós, pelos ensinamentos e pela brilhante criação e educação que me proporcionaram.

Ao meu pai Ivan pelo grande apoio, por ser uma das minhas fontes de inspiração de como o ser humano deve ser bom, honesto e trabalhador.

Aos meus irmãos e toda a minha família que de alguma forma contribuiu para meu crescimento pessoal e profissional.

À UFMG e ao Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária pela possibilidade de realização deste Doutorado;

Ao Prof. Dr. Walter Motta Ferreira, por ter aberto as portas da UFMG pra mim;

Aos Prof. Dalton Fontes, pela amizade e orientação;

Francisco Carlos, pelo apoio, e pela ajuda na realização do experimento inicial do Doutorado;

Aos funcionários Toninho, Salame, as moças da limpeza e os porteiros da UFMG

Aos funcionários da Escola, porteiros, faxineiras e pessoal da biblioteca, pelo carinho;

A todos os novos e antigos amigos, pelo simples fato de existirem;

A turma da bike de Belo Horizonte,

A todos os colegas e professores da UFMG, pelo convívio e aprendizado;

A empresa DB- Genética Suína por ceder seu espaço físico e os animais para realização do experimento;

À CAPES pela concessão da bolsa,

A todos o meu muito obrigado!

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”.*

*José de Alencar*

## RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da utilização de diferentes fontes de fibra em dietas de gestação sobre o parto, desempenho e fisiologia de matrizes suínas na lactação. Além disso, avaliar o efeito sobre a digestibilidade das dietas para as porcas em gestação. As diferentes fontes de fibra não influenciaram ( $p>0,05$ ) o peso e escore corporal das matrizes aos 110 dias de gestação, bem como o peso e escore corporal ao desmame não influenciaram ( $p>0,05$ ) a produção de leite, intervalo desmame cobertura e perda de peso na lactação. Não foi observada diferença ( $p>0,05$ ) entre tratamentos no tempo de duração de parto. A eficiência placentária das matrizes alimentadas com casca de café (5,48) foi superior ( $p<0,05$ ) àquelas alimentadas com casca de soja (4,92), onde obtiveram maior capacidade de nutrição fetal via placenta. O número de leitões natimortos no tratamento com casca de soja foi superior ( $p>0,05$ ) ao grupo controle (2,72 vs 1,08), as outras fontes de fibra (casca de café e polpa cítrica micronizada) apresentaram resultados melhores quando comparada a fonte de fibra tradicional utilizada. É possível observar que não houve mudanças significativas ( $p>0,05$ ) para número de leitões nascidos totais, nascidos vivos, peso total da leitegada ao nascimento, peso médio da leitegada ao nascer, peso médio da leitegada ao desmame e número médio de leitões desmamados em nenhum dos tratamentos. A percentagem de leitões mumificados foi superior ( $p<0,05$ ) no grupo tratado com casca de soja (5,64%) quando comparados àqueles que receberam polpa cítrica micronizada (3,12%) e casca de café (2,61%). As concentrações séricas de glicose, creatinina, lactato, triglicerídeos, proteínas totais, colesterol e ureia não foram influenciados pelos tratamentos ( $p>0,05$ ). No entanto, com relação ao tempo, a concentração de glicose e colesterol no período pós-prandial foram afetadas ( $p<0,005$ ) pelos tratamentos. Foi possível notar que os níveis de glicose não apresentaram diferenças ( $p>0,05$ ), entre os tratamentos analisados, ou efeito de interação entre tratamento e período de coleta. Entretanto, quando se avaliou somente o momento da coleta, foi possível observar diferenças entre o período pré-prandial e pós-prandial. Ademais, as concentrações de creatinina não foram influenciadas pelos tratamentos ( $p>0,05$ ). A concentração de triglicerídeos e colesterol não foi influenciada pelas fontes de fibra ( $p>0,05$ ). No entanto, ao observar somente o período, ou seja, pré e pós-prandial, notou-se diferenças significativas ( $p<0,05$ ). Os teores de lactato não diferiram entre as fontes de fibra ( $p>0,05$ ). As fontes de fibra não alteraram os parâmetros reprodutivos, produtivos e metabólitos sanguíneos das matrizes suínas. Desta forma, as fibras oriundas da casca de soja e de café e polpa cítrica micronizada, podem ser utilizadas nas dietas de matrizes suínas em gestação sem comprometer seu desempenho.

**Palavras-chave:** energia, nutrição, polissacarídeos, suinocultura



## ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of using different sources of fiber in pregnancy diets on parturition, performance and physiology of sows during lactation. In addition, to evaluate the effect on the digestibility of diets for pregnant sows. The different sources of fiber did not influence ( $p>0.05$ ) the weight and body score of the sows at 110 days of gestation, as well as the weight and body score at weaning did not influence ( $p>0.05$ ) milk production, range weaning coverage and weight loss in lactation. No difference ( $p>0.05$ ) was observed between treatments in the duration of parturition. The placental efficiency of the sows fed with coffee husks (5.48) was superior ( $p<0.05$ ) to those fed with soy hulls (4.92), where they obtained greater capacity for fetal nutrition via the placenta. The number of stillborn piglets in the treatment with soybean hulls was higher ( $p>0.05$ ) than the control group (2.72 vs 1.08), the other sources of fiber (coffee hulls and micronized citrus pulp) showed better results when compared to the traditional fiber source used. It is possible to observe that there were no significant changes ( $p>0.05$ ) for the number of total born piglets, live births, total litter weight at birth, average litter weight at birth, average litter weight at weaning and average number of piglets weaned in any of the treatments. The percentage of mummified piglets was higher ( $p<0.05$ ) in the group treated with soybean hulls (5.64%) when compared to those who received micronized citrus pulp (3.12%) and coffee hulls (2.61%). Serum concentrations of glucose, creatinine, lactate, triglycerides, total proteins, cholesterol and urea were not influenced by treatments ( $p>0.05$ ). However, with respect to time, the concentration of glucose and cholesterol in the postprandial period were affected ( $p<0.005$ ) by the treatments. It was possible to notice that the glucose levels did not show differences ( $p>0.05$ ) between the analyzed treatments, or interaction effect between treatment and collection period. However, when only the time of collection was evaluated, it was possible to observe differences between the pre-prandial and post-prandial periods. Furthermore, creatinine concentrations were not influenced by treatments ( $p>0.05$ ). The concentration of triglycerides and cholesterol was not influenced by fiber sources ( $p>0.05$ ). However, when observing only the period, that is, pre and postprandial, significant differences were noted ( $p<0.05$ ). Lactate levels did not differ between fiber sources ( $p>0.05$ ). The fiber sources did not change the reproductive, productive parameters and blood metabolites of the sows. Thus, fibers from soy and coffee hulls and micronized citrus pulp can be used in the diets of pregnant sows without compromising their performance.

**Keywords:** polysaccharides, energy, nutrition, pig farming

## LISTA DE TABELAS

Table 1. Sows treatment distribution according to parity order .....	36
Table 2. Ingredient and chemical composition of diets.....	37
Table 3. Effects of different fiber sources on the performance of sows during gestation and lactation. ....	40
Table 4. Influence of different fiber sources on litter performance.....	40
Table 5. Influence of different fiber sources on blood parameters of sows at d 112 of gestation.....	41

## LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

CD - Coeficiente de digestibilidade aparente  
CDEB: Coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta  
CDEE: Coeficiente de digestibilidade aparente do extrato etéreo  
CDFDN: Coeficiente de digestibilidade aparente da fibra em detergente neutro  
CDFDA: Coeficiente de digestibilidade aparente da fibra em detergente ácido  
CDMO: Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria orgânica  
CDMS: Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca  
CDPB: Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta  
CMD: Consumo médio diário  
DBO: Demanda bioquímica de oxigênio  
EB: Energia bruta  
ED: Energia digestível  
EE: Extrato etéreo  
FB: Fibra bruta  
FDA: Fibra em detergente ácido  
FDN: Fibra em detergente neutro  
GDP: Ganho de peso diário  
HEM: Hemiceluloses  
Kg: Kilograma  
LIG: Ligninas  
m<sup>2</sup>: Metro quadrado  
m<sup>3</sup>: Metro cúbico  
mg: Miligrama  
MO: Matéria orgânica  
MN: Matéria natural  
MS: Matéria seca  
P: Fósforo  
PB: Proteína bruta  
PD: Proteína digestível  
pH : Potencial hidrogeniônico  
t: Tonelada

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
	<b>CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
1.1	Panorama da suinocultura .....	15
1.2	Nutrição e alimentação da fêmea suína gestante .....	16
1.3	Fibra na alimentação de suínos .....	17
1.4	Métodos de determinação da fibra dietética .....	19
1.5	Influência da utilização da fibra dietética na dieta de porcas em gestação .....	20
1.5.1	Desempenho produtivo das matrizes .....	20
1.5.2	Parâmetros bioquímicos no sangue .....	21
1.5.3	Colostro .....	22
1.6	Fontes de fibra na alimentação de suínos e seus efeitos sobre o desempenho .....	23
1.6.1	Casca de café .....	23
1.6.2	Casca de soja .....	24
1.6.3	Polpa cítrica .....	25
1.7	Referências .....	26
	<b>CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1.....</b>	<b>32</b>
1	Introduction .....	34
2	Materials and Methods .....	35
2.1	Installations, Animals and Treatments .....	35
2.2	Blood collection and analysis .....	38
2.3	Sow and litter performance .....	38
2.4	Statistical analysis .....	39
3	Results .....	40
4	Discussion .....	41
5	Conclusion .....	45
6	References .....	46

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As fêmeas suínas modernas estão cada dia mais produtivas com elevado número de leitões nascidos acarretando a diminuição do peso ao nascimento. Uma maior atenção tem sido dada a nutrição desta fêmea gestante com o objetivo de um aumento do peso ao nascimento e uma menor variação de peso entre os leitões ao nascimento. Outro fato que tem sido considerado é o bem-estar destes animais, tanto em aspectos ambientais quanto nutricionais.

Atualmente, nos programas de arraçoamento das matrizes suínas em gestação é preconizada restrição na oferta de alimento visando a prevenção de ganho excessivo de peso, na qual, poderia trazer implicações no momento do parto bem como na produção de leite na maternidade (NRC 2012).

A utilização de fibra dietética em dietas de matrizes suínas em gestação, em nível acima do que é preconizado nas outras fases de criação de suínos, é amplamente difundida e tem como principal objetivo o controle de peso dos animais, bem como, proporcionar uma maior saciedade durante esse período visto que minimiza o desconforto causado pelo confinamento e pela restrição alimentar (Pascoal e Watanabe, 2014).

Segundo Bernardino et al. (2016), o alto teor de fibra dietética aumenta o tempo de ingestão e a saciedade dos animais, bem como, reduz a frequência de estereotípias oriundas do confinamento. A utilização da fibra durante o período de gestação pode influenciar o peso dos leitões ao nascimento bem como o consumo da matriz durante a lactação, o que de certa forma implicaria em uma maior produção de leite e maior peso dos leitões ao desmame.

A fibra dietética também é um substrato importante para a fermentação por meio da atividade microbiana, sendo assim, a fonte e a quantidade de fibra presente na dieta podem alterar a microbiota intestinal. Alguns trabalhos têm demonstrado que a fibra dietética tem indícios de ser importante para a manutenção da saúde intestinal em animais não ruminantes (Montagne et al., 2003), devido aos efeitos benéficos sobre a fisiologia digestiva e atividade microbiana (Mateos et al., 2012), podendo assim favorecer as populações microbianas gastrintestinais benéficas (Dunkley et al., 2007) e reduzir a proliferação de micro-organismos patogênicos e a ocorrência de distúrbios digestivos.

Durante muito tempo, os métodos de avaliação do conteúdo de fibra dos alimentos eram subestimados e, com os métodos atuais de análise já conseguimos quantificar todas as frações que constituem a estrutura da planta. Tal fato é de suma importância tendo em vista que atualmente, o processamento de produtos da agroindústria tem gerado inúmeros resíduos,

e muitos destes, são ricos em compostos fibrosos e por serem de baixo custo em sua maioria, poderiam ser empregados na alimentação de porcas em gestação, diminuindo custos na alimentação.

Embora a discussão sobre a utilização da fibra na alimentação de fêmeas suínas em gestação não seja algo recente, ainda existem inúmeras incertezas no que diz respeito ao tipo de fibra utilizada, nível e ao seu período de utilização. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da utilização de diferentes fontes de fibra em dietas de gestação sobre o parto, desempenho e fisiologia de matrizes suínas na lactação. Além disso objetivou-se avaliar o efeito sobre a digestibilidade das diferentes fontes de fibra para as porcas em gestação.

## **CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.1 Panorama da suinocultura**

A suinocultura brasileira é uma das atividades socioeconômicas mais importantes para o país. Além da geração de empregos a atividade contribui de forma significativa para o produto interno bruto (PIB) do agronegócio brasileiro. A carne suína é exportada para mais de 70 países. Foram embarcadas cerca de 750,3 mil toneladas de carne suína em 2019 saldo 16,2% superior ao registrado em 2018 que foi de 646 mil toneladas (ABPA 2019).

O Brasil é atualmente o quarto maior produtor de carne suína do mundo ficando atrás da União Europeia, Estados Unidos e China. Atualmente o plantel reprodutivo brasileiro é de aproximadamente 2.039.356 matrizes, cerca de 93,7% da produção nacional de suínos está distribuída em cinco estados: Santa Catarina (24,4%), Rio Grande do Sul (19,8%), Minas Gerais (15,9%), Paraná (15,4%) e Mato Grosso (8,2%) (ABPA 2019).

A suinocultura no Brasil assume diferentes formatos, e estes, seguem alguns padrões como; escala de produção, nível de tecnologia e também a forma de arranjo entre os produtores e empresas de processamento. Quando nos referimos a modelos de produção, podemos citar diferentes situações, que irão depender muito do contexto onde os produtores estão inseridos. A região sul do país, por exemplo, é composta em sua maioria por pequenos suinocultores integrados ou cooperados e que em sua grande maioria, são especializados em uma fase da produção. Já, a região sudeste do país, é predominantemente composta por suinocultores independentes e de ciclo completo.

Quando nos referimos ao volume de abate nacional de suínos em 2018, a Região Sul foi responsável por cerca de 65,8%, seguido pelas Regiões Sudeste (18,7%), Centro-Oeste (14,5%), Nordeste (0,9%) e Norte (0,1%) (IBGE 2018). Quanto ao consumo, a carne suína é a terceira mais consumida no país, sendo o mercado interno responsável pelo principal destino da produção do setor, respondendo por cerca de 84% e o consumo per capita se encontra em torno de 15,9 quilos (ABPA 2019).

Atualmente o panorama da suinocultura brasileira é favorável já que a China o maior produtor mundial vem enfrentando um enorme desafio sanitário. A peste suína africana tem causado inúmeros prejuízos à suinocultura chinesa. Estima-se que já foram abatidos 1,5 milhão de animais na tentativa de controle dos focos em seu território sendo aproximadamente 30% de matrizes. Tal fato tem gerado um aumento na exportação de carne para este país refletindo nos preços no mercado interno.

## 1.2 Nutrição e alimentação de fêmea suína gestante

A duração do período de gestação de matrizes suínas é caracterizada por 114 dias em média podendo variar para mais ou para menos dependendo da genética, ambiente linhagem e manejos adotados (Panzardi et al. 2007). Nos últimos anos, os programas de melhoramento genético têm objetivado o aumento do número de leitões bem como o aumento de deposição proteica. Houve mudanças no perfil destas fêmeas que passaram a ter alta prolificidade e baixa capacidade de deposição de gordura corporal (Brown-Brandl et al. 2004).

Mudanças nas características corporais e produtivas dos animais afetam diretamente suas exigências, visto que as necessidades de fêmeas em gestação se baseiam na manutenção, ganho materno e crescimento dos fetos (Close e Cole 2001, Kim et al. 2005), sendo influenciados pelo ciclo da matriz, fase gestacional e prolificidade (Abreu et al. 2013, Kim et al. 2005, Silva 2010).

O conhecimento das fases gestacionais é de suma importância para que se possa realizar o adequado manejo nutricional.

O manejo adotado nas maiorias das granjas durante o período de gestação é a alimentação restrita visando garantir o adequado escore corporal evitando o ganho de peso elevado que influencia negativamente o desempenho da fêmea e sua leitegada. Durante as diferentes fases gestacionais ocorre mudanças nas quantidades de ração fornecidas visando o atendimento das exigências (Solà-Oriol 2016).

A fase gestacional pode ser dividida em três etapas: da cobertura até os 21 dias ocorre a ligação embrio-maternal e início da formação da placenta; dos 21 aos 75 dias ocorre a formação das fibras musculares fetais; e por último, dos 75 dias até o parto, ocorre crescimento significativo dos fetos e desenvolvimento das glândulas mamárias (Kim et al. 2009).

As necessidades nutricionais na fase inicial são superiores as de manutenção. O principal objetivo nutricional neste período é o de intensificar a sobrevivência embrionária e proporcionar adequada formação placentária e anexos fetais (Jindal et al. 1996). Estes mesmos autores, trabalhando com diferentes quantidades de ração logo após a inseminação, observaram que as fêmeas nulíparas que receberam 1,9 e 2,6 Kg de ração, tiveram taxas de sobrevivência embrionárias de 84,7 e 64,5%, respectivamente e os teores de progesterona sanguínea, 72 horas após identificação do estro, foram maiores nas fêmeas que tiveram menor consumo de ração. Estes resultados demonstram a ocorrência de um período crítico que se estende até às 72 horas após a inseminação.



No terço médio do período de gestação compreendido entre 21 a 75 dias, o objetivo principal é a recuperação corporal das matrizes, devido a mobilização na lactação anterior oriundas bem como, o adequado crescimento de fêmeas jovens (Young et al. 2004). A nutrição nesta fase visa a formação das fibras musculares primárias e secundárias dos fetos (Foxcroft e Town 2004). De acordo com Goodband et al. (2013), o ganho de peso da matriz ocorre quando se tem a ingestão de nutrientes acima das necessidades para manutenção, crescimento de tecidos fetais, fluidos e conceptos. Sendo assim, é recomendado que até este período se busque a recuperação corporal da matriz visto que, após este período as exigências são superiores às necessidades de manutenção (Ji et al. 2005, Goodband et al. 2013).

A terceira fase gestacional (75 ao parto) tem como principais características o maior desenvolvimento da glândula mamária e, maior crescimento fetal. O que resulta em necessidade de ganho proteico e aumento de reserva energética quando comparado as fases iniciais de gestação, acarretando uma maior exigência nutricional pela matriz (Ji et al. 2005, Mcpherson et al. 2004) e um aporte proteico extra se a fêmea ainda estiver em crescimento. Entretanto, é de grande importância lembrar que o excesso de energia nos períodos que compreendem 75 a 90 dias, pode prejudicar a formação da glândula mamária, o que poderá ocasionar uma diminuição na produção de leite durante a lactação (Abreu et al. 2005).

### **1.3 Fibra na alimentação de suínos**

O termo “fibra dietética”, utilizado pela primeira vez por Hipsley em 1953, considerada como sendo, os constituintes não digeridos das dietas (Bach Knudsen 2001). A fibra pode ser classificada tanto no aspecto morfológico quanto no seu aspecto nutricional. Quando se refere ao aspecto de morfologia, este corresponde aos componentes que formam a estrutura da parede celular das plantas. Já, nutricionalmente, refere-se à fração do alimento que não é digerida por enzimas secretadas no trato digestório de animais não ruminantes. No entanto, por meio da fermentação microbiana realizada no intestino grosso pode ocorrer hidrólise destes compostos (AACC 2001).

A importância da fibra na nutrição de animais não ruminantes está diretamente relacionada com a digestibilidade dos nutrientes, produção de ácidos graxos voláteis, valor energético das dietas, proliferação celular do epitélio intestinal, excreção de muco intestinal e influência na taxa de passagem do alimento pelo trato gastrointestinal (Castro Júnior et al. 2005, Gomes et al. 2006, Brito et al. 2008, Goulart et al. 2016, Nepomuceno et al. 2016)

A fibra dietética pode desempenhar papel estratégico na nutrição de suínos. Tem sido comum se utilizar na alimentação de machos reprodutores, fêmeas destinadas à reprodução e reposição. Para fêmeas em gestação um nível maior de fibra nas rações, tendo como principal objetivo, o controle do ganho de peso e diminuição do estresse causado pelo confinamento e pela restrição alimentar já que dietas fibrosas promovem distensão do TGI proporcionando saciedade para essa categoria animal (Gomes et al. 2007).

Sendo assim, é classificada quimicamente fibra alimentar como um conjunto de compostos fenólicos e polissacarídeos não amiláceos (PNA) (Sakomura et al. 2014). Os PNAS podem ser constituídos por nove principais carboidratos sendo eles: arabinose e xilose (pentoses), glicose, galactose e manose (hexoses), ramnose e fucose (deoxi-hexoses) e ácidos glucurônico e galacturônico (ácidos urônicos). Os principais polissacarídeos que constituem a fibra são: celulose, hemicelulose, lignina arabinoxilanas,  $\beta$ - glucanas, xiloglucanas, ramnogalacturanas e arabinogalactanas (Englyst 1989).

Outra classificação importante da fibra dietética está relacionada com a sua solubilidade em água e seu efeito fisiológico. Podem ser classificadas como solúvel e insolúvel. A celulose, hemicelulose insolúvel e a lignina correspondem à fibra insolúvel. Já a fibra solúvel, corresponde às pectinas, gomas, mucilagens, algumas hemiceluloses e polissacarídeos não amiláceos (Castro Júnior et al. 2005, Brito et al. 2008, Goulart et al. 2016).

A principal característica da fibra solúvel é ser mais fermentável aumentando a viscosidade da digesta e a capacidade de absorção de água, formando um gel no trato intestinal (Silva et al. 2014). A gelatinização faz com que o bolo alimentar fique por mais tempo no trato gastrointestinal, diminuindo o esvaziamento gástrico (maior saciedade) e o contato entre as enzimas digestivas e seu substrato, o que afeta diretamente a digestibilidade dos nutrientes, favorecendo a proliferação de bactérias patogênicas e reduzindo o consumo voluntário (Bedford 1995).

As fibras insolúveis possuem como principal característica, diminuir o tempo de retenção da dieta, ocasionando assim diminuição na absorção de nutrientes, aumentando a retenção de água e o volume fecal (Brito et al. 2008). As fezes se tornam macias e de fácil eliminação, o que evita o aparecimento de casos de constipação. Pode ser digerida somente no intestino grosso, através da sua fermentação total ou parcial, sendo utilizada como fonte de energia pelos microrganismos do cólon o que resulta, na produção de ácidos graxos de cadeia curta (Potkins et al. 1991).

A energia proveniente da fermentação de compostos fibrosos no trato intestinal pode ser aproveitada pelo animal, podendo contribuir com a energia de manutenção dos mesmos. De acordo com Anguita et al. (2007), essa contribuição pode variar entre 15 a 30 % para animais em crescimento e gestação respectivamente. A contribuição energética da fibra está relacionada principalmente à contribuição oriunda dos AGCC produzidos através da fermentação, para as células do epitélio intestinal dos animais (Bindelle et al. 2008). Sendo o butirato o principal AGCC a regular o crescimento das células epiteliais, induzindo assim a diferenciação e apoptose no intestino delgado, aumentando a capacidade absorptiva.

#### **1.4 Métodos de determinação da fibra dietética**

Um dos primordiais métodos de avaliação do conteúdo de fibra dos alimentos é a fibra bruta (FB). A (FB) compreende a celulose e variáveis quantidades de lignina e hemiceluloses, e estes compostos são solubilizados pelas soluções alcalina e ácida do método. Existe uma falha no método, pois a lignina solubilizada torna-se parte dos extrativos não nitrogenados, os quais deveriam ser o componente mais digestível do alimento (Machado et al. 2009).

Desta forma, gradativamente, o método de FB foi substituído pelo método da fibra em detergente neutro (FDN) desenvolvido por Van Soest (1965). Este consiste na utilização de uma solução tampão, que evita a solubilização da lignina. Sendo assim, a FDN compreende as frações insolúveis de hemicelulose, celulose e lignina. Posteriormente, criou-se outro método denominado com fibra em detergente ácido (FDA). Esta análise consiste na utilização de um ácido forte como o ácido sulfúrico, sendo então quantificadas a celulose e lignina (Van Soest, 1967).

A determinação das fibras em detergente neutro (FDN) e em detergente ácido (FDA) dos alimentos tem sido o método mais comumente utilizado nos laboratórios em nosso país, no entanto, alguns autores ainda propõem métodos distintos dos citados. Englyst, (1989), propôs a mensuração dos constituintes da fibra dietética, como por exemplo, os PNA, por meio de cromatografia líquido-gasosa. Esse método, apesar de ter um custo elevado, tem sido cada vez mais utilizado, podendo desta forma caracterizar melhor os componentes fibrosos. De acordo com NRC (2012), o principal desafio está na padronização dos métodos de análise, já que diferentes metodologias podem gerar resultados contraditórios.

## **1.5 Influência da utilização da fibra dietética na dieta de porcas em gestação**

### **1.5.1 Desempenho produtivo das matrizes**

Existe uma grande preocupação com relação ao consumo de ração das matrizes suínas durante o período lactacional, e uma das estratégias para maximizar este consumo, é preparar as matrizes fisiologicamente e anatomicamente durante o período gestacional. Peet-Schewering et al. (2003) observaram que matrizes suínas alimentadas com 38% de polpa de beterraba, quando comparadas com matrizes alimentadas sem a adição deste ingrediente, tiveram o trato digestivo cerca de seis quilos mais pesados.

De acordo com Dierick et al. (1989), elevados teores de fibra dietética tanto solúvel quanto insolúvel, podem levar a um aumento dos órgãos gastrintestinais e a uma maior produção de secreções digestivas. Sendo assim, a fibra pode estimular o desenvolvimento intestinal, e com isso porcas gestantes alimentadas com altos teores de fibra, podem ter um consumo mais elevado na lactação (Ferreira et al. 2007).

Quesnel et al. (2009), afirmam que o fornecimento de dietas com elevados teores de fibras, reduz a concentração de leptina circulante apresentando correlação positiva com a ingestão de alimentos, e este efeito se mantém ao longo da lactação. Isso implica diretamente em uma satisfatória ingestão de alimentos e em um menor desgaste corporal e maior produção de leite.

A fibra pode influenciar positivamente no peso dos leitões ao nascimento e no consumo na lactação, o que implica diretamente no peso dos leitões ao desmame (Peet-Schewering et al. 2003, Veum et al. 2009). Veum et al. (2009) trabalhando com a adição de 13,35% de palha de trigo e 8,26 % de FB e outra dieta sem a adição da palha de trigo e com 3,12% de FB, durante três ciclos consecutivos, observaram que as matrizes que consumiram ração com maior nível de fibra na gestação, apresentaram um consumo médio na lactação de 370g a mais por dia e tiveram leitegadas pesando 3,59 Kg a mais ao desmame.

Outro aspecto que atualmente tem sido muito evidenciado é o efeito da fibra sobre o bem-estar dos animais. De acordo com a diretiva 2008/120, devem ser fornecidas às matrizes alimentos ricos em fibras com o objetivo de amenizar a sensação de fome e também suprir as necessidades de mastigação. A Alemanha por exemplo, deixa especificado que o conteúdo de fibra na matéria seca deve ser de no mínimo 8%, garantindo a ingestão de 200 gramas de fibra por dia. Alimentos ricos em fibra ativam mais rapidamente o centro da saciedade no cérebro de suínos através da dilatação da parede do estômago e, também pelo retardo na taxa de

passagem gastrintestinal. Desta forma, animais submetidos à restrição alimentar quantitativa, permanecem por um período mais curto de tempo na condição de estresse causada pela sensação de fome (Che et al. 2011). Budiño et al. (2014), avaliando o comportamento de matrizes suínas em diferentes sistemas gaiolas individuais e sistema de alojamento coletivo com alta e baixa fibra, observaram que matrizes alojadas em sistema coletivo e com dietas com alta fibra, apresentaram melhores respostas fisiológicas indicando maior conforto e melhor bem-estar.

Embora diversos trabalhos tenham demonstrado efeitos benéficos na utilização de elevados teores de fibra em dietas de matrizes em gestação, ao se aumentar o nível de fibra, é preciso avaliar o impacto por ele causado sobre a digestibilidade dos nutrientes. A medida que se aumenta o nível de fibra da dieta ocorre um decréscimo na digestibilidade dos nutrientes e da energia (Le Gall et al. 2009).

### **1.5.2 Parâmetros bioquímicos no sangue**

A composição bioquímica do sangue fornece importantes informações com relação ao estado clínico, metabólico e produtivo dos animais, podendo assim auxiliar como indicadores dos processos adaptativos do organismo, no metabolismo energético, proteico e mineral (Gonzalez e Silva 2003).

No metabolismo proteico, a albumina é a proteína mais abundante no plasma (Cox 2006), sendo sintetizada pelo fígado tendo como principal função, o transporte de metabolitos e no controle osmótico. A alteração da sua concentração no sangue se dá principalmente por danos hepáticos, desidratação ou mesmo déficit alimentar de proteínas. Com relação à uréia, é um indicador sensível e imediato da ingestão de proteína, tem relação com os níveis proteicos da dieta e o funcionamento renal diferente da albumina, que é um indicador em longo prazo do estado proteico (Gonzalez e Silva 2006).

Quesnel et al. (2009), ao avaliarem dietas contendo baixa e alta fibra, 2,8 e 11,5%, respectivamente, não encontraram diferenças com relação à concentração de ureia plasmática durante o período de gestação no entanto, na transição do período entre gestação e lactação foi encontrada diferença, sendo atribuída ao maior consumo de proteína durante a lactação.

Alguns compostos como glicose, colesterol e ácidos graxos não esterificados (NEFA), são bons indicadores do metabolismo energético (Gonzalez e Silva 2006). Devido a um aumento no crescimento dos fetos no final da gestação ocorre, um direcionamento maior de glicose para os mesmos (Père e Etienne 2007). Tal evento fisiológico pode causar resistência

insulínica, e que, decorrente disso ocorre um aumento na concentração de ácidos graxos não esterificados (NEFA).

Quesnel et al. (2009), trabalhando com matrizes suínas alimentadas com dietas de alta FB (12,4 %), apresentaram menores concentrações de glicose de 15 a 30 minutos após a ingestão de ração. Os mesmos autores observando o comportamento da insulina identificaram como sendo o menor nível entre 15 e 75 minutos, após o arraçoamento. Os efeitos encontrados podem estar associados ao menor consumo de amido da dieta contendo mais fibra.

O colesterol no organismo dos animais pode ser de origem exógena, oriunda dos alimentos, ou, de forma endógena. Os níveis de colesterol plasmáticos são indicadores adequados do total de lipídios no plasma, porque corresponde aproximadamente a 30% do total (Scheffer e Gonzalez 2003). Em seres humanos, foi observada uma diminuição na concentração de colesterol sérico, derivado de um aumento no consumo de fibras (Martensson et al. 2005). Esse efeito pode ser atribuído à fração solúvel da fibra, que diminui a reabsorção da bile, isso faz com que o fígado remova o colesterol sanguíneo para a produção de novos ácidos e sais biliares (Rique et al. 2002, Kerckhoffs et al. 2003). Fibras solúveis são altamente fermentáveis e componentes como os beta-glucanos, independentemente do ingrediente de origem, são eficientes em reduzir o colesterol sérico (Delaney et al. 2003).

Oelke et al. (2018), trabalhando com diferentes níveis de fibra bruta 3,3, 7,0 e 10,1% para fêmeas suínas em gestação, observaram efeito linear sobre o colesterol sanguíneo, em relação ao nível de fibra da ração. Esses mesmos autores não observaram nenhuma diferença sobre parâmetros produtivos.

### **1.5.3 Colostro**

O termo colostro é utilizado para caracterizar a primeira secreção da glândula mamária. Na espécie suína a produção se inicia pouco antes do parto até aproximadamente 12 horas após seu início (De Passillé e Rushen 1989). Alguns trabalhos têm sugerido um aumento no teor de gordura no colostro de matrizes alimentadas com um maior teor de fibra na dieta. As possíveis hipóteses são um maior catabolismo de lipídios oriundo das reservas das fêmeas ou aumento da produção de ácidos graxos no plasma das matrizes e consequentemente síntese de lipídeos na glândula mamária.

Quesnel et al. (2009), ao avaliarem dietas contendo baixa e alta fibra, 2,8 e 11,5%, respectivamente, não encontraram diferenças com relação a composição do colostro das

matrizes em relação a utilização de um teor de fibra maior nas dietas de gestação. No entanto, foi observado uma maior produção de colostro pelas fêmeas alimentadas com alta fibra, cerca de 15% maior.

Krogh et al. (2015), trabalhando com diferentes fontes de fibra (polpa de beterraba, farelo de alfafa e uma dieta base) combinados com três fontes de gordura (ácido graxo de palma, óleo de soja e trioctanoato, observaram um maior teor de lactose 12 e 24 h após o início do parto em matrizes alimentadas com baixo teor de fibra. Já Loisel et al. (2013) não encontraram diferenças no teor de lactose nos períodos de 12 e 24 horas após o nascimento do primeiro leitão entre matrizes alimentadas com alta e baixa fibra (.3,3 e 7,9 %).

## **1.6 Fontes de fibra na alimentação de suínos e seus efeitos sobre o desempenho**

### **1.6.1 Casca de café**

A cafeicultura dá origem a inúmeros resíduos, podendo citar como o principal deles, a casca de café. A crescente preocupação com questões ambientais tem originado estudos sobre a destinação dos resíduos originados neste sistema agroindustrial (Villela et al. 2001).

A casca de café representa cerca de 40% do fruto maduro e este material, pode retornar a lavoura em forma de adubo orgânico ou então, muitas vezes é perdido sem nenhuma utilização (Poveda Parra et al. 2008). Poucos estudos são realizados com o uso da casca de café como fonte de fibra na alimentação de suínos, não havendo informações sobre seu valor nutricional e potencial de utilização.

Existem dois tipos de casca de café dependendo do tipo de grão colhido e do processamento utilizados, a casca de café melosa e a casca de café seca. A principal diferença entre os tipos de casca é o fato de que a casca de café melosa não possuir um componente fibroso, o pergaminho (Oliveira 2001). Sendo assim, a casca de café é um subproduto com grande potencial de utilização na alimentação de monogástricos, porém, alguns fatores antinutricionais como; taninos, cafeína, lignina e sílica, podem interferir na aceitação e no aproveitamento pelos animais pelos animais (Barcelos et al. 2001).

Parra et al. (2008), trabalhando com suínos nas fases de crescimento e terminação, avaliaram diferentes inclusões de casca de café melosa na dieta (0, 5, 10, 15 e 20%. Os autores verificaram que a inclusão de até 5% de casca de café na fase de crescimento e de até 9,5% na fase de terminação não afeta o desempenho dos animais. Oliveira (2001), avaliando a substituição do milho por casca de café (0, 5, 10, 15%) em dietas de suínos em crescimento e

terminação, observaram que independentemente do nível a substituição diminuiu o desempenho dos animais e esta, só se justificaria economicamente até o nível de 5%.

Carvalho et al. (2009), trabalhando com suínos na fase inicial, avaliaram a digestibilidade de casca de café melosa e casca de café melosa ensilada e diferentes inclusões de casca de café melosa ensilada na dieta dos animais (0, 4, 8, 12 e 16%). Com relação à digestibilidade, o processo de ensilagem não alterou a digestibilidade da casca de café melosa. Já com relação aos níveis de inclusão da casca de café melosa ensilada os autores observaram que a inclusão de até 16%, não alterou as características de desempenho dos animais.

### **1.6.2 Casca de soja**

A estimativa da produção mundial de soja, de acordo com o USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), para a safra 2019/2020, é de 337,5 milhões de toneladas (FIESP 2019), enquanto a produção brasileira estimada, nesta safra, é de 123 milhões de toneladas. O Brasil é o segundo maior produtor de soja, ficando atrás apenas dos Estados Unidos.

A casca de soja é um subproduto do beneficiamento do grão de soja e esta, consiste em uma camada fina que recobre o grão, sendo obtida após o processamento industrial da soja para a produção do farelo de soja “high pro” (farelo de soja com alta proteína, tipo exportação) gerando assim um grande volume de casca (Quadros et al. 2008). Para cada tonelada de soja processada obtém-se 180 kg de óleo (18%), 710 kg de farelo de soja com 45% de proteína bruta (71%) e em torno de 50 kg de cascas (5%) (Blasi et al. 2000). Possui em torno de 32,9 % de fibra bruta, 58,1 % fibra em detergente neutro, 46,1% de fibra em detergente ácido (Rostagno et al. 2017).

Gentilini et al. (2004) estudaram o desempenho produtivo de leitoas alimentadas com dietas de gestação com baixo e alto nível de casca de soja 7,0 e 35% de inclusão, observaram que o peso médio aos 110 dias de gestação, peso médio após o parto e o peso médio dos leitões ao nascimento foi maior para as fêmeas alimentadas com 7,0% de inclusão de casca de soja. No entanto, o consumo de ração no período de lactação foi maior para os animais alimentados com 35 % de inclusão de casca de soja na dieta.

Quadros et al. (2008) avaliaram o desempenho de suínos na fase de crescimento e terminação alimentados com diferentes níveis de inclusão de casca de soja na dieta (0, 4, 8, 12 e 16%), observaram que a inclusão de até 16% de casca de soja moída não afeta o



desempenho dos animais e pode produzir carcaças mais magras já que no presente trabalho a inclusão deste ingrediente nas dietas promoveu uma redução linear na espessura de toucinho.

### **1.6.3 Polpa cítrica**

A polpa cítrica é o subproduto do processamento da laranja sendo esta, composta pelas cascas, membranas, vesículas e sementes da laranja. Após duas prensagens para a extração do suco de laranja, ocorre redução da umidade em cerca de 65 - 75%. Posteriormente é realizado o processo de secagem até atingir 90% de matéria seca (Teixeira 2001).

A polpa cítrica é composta basicamente por pectina, celulose e polissacarídeos hemicelulósicos (Bampidis e Robinson 2006, Franzolin e Franzolin 2000). Segundo Watanabe et al. (2010), a polpa cítrica apresenta valores médios de 7,89% de FB, 24-41% de FDN, 14% de FDA, 1% lignina e 25% de pectina. Os teores de fibra bruta da laranja encontram-se principalmente na casca, e sua maior parte é composta por celulose, uma importante fibra alimentar insolúvel. De forma geral, a polpa cítrica possui alta digestibilidade da matéria seca, elevado teor de fibra, alto teor de carboidratos solúveis (Ítavo et al. 2000, Muller e Prado 2004, Pinheiro et al. 2000).

Watanabe et al. (2010) trabalhando com diferentes níveis de polpa cítrica (0, 10, 20 e 30%) em dietas de suínos em crescimento e terminação, não observaram diferenças sobre a conversão alimentar e o consumo de ração, no entanto houve maior ganho de peso ao nível de 10,79 % de inclusão. Já Mejía et al. (2001), trabalhando com a inclusão de 0, 5, 10, 15 e 20% de polpa cítrica em dietas para suínos em crescimento, não observaram diferenças sobre os parâmetros de digestibilidade da matéria seca, proteína e energia bruta. Os melhores resultados para consumo diário de ração, ganho de peso e conversão alimentar, foram observados com a inclusão de até 5% de polpa cítrica. De acordo com os autores níveis maiores de inclusão podem, podem ter afetado a absorção dos nutrientes da dieta devido ao teor de fibra.

## 1.7 Referências

- AACC- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, St. Paul, v.46, n.3, p. 112-126, 2001.
- ABPA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. 2019. Disponível em: <<http://abpa-br.org/mercados/>>. Acesso em: 10/02/2020.
- ABREU MLT, DONZELE JL & OLIVEIRA RFM. 2005. Exigências e manejo nutricionais de matrizes suínas gestantes e lactantes. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE AVES E SUÍNOS (AVESUI). SUINOCULTURA: NUTRIÇÃO E MANEJO, 4, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Gessulli, p. 33-59.
- ABREU MLT et al. 2013. Atualizando a nutrição de porcas hiperprolíficas. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE SUINOCULTURA, 6, Chapecó. *Anais...* Chapecó: [s. n.], p. 70-92.
- ANGUITA M, GASA J, NOFRARIAS M. et al. 2007. Effect of coarse ground corn, sugar beet pulp and wheat bran on the voluntary intake and physicochemical characteristics of digesta of growing pigs. *Livest. Sci*, 107: 182–191.
- BACH KNUDSEN KE. 2001. The nutritional significance of “dietary fibre” analyses. *Anim. Feed Sci Technol*. 90: 3-20.
- BAMPIDIS V & ROBINSON P. 2006. Citrus by-products as ruminant feeds: A review. *Anim. Feed Sci. Technol*. 128: 175-217.
- BARCELOS AF, PAIVA PCA, PÉREZ JRO. et al. 2001. Fatores antinutricionais da casca e da polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) armazenadas em diferentes períodos. *Rev. Bras. Zootec*. 30: 325-1331.
- BEDFORD MR. 1995. Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes. *Anim. Feed Sci Technol*. 53: 145–155.
- BERNARDINO T, TATEMOTO P, MORRONE B, RODRIGUES PHM & ZANELLA AJ. 2016. Piglets born from sows fed high fibre diets during pregnancy are less aggressive prior to weaning. *PloS one*, 11:12.
- BINDELLE J, LETERME P & BULDGEN A. 2008. Nutritional and Environmental Consequences of Dietary Fibre in Pig Nutrition: A Review. *Biotechnol. Agron. Soc., Gembloux*, 12: 69-80.
- BLASI DA, DROUILLARD JS, TITGEMEYER, E.C. et al. 2000. Soybean hulls: composition and feeding value for beef and dairy cattle. Manhattan: Kansas State University, MF-2438
- BRITO MS, OLIVEIRA CFS, SILVA TRG. et al. 2008. Polissacarídeos não-amiláceos na nutrição de monogástricos - Revisão. *Acta Vet. Brasil*, 2: 111–117.
- BROWN-BRANDL T, NIENABER JA, XIN H. et al. 2004. A literature review of swine heat production. *T. ASABE*, 47: 259.

- BUDINÕ FEL, VIEIRA RFN, MELLO SP. et al. 2014. Behavior and performance of sows fed different levels of fiber and reared in individual cages or collective pens. *An. Acad. Bras. Ciênc*, 86: 2109-2119.
- CARVALHO PLO, MOREIRA I, PAIANO D. et al. 2009. Casca de café melosa ensilada na alimentação de suínos na fase inicial. *Ciênc. Agrotec*, 33: 5.
- CASTRO JUNIOR FG, CAMARGO JCM, CASTRO AMMG. et al. 2005. Fibra na alimentação de suínos. *Bol. Ind. Anim, Nova Odessa*, 62: 265-280.
- CHE L, FENG D, WU D et al. 2011. Effect of dietary fibre on reproductive performance of sows during the first two parities. *Reprod. Domest. Anim.* 46: 1061–1066.
- CLOSE WH & COLE DJA. 2001. Nutrition of sows and boars. 1 st ed. Nottingham: Nottingham University Press, :377.
- COX MM, LEHNINGER AL & NELSON DL. 2006. Princípios de bioquímica. São Paulo.
- DELANEY B, NICOLOSI RJ, WILSON TA. et al. 2003. b-Glucan fractions from barley and oats are similarly antiatherogenic in hypercholesterolemic syrian golden hamsters. *J. Nutr.* 133: 468-495.
- DE PASSILLÉ AMB & RUSHEN J. 1989. Using early suckling behavior and weight gain to identify piglets at risk. *Can. J. Anim. Sci*, 69: 535-544.
- DIERICK NA, VERVAEKE IJ, DEMEYER DI. et al. 1989. Approach to the energetic importance of fibre digestion in pigs. I. Importance of fermentation in the overall energy supply. *Anim. Feed Sci. Technol.* 23: 141-167.
- ENGLYST HANS. 1989. Classification and measurement of plant polysaccharides. *J. Anim. Sci. Technol*, 23: 27-42.
- FERREIRA AS, ARAÚJO, WAG, SILVA, BAN, & BATISTA, RM. 2007. Nutrição e manejo da alimentação de porcas na gestação e lactação em momentos críticos. *SEMINÁRIO DE AVES E SUÍNOS–AVESUI*, 7: 71-95.
- FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DE SÃO PAULO. Boletim informativo: Safra Mundial de Soja 2019/2020. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br>> Acesso em: 10 jan. 2020.
- FOXCROFT GR & TOWN S. 2004. Prenatal programming of postnatal performance: the unseen cause of variance. *Adv. Pork . Prod.*, Edmonton, 15: 269-279.
- FRANZOLIN R & FRANZOLIN MHT. 2000. População protozoários ciliados e degradabilidade ruminal em búfalos e bovinos zebuínos sob dieta à base de cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Zootec*, 29: 1853- 1861.

GENTILINI FP, DALLANORA D, PEIXOTO CH. et al. 2004. Desempenho produtivo de leitoas alimentadas com dietas de gestação de baixo ou alto nível de casca de soja. *Ciênc Rural*, Santa Maria, 34: 1177-1183.

GOODBAND RD, TOKACH MD, GONCALVES MAD. et al. 2013. Nutritional enhancement during pregnancy and its effects on reproduction in swine. *Animal Frontiers* 3: 68–75.

GOMES JDF, BLAZQUEZ FJH, FUKUSHIMA RS. et al. 2006. Efeitos do incremento da fibra em detergente neutro na ração de suínos sobre a histologia de segmentos do trato intestinal. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci*, 43: 202–209.

GOMES JDF, PUTRINO SM, GROSSKLAUS C. et al. 2007. Efeitos do incremento de fibra dietética sobre a digestibilidade, desempenho e características de carcaça: suínos em crescimento e terminação. *Semina: Ciênc. Agrár*, 28: 483-492.

GONZALEZ FHD & SILVA SC. 2003. Introdução à bioquímica clínica veterinária, Perfil bioquímico sanguíneo, 8: 1-11.

GONZALEZ FHD & SILVA SC. 2006. Introdução à bioquímica clínica veterinária. Porto Alegre: UFRGS, 2006. P.356.

GOULART FR, ADORIM TJ, MOMBACH PI. et al. 2016. Importância da fibra alimentar na nutrição de animais não ruminantes. *Rev. Ciên. Inov*, 1: 141–154.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA. Indicadores IBGE, Estatística da Produção Pecuária. 2018. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/> > Acesso em: 11/02/2020.

ÍTAVO LCV, SANTOS GT, JOBIM CC. et al. 2000. Composition and apparent digestibility of orange peel silage additives. *Rev. Bras. Zootec*, 29: 1485-1490.

JI F, WU G, BLANTON J. et al. 2005. Changes in weight and composition in various tissues of pregnant gilts and their nutritional implications. *J. Anim. Sci*, 83: 366-375.

JINDAL R, COSGROVE JR, AHERNE FX. et al. 1996. Effect of nutrition on embryonal mortality in gilts: Association with progesterone. *J. Anim. Sci*, Champaign, 74: 620–624.

KERCKHOFFS DAJ, HORNSTRA G & MENSINK RP. 2003. Cholesterol-lowering effect of  $\beta$ -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when  $\beta$ -glucan is incorporated into bread and cookies. *J. Am. Coll. Nutr.*, Clearwater, 78: 221-227.

KIM SW, WU G & BAKER DH. 2005. Ideal protein and dietary amino acid requirements for gestating and lactating sows. *Pig News and Information*, Farnham, 26: 89-99.

KIM SW, HURLEY WL, WU G. et al. 2009. Ideal amino acid balance for sows during gestation and lactation. *J. Anim. Sci*, Champaign, 87: 23–132.

KROGH U, BRUUN TS, AMDI C. et al. 2015. Colostrum production in sows fed different sources of fiber and fat during late gestation. *Can. J. Anim. Sci*. 95: 211–223.

- LE GALL M, WARPECHOESKI M, JAQUELIN-PEYRAUD Y. et al. 2009. Influence of dietary fibre level and pelleting on the digestibility of energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Anim*, 3: 352–359.
- LOISEL F, FARMER C, RAMAEKERS P. et al. 2013. Effect of high fibre intake during late pregnancy on sow physiology, colostrum production and piglet performance. *J. Anim. Sci*, v.91: 5269–5279.
- MACHADO FS, GONÇALVES LC, RIBAS MN. et al. 2009. Fibra na alimentação de gado de leite. In: *Alimentos para gado de leite*. FEPMVZ- Editora: Belo Horizonte, 2009.
- MARTENSSON O, BIORKLUND M, LAMBO A. et al. 2005. Fermented, rory, oat-based products reduce cholesterol levels and stimulate the bifidobacteria flora in humans. *Nutr.Res*, New York, 25: 429–442.
- MCPHERSON RL, JI F, BLANTON JR. et al. 2004. Fetal growth and compositional changes of fetal tissues in the pigs. *J. Anim. Sci.*, Champaign, 82: 2534- 2540.
- MEJÍA GA, FERREIRA WM, OLIVEIRA SG. et al. 2001. Efeito da inclusão de polpa seca na dieta sobre desempenho de suínos em terminação. 38º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Piracicaba. Anais... Piracicaba. São Paulo.
- MULLER M. & PRADO IN. 2004. Metabolismo da pectina para produção de carne e leite em ruminantes. In I. N. Prado (Ed.), *Conceitos sobre a produção com qualidade de carne e leite*, 1: 115-146.
- NEPOMUCENO RC, WATANABE PH, FREITAS ER. et al. 2016. Neutral detergent fibre in piglet diets: performance and gastrointestinal implications. *Ciênc. Agrotec*, 40: 205–216.
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2012. Nutrient requirements of swine. Committee on Nutrient Requirements of Swine, Board on Agriculture and Natural Resources, Division on Earth and Life Studies. 11th ed. Washington, 2012. 400 p.
- OELKE CA, RIBEIRO AML, NORO M, BERNARDI ML, DENARDIN CC, NUNES PR. & WINCKLER JC. 2018. Effect of different levels of total dietary fiber on the performance of sows in gestation and lactation. *Rev Bras de Zootec*, 47.
- OLIVEIRA S.L. 2001. Avaliação da casca de café em rações para suínos em terminação. 74p. Dissertação - (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- PANZARDI A. et al. 2007. Eventos cronológicos da gestação: da deposição dos espermatozóides no trato reprodutivo feminino ao desenvolvimento dos fetos. In: *Suinocultura em ação: a fêmea suína gestante*. Porto Alegre: UFRS, 4: 43-71.
- PARRA ARP, MOREIRA I, FURLAN AC. et al. 2008. Utilização da casca de café na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação. *Rev Bras Zootec*, 37: 433-42.

PASCOAL LAF & WATANABE PH. 2014. Fibra dietética na nutrição de suínos. NK Sakomura, JHV Silva, FGP Costa, JBK Fernandes, and L. Hauschild. *Nutrição de não ruminantes*, 1: 358-374.

PÈRE MC & ETIENNE M. 2007. Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *J. Anim. Sci. Champaign*, 85: 101-110.

PEET-SCHWERING CMC, KEMP B, BINNENDIJK GP. et al. 2003. Performance of sows fed high levels of nonstarch polysaccharides during gestation and lactation over three parities. *J. Anim. Sci, Champaign*, 81: 2247-2258..

PINHEIRO AD, PRADO IN, ALCALDE CR. et al. 2000. Efeitos dos níveis de substituição do milho pela polpa de citrus peletizada sobre a digestibilidade aparente em bovinos mestiços confinados. *Acta. Sci. Anim. Sci*, 22: 793-799.

POTKINS ZV, LAWRENCE TLJ, THOMLINSON JR. 1991. Effects of structural and non-structural polysaccharides in the diet of the growing pig on gastric emptying rate and rate of passage of digesta to the terminal ileum and through the total gastrointestinal tract. *Brit. J. Nutr*, 65: 391-413.

POVEDA PARRA AR, MOREIRA I, FURLAN AC. et al. 2008. Utilização da casca de café na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação. *Rev. Bras. Zootec*, 37: 433-442.

QUADROS ARB, MOREIRA I, FURLAN AC. et al. 2008. Inclusão de diferentes níveis de casca de soja moída em dietas isoenergéticas para suínos em crescimento e terminação. *Cienc. Rural*, 38: 463-469.

QUESNEL H, MEUNIER-SALAUN MC, GUILLEMET R. et al. 2009. Dietary fiber for pregnant sows: Influence on sow physiology and performance during lactation. *J. Anim. Sci. Champaign*, 87: 532-543.

RIQUE ABR, SOARES EA & MEIRELLES CM. 2002. Nutrição e exercício na prevenção e controle das doenças cardiovasculares. *Rev. Bras. Med. Esporte*, São Paulo 8: 6

ROSTAGNO HS, ALBINO LFT, HANNAS IM. et al. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4.ed. Viçosa: Ed. da UFV, Departamento de Zootecnia, p.488.

SAKOMURA NK, SILVA JD, COSTA FGP, FERNANDES JBK & HAUSCHILD L. 2014. *Nutrição de não-ruminantes*. Jaboticabal, SP: Editora Funep.

SCHEFFER JF & GONZÁLEZ FHD. *Enzimologia clínica em medicina veterinária*. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/bioquimica>>. Acesso em: 30 janeiro de 2020.

SILVA B. 2010. Nutrição de fêmeas suínas de alta performance reprodutiva nos trópicos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO SUÍNA. Campinas. Anais... Campinas: Unicamp, 1 CD ROM.

- SILVA JHV. et al. 2014. Digestão e absorção de carboidratos. In: SAKOMURA NK. et al. (Coord.). Nutrição de não ruminantes. Jaboticabal: Funep, p. 48–61.
- TEIXEIRA JC. 2001. Utilização da polpa cítrica na alimentação de bovinos leiteiros Parte I. *Milkbizz Tecnolog*, 1: 25-28.
- VAN SOEST PJ. 1965. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Voluntary intake relation to chemical composition and digestibility. *J. Anim. Sci*, 24: 834-844.
- VAN SOEST PJ. 1967. Development of comprehensive system of feed analysis and its application to foragens. *J. Anim. Sci*, 26: 116.
- VEUM TL, CRENSHAW JD, CRENSHAW TD. et al. 2009. The addition of ground wheat straw as a fiber source in the gestation diet of sows and the effect on sow and litter performance for three successive parities. *J. Anim. Sci*, 87: 1003–1012.
- VILLELA FG, PEREZ JRO, TEIXEIRA JC. et al. 2001. Uso da casca de café melosa em diferentes níveis na alimentação de novilhos confinados. *Ciênc. Agrotec, Lavras*, 25: 198-205.
- WATANABE PH, THOMAZ MC, RUIZ US. et al. 2010. Carcass characteristics and meat quality of heavy swine fed different citrus pulp levels. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec*, 62: 921-929.
- YOUNG M, TOKACH M, AHERNE F. et al. 2004. Comparison of three methods of feeding sows in gestation and the subsequent effects on lactation performance. *J. Anim. Sci*, 82: 3058- 3070.

## CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1

### **Productive and biochemical parameters of sows fed different alternative sources of fiber during gestation and the impacts during lactation**

Leonardo Francisco Rocha Ferreira<sup>A</sup>, Itallo Conrado Sousa de Araújo<sup>A,D</sup>, Ana Paula Liboreiro Brustolini<sup>A</sup>, Idael Mathes Goes Lopes<sup>A</sup>, Eloisa de Oliveira Simões Saliba<sup>A</sup>, Walter Motta Ferreira<sup>A</sup>, Soraia Viana Ferreira<sup>B</sup>, Francisco Carlos de Oliveira Silva<sup>C</sup>, Dalton de Oliveira Fontes<sup>A</sup>

<sup>A</sup>Department of Animal Science, Federal University of Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

<sup>B</sup>DanBred Brasil, Patos de Minas, Minas Gerais, Brazil.

<sup>C</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, EPAMIG, Belo Horizonte, Brazil.



## **Productive and biochemical parameters of sows fed different alternative sources of fiber during gestation and the impacts during lactation**

**Context.** There are few experiments that demonstrate how alternative fiber sources can influence productive and biochemical parameters of sows. Also, few studies have assessed whether the use of micronized citrus pulp sow's feed during gestation and lactation.

**Aims.** The aim of the present study was to evaluate the effects of different fiber sources fed to sows during gestation on performance and biochemical parameters measured during lactation.

**Methods.** A total of 220 sows with average initial weight of  $240.72 \pm 29.42$  were allotted to a completely randomized design, with four treatments and 55 replications. The treatments consisted of different fiber sources included in the feed. A corn soybean meal-based diet was the control, without inclusion of any fiber sources. The remaining treatments were obtained by the inclusion of micronized citrus pulp, soybean hulls and coffee husk.

**Key results.** Productive and reproductive performance during gestation and lactation, and litter birth weight was not influenced ( $P > 0.05$ ) by the treatments. Placental efficiency showed differences ( $P < 0.05$ ) in animals fed diets supplemented with either soybean or coffee husk. Groups fed control diets or soybean hulls-supplemented diets presented differences on the stillborn rate ( $P < 0.05$ ). Groups fed coffee husk or micronized citrus pulp-supplemented diets showed differences from groups fed soybean hulls on the percentage of mummified fetuses ( $P < 0.05$ ). The blood parameters glucose, creatinine, lactate, triglycerides, total protein, cholesterol and urea were not influenced by treatments ( $P > 0.05$ ). However, blood glucose, triglycerides and cholesterol levels presented differences ( $P < 0.05$ ) between the pre and postprandial phases.

**Conclusion.** The different fiber sources did not influence the performance of sows and their litters during gestation and lactation.

**Implications.** Strategies can be developed to use coffee husks, micronized citrus pulp or soybean hulls in sows' feed. Furthermore, it has been proven that the use of these fiber sources did not change the reproductive and productive parameters and blood metabolites of the sows. Additional keywords: alternative ingredients, coffee husks, micronized citrus pulp, polysaccharides, soybean hulls

**Additional keywords:** alternative ingredients, coffee husks, micronized citrus pulp, polysaccharides, soybean hulls

## 1 Introduction

The advance of genetic enhancement in swine production promoted the insertion of hyper-prolific sows in the herds, which generate greater numbers of piglets per litter. As a result, there was a need to adjust the sows' diets according to changes in maintenance and production requirements, aiming to provide nutrients to piglets in order to provide greater placental nutritional support (Peltoniemi et al., 2019). This nutritional strategy mainly aims to improve litter uniformity and consequently promote higher birth weight, thus guaranteeing the piglets' vitality and survival.

Sows, when in gestation phase, are subjected to feed restriction in order to reduce excessive weight gain and avoid problems such as low feed consumption in the lactation phase, low milk production and occurrence of dystocytic parturition (Mou et al., 2020; Shang et al., 2021). Thus, dietary fiber has been used as a nutritional alternative in the diets of sows in the gestation and lactation phase, as they present promising results such as changing the duration of parturition, greater number of live born piglets, improvement in colostrum composition, increased litter weight and increased feed consumption in the lactation phase (Li et al., 2020; Tian et al., 2020; Yu et al., 2020). When using dietary fibers, its sources must be considered, as well as aspects of solubility and fermentability, which will directly interfere with the action of fiber on the gastrointestinal tract. Soluble fibers have water solubility, being associated with increased diet viscosity, but have greater fermentation when compared to insoluble fiber. On the other hand, insoluble fibers have lower solubility in water, being less fermentable (Williams et al., 2019; Li et al., 2021).

As they are non-starch polysaccharides, the inclusion of fiber in swine diets must be based on inclusion levels and consider the soluble:insoluble fiber ratio, which are directly associated with the effects of fiber in diets. In the sows' nutrition, fibrous sources seek a longer time of satiety, reducing the animals' stress and avoiding problems of exaggerated weight gain, especially when it comes to the gestation period, when food is restricted. In addition, dietary fibers promote the synthesis of short-chain fatty acids, such as butyrate, propionate, and acetate, which are associated with intestinal health and extra energy supply, ensuring a symbiotic microbiota (Shang et al., 2019; Cheng et al., 2018).

On the other hand, Brazil is the world's largest producer and exporter of coffee, being an economically viable activity for the country. As a result, there is a large number of by-products originated from coffee production, such as its own husk. Coffee husks can be used in swine nutrition as an alternative source of fiber due to its wide availability in the country and

its physicochemical composition (Parra et al., 2008; Faustino et al., 2020; Martinez et al., 2021). In citrus, Brazil is among the largest producers worldwide, especially orange. The juice producing agroindustry has significant expression in several regions of the country. Thus, there is also a need to reuse fruit pomace, which has desirable characteristics such as the presence of pectin, fiber, and carbohydrates, in addition to having a low production cost and beneficial nutritional characteristics to be used as a source of fiber in the sows' diet (Nascimento et al., 2020).

The fiber sources in Brazil are diverse and most of them come from the processing of ingredients used in animal or human nutrition. Therefore, there is a need to understand its effects on the gastrointestinal tract of animals and on sow's productivity. In this way, the use of diets with fiber content during the gestation period can be a strategy to improve the productivity of the sows, in addition to potentiating the use of agro-industries by-products in the swine diets (Pascoal and Watanabe, 2014). Therefore, the objective of this work was to evaluate productive and reproductive parameters, farrowing duration and biochemical parameters of pregnant sows fed with different fiber sources

## **2 Materials and Methods**

All experimental procedures used in this study were in accordance with the guidelines of the Animal Experimentation Ethics Committee of the Federal University of Minas Gerais - Brazil (CEUA) protocol number 113/2019.

### **2.1 Installations, Animals and Treatments**

The experiment was conducted in Varjão de Minas city, located in the southeastern region of Brazil (900 meters altitude, Latitude: 18° 22' 36" South, Longitude: 46° 1' 57" West), a region with a tropical climate and dry season (Köopen-Geiger climate classification). A total of 220 sows (DB 30 Yorkshire females × DB 20 Landrace males, DB Brazil, Patos de Minas, MG, Brazil) were distributed in the four treatments after insemination ( $240.72 \pm 29.42$ kg), with parity order from 3 to 8. The sows were distributed in a completely randomized design, with four treatments and 55 replications (Table 1). Body condition was assessed using the Caliper score (Knauer and Baitinger 2015). This device quantifies the angularity of the topline of the sow in the spinous process for the transverse process and assigns scores to each range, being a sow with scores 7 - 9, 10 - 12 and 13 - 14 classified as thin, ideal and overweight respectively.

The gestation rooms were equipped with individual pens measuring 0.72 x 2.12 m (solid front floor of 0.93 m, rear floor of 1.05 m). A digital thermometer (incoterm) was installed in the middle of the room at half height of the animals, allowing the daily measurement of temperature during the afternoon (minimum 20.93°C and maximum of 27.81°C). All sows were weighed on a digital scale (KM3-N, Coimma, São Paulo, Brazil) and submitted to body condition score assessment (as previously described, Knauer and Baitinger, 2015) at the beginning of the experiment.

Table 1. Sows treatment distribution according to parity order

Parity Order	Treatments			
	Control	Micronized citrus pulp	Soybean hull	Coffee Husk
3	16	16	18	18
4	15	14	16	17
5	7	6	6	2
6	7	7	8	8
7	6	8	5	8
8	4	4	2	2
N	55	55	55	55
Mean parity order	4.71	4.80	4.49	4.58
Mean sow initial weight	242.9	241.57	238.12	242.44

At d 110 of gestation the sows were weighed, their score evaluated, and then they were transferred to the maternity room composed of 26 individual farrowing crates measuring 1.10 x 2.41 m and there was an area in front of the crates measuring 1.53 x 0.53 for the piglets with floor heaters and lamps.

The treatments consisted of four diets, with the control diet formulated based on corn and soybean meal without the inclusion of any additional fiber source. The other treatments were obtained by the inclusion of fibermill® (micronized citrus pulp), soybean hulls and coffee husks. The inclusion of fibermill® followed the manufacturer's recommendations. The diets were designed to meet the nutritional requirements of the sows, respecting the lysine/metabolizable energy ratio based on Rostagno et al. (2017) (Table 2). The control diet was provided in a single daily supply at 06:00 am, in the following amounts: 0 to 21 days 2.2 kg/day (7058 kcal/day and 14.3 g/day of digestible lysine); 22 to 75 days 1.8 kg/day (5133 kcal/day and 10.4 g/day of digestible lysine); 76 to 90 days 2.4 kg/day (7699 kcal/day and 15.6g/day of digestible lysine) and 91 until calving 3.0 kg/day (9624 kcal/kg and 19.5g/day of digestible lysine). The feed intake of the different treatments during the gestation period was

adjusted so that the animals consumed the same amounts of nutrients per day, the same ratio between lysine/energy and the other nutrients. Water supply was *ad*

Table 2. Ingredient and chemical composition of diets

Ingredients (%)	Control	Micronized citrus pulp	Soybean hull	Coffee Husk	Lactation
Corn	77.51	74.04	63.05	63.91	55.56
Soybean meal	15.75	15.30	12.60	11.8	26.80
Soybean hull	-	-	18.00	-	3.00
Soybean oil	-	-	-	-	5.00
Sugar	-	-	-	-	4.00
Yeast	1.00	0.97	0.95	1.00	-
Fibermill®	-	4.00	-	-	-
Coffee husk	-	-	-	18.00	-
Meat and bone meal	2.00	2.00	2.00	2.00	2.65
Limestone	0.44	0.375	0.18	0.35	0.42
Dicalcium phosphate	1.30	1.30	1.20	0.95	1.15
Salt	0.50	0.49	0.47	0.410	0.50
Lysine	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20
L-Threonine	0.03	0.0295	0.02	0.024	0.07
L- Tryptophan	0.01	0.01	0.009	0.008	-
DL-Methionine	0.03	0.0295	0.028	0.024	0.07
L- Valine	-	-	-	-	0.08
Premix vit/Min <sup>a</sup>	0.50	0.50	0.47	0.45	0.50
<b>Calculated Nutritional Composition</b>					
Metabolizable energy, Kcal/kg	3.208	3.156	3.028	3.208	3.510
Crude Protein, %	14.49	14.33	13.92	14.49	18.59
Total fiber, %	2.81	3.32	8.22	2.81	2.72
Available Calcium, %	0.45	0.44	0.42	0.45	0.95
Total phosphorus, %	0.65	0.64	0.60	0.65	0.66
Available phosphorus, %	0.45	0.44	0.42	0.45	0.50
Lysine, %	0.65	0.64	0.61	0.65	1.00
Met+ Cys, %	0.42	0.41	0.38	0.42	0.55
Tryptophan, %	0.15	0.15	0.14	0.15	0.19
Threonine, %	0.46	0.45	0.42	0.46	0.65

<sup>a</sup> Composition of mineral and vitamin premix provided per kg of gestational diet: iodine 0.2 mg/kg; copper 17 mg/kg; iron 13 mg/kg; 16.7 mg/kg manganese; 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 2390 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.

The diets were evaluated for chemical composition at the Animal Nutrition Laboratory of the Federal University of Minas Gerais Veterinary School, Belo Horizonte, MG. The content of dry matter (DM) was determined in an oven at 105° (AOAC, method 934.01) and mineral matter (MM) by combustion at 600°C (AOAC, 1990, method 942.05). Organic matter (OM) was calculated as the difference in content before and after complete burning of the

sample (OM = 100-MM). The nitrogen in the samples was determined by the Kjeldahl method and its content was multiplied by 6.25 to calculate the crude protein (CP) (AOAC, 1990, method 991.20). The ether extract (EE) was determined by extracting substances soluble in petroleum ether for 8 hours using the Soxhlet method (AOAC, 1990, method 920.39). Neutral detergent fiber and acid detergent fiber concentrations were determined according to Van Soest et al. (1991) using the Ankom 200 fiber analyzer (Ankom Technology Corp, Fairport, NJ, USA).

## **2.2 Blood collection and analysis**

During gestation, blood samples were collected at d 112, one hour before and one hour after feeding, through jugular vein puncture using 40×1.2 mm needles. Blood samples collected were kept in tubes with sodium fluoride and centrifuged within 20 minutes after collection to obtain plasma, while blood samples collected in tubes without sodium fluoride were kept at room temperature for 2 h before centrifugation to obtain serum. Thus, plasma and serum were obtained by centrifugation at  $1500 \times g$  for 15 min at room temperature using a bench top centrifuge (80-2B; CentriBio) and stored at  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  until analysis. Pre and postprandial serum glycemia and creatinine, lactate, triglycerides, total proteins, pre and postprandial plasma cholesterol were analyzed using a specific analyzer (COBAS MIRA PLUS; Roche<sup>®</sup>) at Multilab-HV / UFMG, by means of commercial kits (Biotécnica<sup>®</sup>, MG, Brazil).

## **2.3 Sow and litter performance**

The litters were cross fostered within the same treatments after birth, considering the number of teats of the sows, and the piglets were assisted in such a way that they were guaranteed their first colostrum feedings. Oral lianol supplement and prolife energy supplement was provided at the end of farrowing for each piglet. Castration of piglets occurred at 7 days of age. Placental efficiency was measured using placental weight after complete expulsion divided by litter weight (Van Rens et al., 2005). The sows' milk production was estimated from the equation suggested by Noblet and Etienne (1989): milk production (Kg/day) =  $[(0.718 \times \text{piglet's daily weight gain (g)} - 4.9) \times \text{number of piglets}] / 0.19$ .

The sows were weighed at d 110 of gestation and 21 days after farrowing, and their litters were weighed at weaning to measure the weight loss of the sows as well as the weight

and weight gain of the piglets. The body score of the sows was evaluated using the Caliper. The individual feed consumption of 24 sows per treatment was measured during the lactation period, for that the feed leftovers were weighed at the end of each period to measure the daily feed intake.

For wean to estrus interval evaluation, the boar was taken daily in the morning and in the afternoon to the sow's pens. Those sows that showed a positive reflex of tolerance to the boar in the presence of them were considered in estrus.

## 2.4 Statistical analysis

Statistical analyzes were performed in SAS version 9.4 (SAS/STAT, SAS Institute Inc., Cary, NC). All data were tested for normality with the Shapiro-Wilk test, and any variables that did not follow the normal distribution were transformed using the SAS RANK procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The PROC RANK procedure with the NORMAL option was used to produce a normalized transformed variable. The farrowing kinetics and litter performance data were analyzed by the SAS MIXED procedure when significant by the T test ( $P < 0.05$ ). The least square means were compared by the Tukey test ( $P < 0.05$ ) and the following model was chosen:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij},$$

where  $Y_{ij}$  is an observation of unit  $j$  in treatment  $i$ ,  $\mu$  is the general mean,  $T_i$  is the effect of dietary treatment, and  $\varepsilon_{ij}$  is the random error.

Plasma concentrations of glucose, creatinine, lactate, triglycerides, protein, cholesterol and urea over time were analyzed by repeated measures using SAS PROC MIXED. The variance-covariance matrix was modeled with the unstructured option in SAS, the following model was chosen:

$$\gamma_{ijt} = \mu + a_i + d_{j(i)} + \gamma_t + (\alpha\gamma)_{it} + \varepsilon_{ijt},$$

where  $\gamma_{ijt}$  is the concentration of blood metabolite measured at time  $t$  on the  $j$ -th sow assigned to the  $i$ -th diet,  $\mu$  is the overall mean effect,  $a_i$  is the  $i$ -th effect of the fixed diet,  $d_{j(i)}$  is the random effect of the  $j$ -th sow in the  $i$ -th diet,  $\gamma_t$  is the fixed effect on the time the measurement was performed,  $[(\alpha\gamma)]_{it}$  is the fixed interaction effect between diet and time,  $\varepsilon_{ijt}$  the random error associated with the  $j$ -th sow assigned to the  $i$ -th diet at time  $t$ .

### 3 Results

There was no effect ( $P>0.05$ ) of different fiber sources on weight and body score of the sows at d 110 of gestation, as well as the weight and body score at weaning did not influence ( $P>0.05$ ) milk production, range weaning coverage and weight loss in lactation. The placental efficiency of sows fed with coffee husk was higher ( $P<0.05$ ) than those fed with soybean hulls, obtaining greater capacity for fetal nutrition via placenta (Table 3). The placental efficiency of sows fed with coffee husk was higher ( $P<0.05$ ) than those fed with soy hulls, obtaining greater capacity for fetal nutrition via placenta (Table 3).

Table 3. Effects of different fiber sources on the performance of sows during gestation and lactation.

Items	Treatments				SEM	<i>P-value</i>
	Control	Micronized citrus pulp	Soybean hull	Coffee husk		
Weight d 110 (kg)	283.1	277.1	278.1	280.2	6.32	0.523
Caliper score d 110	11.1	10.9	10.9	11.0	0.35	0.943
Weaning weight (kg)	253.1	248.2	249.8	250.7	7.32	0.756
Weaning Caliper score	10.77	10.4	10.6	10.2	0.32	0.415
Weight loss (%)	10.47	10.6	11.6	10.3	0.94	0.606
WEI (days)	3.85	3.7	3.8	3.9	0.14	0.934
Lactation feed intake (kg)	6.988	7.02	7.10	6.9	0.36	0.997
Farrowing duration (h)	7.4	7.5	7.8	7.9	21.38	0.636
Placental efficiency	5.2 ab	5.1 ab	4.9b	5.4a	0.18	0.023
Milk production (kg)	10.0	10.1	10.5	10.1	0.29	0.510

WEI=

On litter performance (Table 4), fiber sources affect only the number of stillborn and mummified piglets ( $P<0.05$ ). Soybean treatment was higher than the control group. The percentage of mummified piglets was higher ( $P<0.05$ ) in the group treated with soybean hulls (5.64%) when compared to those that received micronized citrus pulp (3.12%) and coffee husk (2.61%).

Table 4. Influence of different fiber sources on litter performance

Items	Treatments				SEM	<i>P-value</i>
	Control	Micronized citrus pulp	Soybean hull	Coffee husk		
Total births	18.19	18.30	18.47	17.62	0.64	0.573
Lived births	15.88	15.61	15.09	15.71	0.59	0.697
Stillbirths	1.08b	1.33 ab	2.72 a	1.29 ab	0.46	0.020
Mummified	3.75 ab	3.12 b	5.64 a	2.61 b	0.74	0.018
Total litter weight (kg)	21.89	22.44	22.30	21.86	0.74	0.862
Average birth weight (kg)	1.28	1.30	1.30	1.29	0.03	0.892
Average weaned piglet	6.38	6.44	6.30	6.23	0.11	0.644



weight (kg)						
Weaned piglets (n)	12.02	12.13	12.37	12.17	0.21	0.707
% piglets < 1 kg	25.78	25.03	27.95	23.87	2.57	0.105

Line means followed by distinct capital letters differ by Tukey's test with  $P < 0.05$ , SEM=standard error of the mean.

Serum concentrations of glucose, creatinine, lactate, triglycerides, total proteins, cholesterol, and urea were not influenced by treatments ( $P > 0.05$ ). However, in relation to time of collect, the concentration of glucose and triglyceride was higher in postprandial moment ( $P < 0.05$ ). Also, cholesterol concentration in the postprandial period was higher in pre-prandial moment ( $P < 0.05$ ) (Table 5).

Table 5. Influence of different fiber sources on blood parameters of sows at d 112 of gestation.

	Glucose (nmol/L)	Creatine ( $\mu$ mol/L)	Lactate (nmol/L)	Triglyc. (mg/L)	Protein (g/L)	Cholesterol (mg/dL)	Urea (nmol/L)
Fiber source							
Control	54.07	2.71	36.27	56.24	7.96	65.53	25.50
Citrus pulp	53.33	2.50	35.73	68.47	7.55	67.59	22.85
Soybean hull	54.53	2.56	38.85	70.26	8.07	61.62	25.74
Coffee Husk	55.39	2.59	35.38	71.99	7.70	65.76	24.70
Moment							
Pre-Prandial	48.75b	2.53	37.35	60.61b	8.05	67.74a	24.69
Postprandial	59.90a	2.65	35.76	72.88a	7.59	62.51b	24.71
<i>P-value</i>							
Fiber source	0.295	0.597	0.650	0.099	0.500	0.377	0.280
Moment	<0.001	0.147	0.795	0.003	0.090	0.004	0.755
Fiber*Moment	0.725	0.132	0.259	0.833	0.165	0.191	0.292
SEM	3.71	0.15	3.54	7.97	0.38	4.30	1.42

#### 4 Discussion

In general, the fiber sources studied in the present study showed similar results, without negatively affecting the performance of sows in the gestation phase, demonstrating that the use of coffee husk or micronized citrus pulp presents promising results as alternatives to be included in sow's diets.

The fiber sources used in commercial nutritional diets for pregnant and lactating sows differ from those analyzed in the present study, as soybean hulls and wheat bran are more commonly used as fiber sources. Therefore, the variation in the results from this trial and those obtained in the literature may be related to the fiber source used, the stage in which the animals are, and the period of adaptation to the diets supply (Li et al., 2021).

One of the advantages of using dietary fiber in sows' diets in the gestation period is the ability to promote body weight within the appropriate range for farrowing and provide greater

feed consumption in the lactation phase, and consequently better performance of the sow and litter. However, in the present study, there was no difference for sow performance during gestation and lactation, with the exception of placental efficiency, in diets containing fiber sources (soybean hulls, coffee husks and citrus pulp), when compared to the control diet, indicating that the control diet without fiber addition does not promote an alteration in sows performance if it is formulated to meet the maintenance requirement of the animals and if it is provided in the ideal amount, and that the inclusion of fiber sources in the diet it may not have been enough to have any effect.

This result agrees with similar studies that also evaluated the effects of including fiber in the gestation diets of sows, despite being different fiber sources (alfalfa bran, beet pulp, konjac flour), and also found no differences between treatments for weight gain (Krogh et al., 2015; Tan et al., 2017; Shang et al., 2021). But the work of Shang et al. (2021) showed that the inclusion of beet pulp in the gestation diet of sows was able to reduce their weight loss during the lactation period, unlike the current work, which may have happened due to the different profile of soluble and insoluble fibers present in the fiber sources of the two works, because the beet pulp is richer in soluble fibers, while the soybean hull, for example, is richer in insoluble fibers.

In contrast to the present study, Sun et al. (2015) and Tan et al. (2015) reported that fiber inclusion in gestation diets increased voluntary feed intake during lactation. This result is associated with the insulin sensitization effect that improved insulin sensitivity, colonic fermentation, and the generation of short-chain fatty acids (SCFA) exerts, especially through the production of acetate, which can modulate sensitivity to insulin, reducing the flow of fatty acids. In addition, it can act on the systemic circulation, reducing lipolysis and plasma concentrations of FFA and, thus, improving insulin sensitivity (Fernandes et al., 2012).

In a study evaluating more than one cycle, using konjac flour, Tan et al. (2015) observed increased feed intake at week 3 and days 1 to 21 of lactation compared to sows on the control diet ( $P < 0.05$ ). However, Quesnel et al. (2009) associate the consumption of fibrous diets during the gestation period with a reduction in the level of circulating leptin, a hormone secreted by adipose tissue that has a negative correlation with feed intake, what can explain why the sows of the current work did not improve their feed intake.

Dietary fiber may also be associated with maintenance of body condition during lactation, due to a possible increase in feed consumption (Tan et al., 2017, Sun et al., 2015, Li et al., 2020). This, in turn, ensures less catabolism effect on body reserves, allowing for an

efficient return to estrus. In review, Tian et al. (2020) mention that it is not common to observe effects of fiber sources inclusion on the return to estrus in sows. The return to cyclicity interval is directly related to the physical wear presented by the sow during the lactation period. According to Schenkel et al. (2010), sows can lose up to 10% of their body weight during lactation without any loss in subsequent reproductive performance and 90% of sows return to estrus between 3 and 5 days after weaning, values close to those observed in this work, but not enough to assure a difference between treatments in this case.

In the literature, there are studies on the inclusion of fiber in the diets of sows to evaluate the effects on milk production and composition. Leblois et al. (2018) analyzed the inclusion of 33% digestible starch (control) and 33% pea starch (resistant starch), on the fecal microbiota and milk composition in sows during pregnancy and lactation. At the end of the research, the authors concluded that the diet containing resistant starch provided the modulation of the fecal microbiota of sows during the gestation period, promoting an increase in the *Firmicutes:Bacteroidetes* ratio, in addition to a significant increase in bacteria of the genus *Bifidobacterium*, which are essential for a healthy microbiota, and consequently greater productive capacity of sows. However, in the lactation period of this work, the aforementioned effects were absent and there was no difference on milk quality. The use of fiber sources evaluated in the present study did not promote significant results on milk production, probably because the other performance parameters did not show any differences, and these parameters are correlated.

Placental efficiency, that is, the capacity for fetal nutrition, is extremely important during the gestation period, because it is through this mechanism that the sow passes on the nutrients necessary for the development of the fetus, what could be related to the performance of the neonate in the postpartum period Zhuo et al. (2017). In the present study, sows that consumed diets containing coffee hulls showed higher placental efficiency when compared to the control diet and the other fiber sources, while the sows that consumed soybean hull diets showed the lower placental efficiency, which is confirmed with the highest number of stillborns and mummifieds also presented in this treatment. Soybean hull may have reduced the digestibility of the diet to the point that the sows did not have enough nutrients to pass to the piglets.

Li et al. (2020), when using inulin, found an effect on the reduction of stillbirth rate. The fibrous fraction of soybean hulls with 5.6% of soluble fiber, when compared to the control diet based on corn and soybean meal (1.19 and 2.95% of soluble fiber, respectively),

can directly affect the intestinal transit speed, increasing the retention time of digesta in the gastrointestinal tract, delaying gastric emptying at farrowing, which may be related to a higher stillbirth rate. In this research the fiber source directly influenced the number of stillbirths. The control diet and the diets with citrus pulp and coffee husks showed lower stillbirth and mummified rate compared to the diet containing soybean hulls. Soybean hulls have about 70.69% insoluble fiber, when compared to citrus pulp (11.73%) and coffee husk (29%) (Pascoal and Watanabe, 2014). Insoluble fiber decreases digesta retention time and, consequently, nutrient absorption, which may be associated with a higher incidence of mummified piglets.

In this research, with respect to collection moment, the concentration of glucose, cholesterol, and triglycerides in the postprandial period were higher than in in pre-prandial period. This result was expected as the postprandial moment is followed by greater availability of circulating glucose. Fiber acts by delaying these nutrients absorption, in addition to altering the levels of insulin in the animals' blood (Xu et al., 2020). Authors such as Quesnel et al. (2009) observed a higher level of circulating glucose in sows fed diets with higher fiber content approximately up to 60 minutes after feeding, which was not observed in the present study, showing, again, that the fiber amount in the diets might not have been enough.

The drop in cholesterol in the postprandial period confirms the theories of Guinness et al. (2016) that the retention of cholic acid (present in bile) in the sow's digesta is due to the adsorption effect produced by fiber sources (it has greater significance in pectic fibers, such as the predominant one in citrus pulp). Cholic acid eliminated in the feces implies endogenous mobilization of cholesterol for the synthesis of this substance, since it is the biochemical precursor). The use of fiber in the diet is closely related to a drop in blood cholesterol measured for this reason.

The creatinine and lactate concentrations did not show significant results, these parameters are directly related to the increase in muscle catabolism and carbohydrate metabolism (Pang and Boisen, 2007). As observed in the present study, the non-occurrence of difference for these parameters can be justified by the absence of difference in the weight and body score of the sows at d 110 of gestation. Total proteins and urea are directly linked to dietary protein consumption and metabolism (González and Silva 2006). As the animals were fed maintaining the same energy/lysine ratio and by the performance data of the sows at 110 days of gestation, this result was expected

## **5. Conclusion**

The fiber sources did not change the reproductive and productive parameters and blood metabolites of the sows. Therefore, fibers from soybean hull, coffee husk and micronized citrus pulp can be used in the pregnant sows diets without compromising their performance.

## **Declaration of Funding**

This research did not receive any specific funding

## **Conflicts of interest**

The authors declare no conflicts of interest.

## **Data Availability Statement**

The data that support this study will be shared upon reasonable request to the corresponding author.

## **Acknowledgment**

The authors acknowledge the assistance of Vaccinar - Indústria de Nutrição e Saúde Animal for the support given to the research. We also wish to acknowledge the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for providing funds for scholarship.

## 6 References

- Association of Official Analytical Chemists - AOAC. 1990. Official methods of analysis of AOAC International. 15 th ed. AOAC International. Arlington, VA.
- Cheng C, Wei H, Xu C, Xie X, Jiang S, Peng J (2018). Maternal soluble fiber diet during pregnancy changes the intestinal microbiota, improves growth performance, and reduces intestinal permeability in piglets. *Applied and Environmental Microbiology* **84**, 2511-2529.
- Faustino TF, Silva NCD, Leite RF, Florentino LA, Rezende AV (2020) Utilização de grão de milho reidratado e casca de café na alimentação animal. *Revista Científica Rural* **22**, 259-275.
- Fernandes J, Vogt J, Wolever TM (2012) Intravenous acetate elicits a greater free fatty acid rebound in normal than hyperinsulinaemic humans. *European Journal of Clinical Nutrition* **66**, 1029–1034.
- González FJD and Silva SC (2006) Introdução à bioquímica clínica veterinária. 2.ed. Porto Alegre.
- Gunness P, Williams BA, Gerrits WJ, Bird AR, Kravchuk O, Gidley MJ (2016) Circulating triglycerides and bile acids are reduced by a soluble wheat arabinoxylan via modulation of bile concentration and lipid digestion rates in a pig model. *Molecular nutrition and food research* **60**, 642-651.
- Knauer MT. and Baitinger DJ (2015) The sow body condition caliper. *Applied Engineering in Agriculture* **31**, 175-178.
- Krogh U, Bruun TS, Amdi C, Flummer C, Poulsen J, Theil PK (2015) Colostrum production in sows fed different sources of fiber and fat during late gestation. *Canadian Journal of Animal Science* **95**, 211-223.
- Leblois J, Massart S, Soyeurt H, Grelet C, Dehareng F, Schroyen M, Wavreille J, Bindelle J, Everaert N (2018) Feeding sows resistant starch during gestation and lactation impacts their faecal microbiota and milk composition but shows limited effects on their progeny. *Plos One* **13**, 1-22.
- Li H, Liu Z, Lyu H, Gu X, Song Z, He X, Fan Z (2020a) Effects of dietary inulin during late gestation on sow physiology, farrowing duration and piglet performance. *Animal Reproduction Science* **219**, 1-9.
- Li Y, Liu H, Zhang L, Yang Y, Lin Y, Zhuo Y, Fang Z, Che L, Feng B, Xu S, Li J, Wu D (2020b) Maternal dietary fiber composition during gestation induces changes in offspring antioxidative capacity, inflammatory response, and gut microbiota in a sow model. *International Journal of Biological Macromolecules* **21**:31-49.
- Li H, Yin J, Tan B, Chen J, Zhang H, Li Z, Ma X (2021a) Physiological function and application of dietary fiber in pig nutrition: A review. *Animal Nutrition* **7**, 259–267.

- Li Y, He J, Zhang L, Liu H, Cao M, Lin Y, Xu S, Fang Z, Che L, Feng B, Jiang X, Li J, Zhuo Y, Wu D (2021b) Effects of dietary fiber supplementation in gestation diets on sow performance, physiology and milk composition for successive three parities. *Animal Feed Science and Technology* **276**, 1-11.
- Martinez CLMM, Saari J, Melo Y, Cardoso M, Almeida GMA, Vakkilainen E (2021) Evaluation of thermochemical routes for the valorization of solid coffee residues to produce biofuels: A Brazilian case. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **137**:1-18.
- Mou D, Li S, Yan C, Zhang Q, Li J, Wu Q, Qiu P, He Y, Li Y, Liu H, Jiang X, Zhao X, Zhuo Y, Feng B, Lin Y, Fang Z, Xu S, Li J, Che L, Wu D (2020) Dietary fiber sources for gestation sows: Evaluations based on combined *in vitro* and *in vivo* methodology. *Animal Feed Science and Technology* **296**, 141-161.
- Nascimento RR, Zidiotti GR, Pittarelli BFS, Silva GAR, Myoshi JH, Nascimento MG, Klososki, SJ (2020) Estudo dos pontos críticos de controle em linha de produção industrial de suco de laranja na região noroeste do Paraná. *Brazilian Journal of Development* **6**, 20831-20849.
- Noblet J and Etienne M (1986) Effect of energy level in lactating sows on yield and composition of milk and nutrient balance of piglets. *Journal of Animal Science* **63**, 1888-1896.
- Pang DS. and Boysen S (2007) Lactate in veterinary critical care: pathophysiology and management. *Journal of the American Animal Hospital Association* **43**, 270-279.
- Parra ARP, Moreira I, Furlan AC, Paiano D, Scherer C, Carvalho PLO (2008) Utilização da casca de café na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia* **37**, 433-442.
- Pascoal LAF and Watanabe PH (2014) *Fibra dietética na nutrição de suínos*. In: Sakomura, N.K., Silva, J.H.V., Costa, F.G.P., Fernandes, J.B.K., Hauschild, L. Nutrição de não ruminantes. 1ª edição. Jaboticabal – SP, Brasil.
- Quesnel H, Meunier-Salau NMC, Hamard A, Guillemet R, Etienne M, Farmer C, Dourmad JY, Pere MC (2009) Dietary fiber for pregnant sows: Influence on sow physiology and performance during lactation. *Journal of Animal Science* **87**, 532-543.
- Rostagno HS, Albino LFT, Hannas MI, Donzele JL, Sakomura NK, Perazzo FG, Saraiva A, Abreu MLT, Rodrigues PB, Oliveira RT, Barreto SL, Barreto LT, Brito CO (2017) *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*, 4ª edição. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, Viçosa - MG, Brasil.
- Schenkel AC, Bernardi ML, Bortolozzo FP, Wentz I (2010) Body reserve mobilization during lactation in first parity sows and its effect on second litter size. *Livestock Science* **132**, 165-172.

- Shang Q, Liu H, Liu S, He T, Piao X (2019) Effects of dietary fiber sources during late gestation and lactation on sow performance, milk quality, and intestinal health in piglets. *Journal of Animal Science* **97**, 4922-4933.
- Shang Q, Liu S, Liu H, Mahfuz S, Piao X (2021) Impact of sugar beet pulp and wheat bran on serum biochemical profile, inflammatory responses and gut microbiota in sows during late gestation and lactation. *Animal Feed Science and Technology* **12**, 1-14.
- Sun HQ, Tan CQ, Wei HK, Zou Y, Long G, Ao JT, Xue HX, Jiang SW, Peng J (2015) Effects of different amounts of konjac flour inclusion in gestation diets on physio-chemical properties of diets, postprandial satiety in pregnant sows, lactation feed intake of sows and piglet performance. *Animal Reproduction Science* **152**, 55–64.
- Tan C, Wei H, Ao J, Long G, Peng J (2015) Inclusion of konjac flour in the gestation diet changes the gut microbiota, alleviates oxidative stress, and improves insulin sensitivity in sows. *Applied and Environmental Microbiology* **82**, 5899–5909.
- Tan CQ, Sun HQ, Wei HK, Tan JJ, Long G, Jiang SW, Peng J (2017) Effects of soluble fiber inclusion in gestation diets with varying fermentation characteristics on lactational feed intake of sows over two successive parities. *Animal* **12**, 1388–1395.
- Tian M, Chen J, Liu J, Chen F, Guan W, Zhang S (2020) Dietary fiber and microbiota interaction regulates sow metabolism and reproductive performance. *Animal Nutrition* **6**, 397–403.
- Van Rens BTTM, De Koning G, Bergsma R, Van Der LT (2005) Prewaning piglet mortality in relation to placental efficiency. *Journal of Animal Science* **83**, 144–151.
- Van Soest PV, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* **74**, 3583–3597.
- Williams BA, Mikkelsen D, Flanagan BM, Gidley MJ (2019) Dietary fibre: moving beyond the “soluble/insoluble” classification for monogastric nutrition, with an emphasis on humans and pigs. *Animal Feed Science and Technology* **10**, 45-57.
- Xu C, Cheng C, Zhang X, Peng J (2020) Inclusion of soluble fiber in the gestation diet changes the gut microbiota, affects plasma propionate and odd-chain fatty acids levels, and improves insulin sensitivity in sows. *International Journal of Molecular Sciences* **21**, 635-649.
- Yu M, Gao T, Liu Z, Diao X (2020) Effects of dietary supplementation with high fiber (stevia residue) on the fecal flora of pregnant sows. *Animals* **10**, 12, 2247-2265.
- Zhuo Y, Shi X, Lv G, Hua L, Zhou P, Che L, Fang Z, Lin Y, Xu S, Li J, Feng B, Wu D (2017) Beneficial effects of dietary soluble fiber supplementation in replacement gilts: Pubertal onset and subsequent performance. *Animal Reproduction Science* **186**, 11–20.