

ISABELA OLIVEIRA FRANK

**USO DE ABSORCIOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA (DEXA) PARA
PREDIÇÃO DE GORDURA TOTAL E INTRAMUSCULAR EM AMOSTRAS DE
Lombo Suíno**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Cristina Mattos Veloso

Coorientador: Mario Luiz Chizzotti

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Frank, Isabela Oliveira, 1997-
F828u Uso de absorciometria de raios-x de dupla energia (DEXA)
2023 para predição de gordura total e intramuscular em amostras de
 lombo suíno / Isabela Oliveira Frank. – Viçosa, MG, 2023.
 1 dissertação eletrônica (26 f.): il.

 Orientador: Cristina Mattos Veloso.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
 Departamento de Zootecnia, 2023.
 Referências bibliográficas: f. 24-26.
 DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.672>
 Modo de acesso: World Wide Web.

 1. Carne de porco - Teor de gordura. 2. Carne de porco -
 Qualidade. 3. Análise de regressão. I. Veloso, Cristina Mattos,
 1968-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
 Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.
 III. Título.

CDD 22. ed. 636.4


ISABELA OLIVEIRA FRANK

**USO DE ABSORCIOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA (DEXA)
PARA PREDIÇÃO DE GORDURA TOTAL E INTRAMUSCULAR EM AMOSTRAS
DE LOMBO SUÍNO**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de julho de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 ISABELA OLIVEIRA FRANK
Data: 27/10/2023 12:43:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Isabela Oliveira Frank
Autora

Documento assinado digitalmente
 CRISTINA MATTOS VELOSO
Data: 27/10/2023 13:17:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cristina Mattos Veloso
Orientadora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me guiado em todos os momentos da minha vida, por ter me concedido força e saúde nos momentos difíceis, luz, discernimento e sabedoria nas minhas escolhas.

Aos meu pais, Alessandra e Vitor, e meus avós por todo o amor, zelo e ajuda, por terem se mantido presentes, mesmo que à distância. Agradeço, também, ao meu melhor amigo e namorado, Mozart, pelo companheirismo e compreensão.

A todos os meus familiares e amigos, por me acompanharem e apoiarem em mais uma conquista. À minha irmã, companheira de casa, e amiga de profissão, Elisa, por tantos momentos intensos nesses últimos dois anos. Bem como a todos os colegas da pós que fiz, à turma do Laboratório de Ciência da Carne, que me ensinaram tantas coisas, em especial à Cris, Jeni, Nath, Pams e Rizi, que compartilharam comigo momentos de desespero e de alegria, que deixarão saudades e sempre estarão presentes na minha memória.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação. Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao corpo docente e funcionários do Departamento de Zootecnia (DZO) da UFV, pelos conhecimentos e aprendizados adquiridos. A Prof^ª Melissa Hannas, juntamente com o Laboratório de Composição Corporal e Densitometria (LCCD), ao Prof. Edenio Detman e demais funcionários do Laboratório de Nutrição Animal (LNA), pela parceria e ajuda. A Prof^ª. Erica Shultz, pela colaboração na análise de dados. E, em especial, à Prof^ª. Cristina Veloso, que com seu jeito “mãezona” me orientou neste trabalho da melhor maneira possível, ao Prof. Mario Chizzotti, pela troca de ideias e coorientação, que são profissionais pelos quais tenho grande admiração e respeito.

A todos, meu muito obrigada!

RESUMO

FRANK, Isabela Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2023. **Uso de absorciometria de raios-X de dupla energia (DEXA) para predição de gordura total e intramuscular em amostras de lombo suíno.** Orientadora: Cristina Mattos Veloso. Coorientador: Mario Luiz Chizzotti.

Com o presente estudo, objetivou-se validar os resultados de predição de gordura total e intramuscular em amostras de lombo suíno, gerados pela absorciometria de raios-X de dupla energia (DEXA), com as análises químicas de matéria seca (MS) e extrato etéreo (EE), utilizadas como padrão ouro. Foram utilizadas amostras de lombo suíno, com ~2,5 cm de espessura, provenientes de 148 animais, de classe sexual, idade e genética desconhecidos. Esses animais foram abatidos por um mesmo frigorífico, no mesmo dia. Essas amostras foram utilizadas para as varreduras no equipamento DEXA, com a gordura subcutânea (GS) e sem a GS, e posteriores análises de MS e EE. A amostra sem GS, utilizada para avaliação da gordura intramuscular (GI), apresentou menor desvio padrão, principalmente nas medidas de %Gordura predita no DEXA (1,411), teor de gordura - EE (1,007), %MS (0,999) e %EEMN (0,858). As predições no DEXA superestimaram os valores de gordura, tanto da gordura total (GT) como da GI. A %MS, %EEMS e %EEMN correlacionaram-se com a massa gorda predita no DEXA ($r=0,661$, $r=0,675$ e $r=0,686$) e com a predição de %Gordura ($r=0,567$, $r=0,603$ e $r=0,621$), na amostra inteira. Não houve correlação significativa com a %MS, %EEMS e %EEMN com a massa gorda e % de GI no DEXA. Houve correlação do peso da GI do DEXA com o peso da GI analisada ($r=0,513$), porém esse valor está abaixo do encontrado na GT ($r=0,821$). Não houve correlação significativa entre a % de GI do DEXA com o peso da GI analisada ($r=0,169$). Para a GT, o DEXA apresentou uma precisão razoável, com o coeficiente de determinação de $R^2=0,655$, o que não foi observado para GI ($R^2=0,3207$). As métricas RMSE e MAE foram altas, sendo RMSE =10,8513 e MAE= 9,7259 para a GT e, RMSE= 7,9535 e MAE= 7,6967 para GI. Em conclusão, demonstrou-se que as predições de GT foram mais satisfatórias que as de GI em amostras de lombo suíno, pelo equipamento DEXA, com base no coeficiente de determinação (R^2). Todavia, ambos apresentaram altas estimativas de erro, para a configuração e calibragem utilizadas. Logo, novos trabalhos deverão ser feitos, com diferentes modelos de calibração, para suprir os bancos de dados em amostras pequenas e com alta variabilidade de conteúdo de gordura, e melhorar a precisão e acurácia do modelo.

Palavras-chave: Extrato etéreo. Qualidade de carne. Regressão linear.

ABSTRACT

FRANK, Isabela Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2023. **The use of dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) for predicting total and intramuscular fat in pork loin samples.** Adviser: Cristina Mattos Veloso. Co-adviser: Mario Luiz Chizzotti.

The aim of this study was to validate the prediction results of total and intramuscular fat in pork loin samples, generated by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA), with chemical analyzes of dry matter (DM) and extract ethereal (EE) used as the gold standard. A total of 148 pork loin samples, each measuring 2.5 cm in thickness, were utilized for this study. The samples came from animals of unknown sex class, age, and genetics, but were all processed in the same slaughterhouse on the same day. Samples were subject to DEXA scans, both with subcutaneous fat (SF) and without SF, and subsequent DM and EE analyses were performed. Samples without SF, used to evaluate intramuscular fat (IMF), presented a lower standard deviation, especially in the measurements of %Fat predicted by DEXA (1.411), fat content (1.007), %DM (0.999) and %EENM (0.858). DEXA predictions overestimated fat values, both total fat (TG) and IMF. Correlations were observed between %DM, %EEDM, and %EENM with the DEXA predicted fat mass and %Fat ($r=0.661$, $r=0.675$ and $r=0.686$) and with the prediction of %Fat ($r=0.567$, $r=0.603$ and $r=0.621$), in the entire sample. There was no significant correlation with %DM, %EEDM and %EENM with fat mass and IMF% in DEXA. There was a correlation between the DEXA IMF weight and the analyzed IMF weight ($r=0.513$), but this value is below that found in TF ($r=0.821$). There was no significant correlation between the DEXA %IMF and the IMF weight ($r=0.169$). For TF, DEXA showed reasonable precision, with a coefficient of determination of $R^2=0.655$, which was not observed for IMF ($R^2=0.3207$). The RMSE and MAE metrics were high, with RMSE = 10.8513 and MAE = 9.7259 for TF and RMSE = 7.9535 and MAE = 7.6967 for GI. In conclusion, it was demonstrated that TF predictions were more satisfactory than GI predictions in pork loin samples, using the DEXA equipment, based on the coefficient of determination (R^2). However, both presented high error estimates for the configuration and calibration used. Therefore, additional studies must be carried out, with different calibration models, to supply the databases with small samples and with high variability in fat content to improve the precision and accuracy of the model.

Keywords: Ether extract. Linear regression. Meat quality.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
AG	Ácido graxo
AMSA	American Meat Science Association
ASA	Amostra seca ao ar
ASE	Amostra seca em estufa
DEXA	Absorciometria de raios-X de dupla energia
EE	Extrato etéreo
EECG	%EE das amostras inteiras
EESG	%EE das amostras sem gordura subcutânea
FC	Força de cisalhamento
GI	Gordura intramuscular
GS	Gordura subcutânea
GT	Gordura total
Kgf	Quilograma-força
LCC	Laboratório de Ciência da Carne
LCCD	Laboratório de Composição Corporal e Densitometria
MAE	Erro médio absoluto
MN	Matéria natural
MMagra	Massa magra
MS	Matéria seca
NPPC	National Pork Producer's Council
pH	Potencial hidrogeniônico
R ²	Coefficiente de determinação
RM	Ressonância magnética
RMSE	Quadrado médio do erro
TC	Tomografia computadorizada
UE	União Europeia
US	Ultrassonografia
USDA	United States Department of Agriculture
VIA	Imagens visuais por monitoramento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Carne suína e sua composição	10
2.2 DEXA	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Local e amostras	13
3.2 DEXA e Análises químicas	13
3.3 Análises estatísticas	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5. CONCLUSÃO	22
6. REFERÊNCIAS.....	24

1. INTRODUÇÃO

O teor de gordura da carne suína é um parâmetro importante para a decisão de compra dos consumidores. A quantidade de gordura na carne está interligada às propriedades de qualidade, como sabor, suculência e determinação de tempo de prateleira (oxidação de lipídeos e pigmentos) (SÃO JOSÉ, 2022). No entanto, este e os demais componentes do produto, não são fornecidos de forma precisa nos rótulos, uma vez que as empresas colocam a composição média do lote, em vez da composição de cada embalagem individual (ELMASRY et al., 2021). Dessa forma, apenas uma rotulagem nutricional precisa permitiria ao consumidor escolher os alimentos de acordo com as suas necessidades e/ou preferências. (GIRÓ-CANDANEDO et al., 2023).

Atualmente, empresas de melhoramento genético suíno selecionam animais com características para menor deposição de gordura subcutânea (GS) na carcaça e maior deposição de gordura intramuscular (GI) (marmoreio), tornando a carne produzida mais saborosa e aceita pelos consumidores, além de agregar valor ao produto (SOLADOYE et al., 2016).

Uma série de análises laboratoriais é necessária para se conhecer a composição dos cortes, incluindo a análise de gordura, que costuma ser laboriosa, onerosa e susceptível a diversos erros (XIE et al., 2021). As tecnologias não invasivas ganharam popularidade e tornaram-se boas candidatas e opções viáveis para serem implementadas para caracterização on-line na indústria alimentícia. Estas tecnologias podem medir rapidamente a composição e as características dos alimentos sem afetar a integridade do produto (GIRÓ-CANDANEDO et al., 2023)

Para reduzir os problemas encontrados nas metodologias de análise de composição laboratorial, aumentar a velocidade e confiabilidade dos resultados, e até mesmo fornecer uma rotulagem precisa nos cortes que atenda melhor às necessidades dos consumidores, o uso de equipamentos modernos, eletromagnéticos e de imagem, como absorciometria de raios-X de dupla energia (DEXA) vem se tornando um excelente instrumento para viabilizar essas análises (SCHOLZ et al., 2015).

A DEXA destaca-se devido ao baixo nível de radiação ionizante (~0,01) (SUSTER et al., 2003) e menor custo, comparado a outros equipamentos, como o caso da tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM) (CARABÚS; GISPERT; FONT-I-FURNOLS, 2016). A distribuição dos feixes do raio X de dupla energia pode ser dada de duas

formas, dependendo do modelo e fabricante, apresentando diferenças na velocidade e precisão da varredura. Ao final do escaneamento de carcaças e/ou cortes primários no equipamento de DEXA, obtêm-se, no *software* do equipamento, valores estimados, em peso e porcentagem, da massa magra, gordura e componente ósseo do material analisado. No entanto, é necessário que eles passem por uma validação que determine a precisão, usando valores obtidos por análises químicas ou dissecação.

Logo, no presente estudo, foi levantada a hipótese de que o equipamento DEXA é capaz de prever a quantidade de gordura total (GT) e intramuscular (GI) em amostras de lombo suíno, substituindo as análises convencionais químicas e podendo ser viabilizado para uma rotulagem de precisão. Desta forma, o objetivo, com o estudo, foi validar os resultados de gordura e massa magra de amostras de lombo suíno, gerados pela DEXA e comparar com as análises químicas, utilizadas como padrão ouro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Carne suína e sua composição

A carne suína é umas das mais produzidas e consumidas no mundo. No Brasil, segundo o Relatório Anual de 2023 da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), em 2022, foram produzidas 4,983 milhões de toneladas de carne suína.

A composição dos cortes e a avaliação do rendimento de carne magra desempenham um papel importante na escolha dos consumidores e na determinação do valor de mercado (SOLADOYE et al., 2016). No Brasil, os frigoríficos de grande e médio porte costumam utilizar sistemas para classificação de carcaça suína, com a geração de equações que preveem a proporção de músculo e gordura na carcaça (BERTOL et al., 2017). Para tais equações e classificações, são utilizados os seguintes parâmetros: rendimento da carcaça e dos cortes, mensuração de área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EGS) e escore de marmoreio subjetivo, sendo este último analisado com o auxílio de fichas de escore, seguindo os padrões desenvolvidos pela National Pork Producer's Council (NPPC), que segue a seguinte escala: 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10, na qual o 1 representa um bife sem marmoreio e 10 um bife extremamente marmorizado. Outra forma, considerada mais rápida e eficiente, utilizadas por grandes frigoríficos, são as pistolas eletrônicas, que não conseguem mensurar a gordura do marmoreio, mas, por infravermelho, diferenciam a proporção de carne e gordura subcutânea (BRIDI; DA SILVA, 2009).

Em alguns países, em especial na União Europeia (UE), existem sistemas de classificação para carcaças suínas, a fim de melhorar a qualidade da carne e padronizar a remuneração para os suinocultores. Esse sistema de classificação baseia-se no percentual de massa magra na carcaça, com uso de dispositivos para medir e prever, por meio de equações, a quantidade de tecidos muscular e adiposo (LEBRET; ČANDEK-POTOKAR, 2022). Dentre os principais métodos utilizados para tal, destacam-se as análises de imagem. Entretanto, estas devem atender às exigências regulamentadas pela UE a respeito da precisão do método utilizado (POMAR et al., 2009).

No sistema europeu de classificação, os principais atributos considerados são peso ao abate, rendimento da carcaça e a proporção de carne magra e gordura. Já o sistema americano usa a Categoria USDA, que, com os dados de rendimento dos principais cortes suínos, como paleta, copa, lombo e pernil, faz-se a tipificação (ALEXANDRINO et al., 2020).

Quando se trata da parte nutricional, a carne suína é uma excelente fonte de aminoácidos, vitaminas D e do complexo B (B1, B2, B6 e B12), além de minerais essenciais, de alta biodisponibilidade (LEBRET; ČANDEK-POTOKAR, 2022). Com relação à quantidade e qualidade da gordura, ela é composta, majoritariamente, por ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados. A gordura intramuscular (GI) pode variar de 1 a 10% do peso muscular (SCHWOB et al., 2020), sendo o perfil de GI e gordura subcutânea (GS) dependentes do genótipo, sexo e, principalmente, da dieta dos suínos (WOOD et al., 2008).

A GS pode ser dividida em duas camadas, sendo a externa, em sua maior parte, composta por água e proteína, comparada à gordura interna, por conta das diferenças lipogênicas (POKLUKAR et al., 2020). Além da diferença com relação à composição de água e proteínas, a GS possui mais ácidos graxos poli-insaturados comparada à GI, que possui maior porcentagem de ácidos graxos saturados e monoinsaturados (WOOD et al., 2008).

Comumente, a GI é quantificada por análises físico-químicas e subjetivas. As análises químicas podem ser realizadas pelos métodos de extração Soxhlet, Randall (DETMAN *et al.*, 2021) ou, mais recentemente, com a extração de alta temperatura, utilizando o equipamento ANKOM XT15, que é uma técnica mais rápida, comparada às demais (SEENGER et al., 2008). Já as análises subjetivas são feitas por meio da classificação da pontuação de marmoreio, que deve ser feita por avaliadores qualificados. Entretanto, ainda que por profissionais qualificados, interferências no resultado da classificação, devidas à fadiga visual e preferências, por exemplo, ainda ocorrem (XIE et al., 2021).

2.2 DEXA

Uma vez que as análises de composição química de carnes são destrutivas e laboriosas, uma série de equipamentos e metodologias estão sendo adaptados para que se consiga resultados sem perda de amostras, de fácil manejo e com precisão confiável. Dentre os principais equipamentos, destacam-se: tomografia computadorizada (TC), ultrassonografia (US), ressonância magnética (RM), imagens visuais por monitoramento (VIA) e absorciometria de raios X de dupla energia (DEXA). Comparado aos demais equipamentos, a DEXA apresenta baixa energia de radiação ionizante, mais fácil manipulação e custo mais acessível, comparada à TC e à RM (CARABÚS; GISPERT; FONT-I-FURNOLS, 2016).

A DEXA usa a tecnologia de escâner *pencil-beam* e *flash-beam*, que consistem na distribuição de feixes eletromagnéticos de raio X de dupla energia. O primeiro faz uma varredura mais lenta, porém com maior precisão, enquanto o segundo possui alta velocidade de varredura. Além disso, conforme o fabricante, existem diferentes abordagens para criar níveis de alta ou baixa energia de raios X (CARABÚS; GISPERT; FONT-I-FURNOLS, 2016). Logo após o escaneamento das peças dispostas na DEXA, as estimativas percentuais e de peso de massa magra, massa gorda e componente ósseo são geradas pelo *software*, bem como imagens de densidade dos componentes analisados em 2D (CARABÚS; GISPERT; FONT-I-FURNOLS, 2016).

Por conta dessas características, a DEXA tornou-se uma proposta viável no que tange à quantificação dos componentes de tecido animal (ósseo, magro e gordo). Todavia, para essa quantificação, é necessária uma validação cruzada para determinar a precisão das estimativas geradas pelo *software*, que, no caso, pode ser realizada por métodos químicos ou dissecação de carcaças. Com os dados estimados e a validação, conseguem-se fazer equações de predição (LEBRET; ČANDEK-POTOKAR, 2022). Com isso, em vários trabalhos com carcaças e cortes primários, sejam de bovinos, suínos, ovinos ou aves, tem-se utilizado essa metodologia para estudos com composição e rendimento (CARABÚS; GISPERT; FONT-I-FURNOLS, 2016).

Soladoye *et al.* (2016) avaliaram a precisão de predição de valores gerados pela DEXA, de quantidade de gordura e massa magra, de carcaças e cortes primários (barriga, lombo, pernil e paleta), usando suínos de diferentes raças, idades, classe sexual, alimentação e peso ao abate. Os autores obtiveram resultados satisfatórios, com alto coeficiente de determinação (R^2).

Em outro estudo, Nunes *et al.* (2023) mostraram que o teor de marmoreio pode influenciar no desempenho de predição do teor de gordura feito pela DEXA, uma vez que a

predição foi melhor em amostras de bife Angus do que em amostras de bifos Nelore, ou seja, amostras com alto e baixo conteúdo de gordura, respectivamente.

Concomitantemente ao uso de equipamentos DEXA de gerações mais atualizadas, novos protótipos têm sido estudados em linhas de abate, os quais realizam a varredura com maior precisão, utilizando valores da razão entre as atenuações de fótons de energia alta e baixa do equipamento, e rapidez, alcançada pelo detector de dois fotodiodos, separados por um filtro de cobre (CALNAN et al., 2021). No trabalho de Calnan *et al.* (2021), foi utilizado esse protótipo para prever a gordura de carcaças e quartos bovinos, comparando com a composição fornecida por tomografia computadorizada (TC), e obtiveram altos valores para precisão de predição de gordura, com R^2 de 0,94 no dianteiro e laterais, e 0,80 no traseiro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e amostras

O experimento foi conduzido no Laboratório de Ciência da Carne (LCC) e no Laboratório de Composição Corporal e Densitometria (LCCD) do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

Foram utilizadas amostras de lombo suíno (*Longissimus lumborum*) de 148 animais, provenientes de granjas comerciais, com aproximadamente 2,5 cm de espessura, de classe sexual, idade e genética indeterminados. Esses animais foram abatidos por um mesmo frigorífico, no mesmo dia. As amostras foram escaneadas no equipamento DEXA e, posteriormente, foram realizadas as análises de matéria seca (MS) e extrato etéreo (EE).

3.2 DEXA e Análises químicas

As amostras foram identificadas, pesadas e dimensionadas (largura x comprimento x altura) congeladas, antes de serem escaneadas. Estes dados foram necessários para preencher o *software* GE Healthcare enCORE, versão 18, tendo sido necessário selecionar a configuração no modo “*Small Animal*” (KIPPER et al., 2019). Em seguida, as amostras foram escaneadas, ainda congeladas, em um equipamento DEXA médico (GE Healthcare, *Lunar Prodigy Advance*, EUA), já calibrado de acordo com as indicações do fabricante, no LCCD da UFV. Foi possível escanear até 20 amostras por varredura, sendo que o *software* de leitura forneceu

os resultados para peso total de tecido (g), peso de tecido adiposo (g), peso de tecido magro (g) e teor de gordura (%) por amostra, após cada varredura.

Posteriormente, a GS foi retirada e as amostras foram, novamente, pesadas e escaneadas no DEXA, para prever somente a GI. Após o escâner sem a GS, as amostras foram preparadas para serem levadas ao liofilizador (Liobras, modelo LP510, São Carlos, SP, Brasil). Pesaram-se as amostras antes e após a liofilização, para os cálculos de amostra seca ao ar (ASA). As amostras liofilizadas, foram trituradas em liquidificador doméstico, com auxílio de nitrogênio líquido, para seguir com as análises de MS e EE.

$$MN = (Tara + MN) - Tara$$

$$ASA = (Tara + ASA) - Tara$$

$$\% ASA = \frac{ASA}{MN} * 100$$

Com o auxílio de uma balança analítica e de pesa-filtros, limpos, secos em estufa e pesados, aproximadamente 2 g da amostra liofilizada de cada amostra foram pesadas e condicionadas no pesa-filtro. Os pesa-filtros, com as tampas abertas, permaneceram por 16 horas em estufa a 105 °C. Terminada a secagem em estufa, os pesa-filtros foram fechados e colocados em um dessecador para estabilização da temperatura com a temperatura ambiente e posterior pesagem para obtenção dos cálculos de MS. Com os dados de peso inicial (ASA) e final, após a secagem em estufa (ASE), obtém-se a porcentagem de MS das amostras, conforme a fórmula abaixo, descrita por Detmann et al. (2021):

$$ASE = (PF + ASE) - PF$$

$$\% ASE = \frac{ASE}{ASA} * 100$$

$$\% MS = \frac{\%ASA * \%ASE}{100}$$

Em que: ASE é a amostra seca em estufa (g); PF é o peso do pesa-filtro (g); %ASE é o percentual de ASE e %MS é o percentual de matéria seca.

Para a análise de EE, foi utilizado o extrator ANKOM XT15 (ANKOM Technology, Macedon, NY, EUA), que utiliza éter de petróleo como solvente. Foi pesado aproximadamente

0,7 g de amostra liofilizada, nos sacos filtro Ankom XT4, que foram selados e levados ao equipamento. Após 40 minutos de extração, colocaram-se os saquinhos em uma estufa a 105 °C, por uma hora, para secagem total do resíduo do extrator (éter de petróleo). Usando os dados de diferença de peso inicial, antes da extração, e final, após extração e secagem na estufa, obteve-se a %EE da GS e das amostras sem a gordura subcutânea (BSGS), a partir das seguintes equações (DETMANN, 2021):

$$EE = (ASA + XT4)_{inicial} - (ASA + XT4)_{final}$$

$$\%EE_{ASA} = \frac{EE}{ASA} * 100$$

$$\%EE_{MS} = \frac{\%EE_{ASA}}{\%ASE} * 100$$

$$\%EE_{MN} = \frac{(\%ASA * \%EE_{ASA})}{100}$$

Os mesmos processos foram feitos com a GS das amostras. A diferença de peso entre o peso da amostra inteira (BI) e o peso da amostra sem a GS (BSGS) foi usada para obter o peso da GS. Para os cálculos de peso de EE e %EE na MN das amostras inteiras (BI), foram usadas as seguintes fórmulas:

$$GS(g) = \text{peso BI} - \text{peso BSGS}$$

$$EE_{BSGS}(g) = \text{peso BSGS}(g) * \%EE_{MN} \text{ BSGS}$$

$$EE_{GS}(g) = \text{peso GS}(g) * \%EE_{MN} \text{ GS}$$

$$EE_{BI}(g) = EE_{BSG}(g) + EE_{GS}(g)$$

$$\%EE_{BI} = \frac{EE_{BI}(g)}{\text{peso BI}(g)} * 100$$

Os mesmos cálculos foram feitos para a quantidade em peso e porcentagem de EE nas amostras na MS, substituindo a %EE_{MN} por %EE_{MS}.

Como o DEXA fornece pesos de gordura, massa magra e massa óssea, também foi calculada a massa magra “real”, a fim de correlacionar, por meio de Pearson, os resultados.

3.3 Análises estatísticas

Todos os dados foram analisados estatisticamente com o uso do *software* RStudio (2021), versão 1.4.1106. Realizou-se uma análise descritiva para observar o comportamento dos valores obtidos e a presença de *outliers*. Os dados de BI e BSGS foram submetidos à correlação de Pearson. Em seguida, os valores de gordura dados pelo DEXA, e peso do EE, das amostras inteiras, que representam a GT, e sem gordura subcutânea, para GI, foram submetidos à regressão linear simples no seguinte modelo:

$$Y = \beta_0 \pm \beta_1 X + e$$

Em que: Y é a gordura observada, representada pela análise química (EE); β_0 e β_1 são os componentes da regressão; X é o teor de gordura previsto pelo escaneamento DEXA; e e representa o erro aleatório. A validação da equação foi testada por meio das métricas de coeficiente de determinação (R^2), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro médio absoluto (MAE).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises descritivas das amostras com e sem GS são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Observou-se que, tanto na amostra inteira quanto na amostra sem GS, os parâmetros de massa total de tecido e gordura mostraram variação considerável, com base no desvio padrão. Isso reflete a alta diversidade entre o tamanho das amostras analisadas, resultando em maior dispersão em relação à média. As amostras sem GS, utilizadas para avaliação da GI, apresentaram menor desvio padrão, principalmente nas medidas de %GI predita no DEXA (1,411), GI (1,007), %MS (0,999) e %EEMN (0,858).

Tabela 1 - Análise descritiva dos dados das amostras inteiras para avaliação da gordura total

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão
DEXA				
Massa total de tecido (g)	87,00	137,80	192,00	19,800
Massa GT (g)	13,00	32,47	51,00	7,840
Massa magra (g)	70,00	104,54	147,00	16,092
GT (%)	14,50	23,87	35,00	4,506

Análises químicas				
Massa total de tecido (g)	87,06	140,10	192,56	20,140
Massa GT (g)	4,80	22,94	44,88	8,250
Massa magra (g)	68,56	116,53	167,26	17,194
Matéria seca (%)	24,17	34,91	46,76	4,454
EEMS (%)	16,01	30,44	43,94	6,075
EEMN (%)	4,57	16,25	30,32	5,129

Tabela 2 - Análise descritiva das amostras sem gordura subcutânea, para avaliação da gordura intramuscular

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão
DEXA				
Massa total de tecido (g)	59,00	99,31	135,00	15,201
Massa GI (g)	6,00	11,45	16,00	2,338
Massa magra (g)	52,00	87,87	120,00	13,504
GI (%)	7,80	11,37	15,00	1,411
Análises químicas				
Massa total de tecido (g)	64,19	105,37	141,11	15,508
Massa GI (g)	1,99	3,77	6,56	1,007
Massa magra (g)	61,34	101,60	137,52	15,066
Matéria seca (%)	21,41	24,19	27,24	0,999
EEMS (%)	8,19	14,76	22,41	3,085
EEMN (%)	1,86	3,59	5,71	0,858

Na Tabela 2, nos dados referentes à quantidade de GI, as %EEMN mínima (1,86) e média (3,59) estão dentro dos resultados publicados no trabalho de Bertol *et al.* (2017), os quais avaliaram genótipos para a produção de carne magra e de carne para fabricação de produtos curados e encontraram variação na porcentagem de GI de 1 a 4%. O fato de, no presente estudo, não haver informações de peso, idade, genética e classe sexual, acerca dos animais, impede discussão mais aprofundada sobre a alta porcentagem de máxima no EEMN (5,71%), uma vez que existe variabilidade de GI em lombos suínos, atribuída à localização do corte, idade ao abate, classe sexual e linhagem paterna (REDIFER *et al.*, 2020).

Em ambas tabelas, é possível observar que as predições no DEXA superestimaram os valores de gordura, tanto na GT, como na GI, o que contradiz os resultados encontrados por Soladoye *et al.* (2016), cujos resultados preditos para GT de carcaças e cortes primários de suínos foram subestimados.

A correlação entre valores preditos no DEXA e análises químicas da amostra inteira são apresentados na Tabela 3. Houve uma correlação alta e significativa entre a previsão de massa total de tecido, massa de GT e massa magra, pelo DEXA, com as mesmas variáveis correspondentes das análises químicas, sendo $r= 0,992$, $r=0,821$ e $r=0,948$, respectivamente. Os dados de %MS, %EEMS e %EEMN correlacionaram-se com a massa de GT predita ($r= 0,661$, $r= 0,675$ e $r=0,686$) e com a predição de %GT ($r= 0,567$, $r= 0,603$ e $r=0,621$). Os dados de massa total e massa magra, em ambos os casos, não se correlacionaram com as % de MS, EEMS e EEMN. As massas de GT com as massas magras, preditas e observadas, apresentaram baixas correlações.

Tabela 3 - Correlações de Pearson e p-valores (entre parêntese) nas amostras inteiras

DEXA					Análises químicas					
Massa total de tecido (g)	Massa GT (g)	Massa magra (g)	GT(%)	Massa total de tecido (g)	GT (g)	Massa magra (g)	MS (%)	EEMS (%)	EEMN (%)	
DEXA										
Massa total de tecido (g)	1	0,626	0,925	0,062 (0,470)	0,992	0,547	0,899	0,220 (0,003)	0,222 (0,009)	0,208 (0,014)
Massa GT (g)		1	0,283	0,714	0,613	0,821	0,324	0,661	0,675	0,686
Massa magra (g)			1	-0,271 (0,0013)	0,919	0,273	0,948	-0,051 (0,553)	-0,053 (0,524)	-0,077 (0,369)
GT (%)				1	0,064 (0,458)	0,543	-0,185 (0,030)	0,567	0,603	0,621
Análises químicas										
Massa total de tecido (g)					1	0,535	0,914	0,208 (0,024)	0,217 (0,011)	0,192 (0,014)

Massa		0,147			
GT (g)	1	(0,086)	0,897	0,880	0,992
Massa		1	-0,186	-0,168	-0,217
magra (g)			(0,030)	(0,050)	(0,010)
MS (%)			1	0,918	0,963
EEMS				1	0,944
(%)					
EEMN					1
(%)					

*Correlações significativas estão marcadas em negrito (p-valor <0,001).

As correlações simples entre as predições do DEXA com as análises químicas da amostra sem GS são apresentadas na tabela 4, há grande diferença nos valores acerca do conteúdo gorduroso, comparado aos da Tabela 3, o que indica uma menor precisão de predição para GI. Não houve nenhuma correlação significativa com as % de MS, EEMS e EEMN com a massa de GI e % GI preditas. Houve correlação significativa da massa de GI do DEXA com a massa de GI analisada ($r=0,513$). Porém, esse valor está abaixo do encontrado na GT, mostrado na Tabela 3 ($r=0,821$). Não houve correlação significativa entre a % GI do DEXA com a massa de GI analisada ($r= 0,169$).

Tabela 4 Correlações de Pearson e p-valores (entre parêntese) nas amostras sem - gordura subcutânea

	DEXA				Análises químicas					
	Massa total de tecido (g)	Massa GI (g)	Massa magra (g)	Massa GI (%)	Massa total de tecido (g)	Massa GI (g)	Massa magra (g)	MS (%)	EEMS (%)	EEMN (%)
DEXA										
Massa total de tecido (g)	1	0,762	0,993	-0,017 (0,839)	0,980	0,453	0,978	0,036 (0,677)	-0,136 (0,117)	-0,115 (0,193)
Massa GI (g)		1	0,684	0,519	0,735	0,513	0,723	0,162 (0,600)	0,078 (0,365)	0,096 (0,267)
Massa magra (g)			1	-0,109 (0,206)	0,975	0,421	0,976	-0,025 (0,848)	-0,186 (0,054)	-0,170 (0,091)
GI (%)				1	-0,036 (0,672)	0,169 (0,049)	-0,049 (0,571)	0,155 (0,072)	0,199 (0,020)	0,204 (0,017)

**Análises
químicas**

Massa total de tecido (g)	1	0,465	0,998	0,018 (0,830)	-0,129 (0,136)	-0,112 (0,193)
Massa GI (g)		1	0,411	0,667	0,801	0,817
Massa magra (g)			1	-0,025 (0,707)	-0,186 (0,030)	-0,170 (0,048)
MS (%)				1	0,662	0,725
EEMS (%)					1	0,991
EEMN (%)						1

*Correlações significativas estão marcadas em negrito (p-valor <0,001).

Os gráficos de dispersão dos dados de predição de GT e GI, bem como suas respectivas regressões, estão representados nas Figuras 1 e 2, respectivamente. No eixo x, encontram-se os valores de massa de GT e GI (g) preditos pelo DEXA. E, no eixo y, os valores observados de massa de GT e GI calculados com base na %EE. Para a GT, o DEXA apresentou uma precisão razoável, com o coeficiente de determinação (R^2), que é responsável por definir quão representativa é a predição pelo DEXA pelo comportamento da variável dependente, de $R^2=0,655$, o que não foi observado na Figura 2 para GI ($R^2=0,3207$). As métricas RMSE e MAE, que avaliam a qualidade de um modelo de regressão linear por meio do desvio médio que as predições do DEXA têm para GT e GI, foram altas, sendo RMSE =10,8513 e MAE= 9,7259 para GT e RMSE= 7,9535 e MAE= 7,6967 para GI. Logo, a acurácia do modelo preditivo gerado pelo DEXA foi baixa.

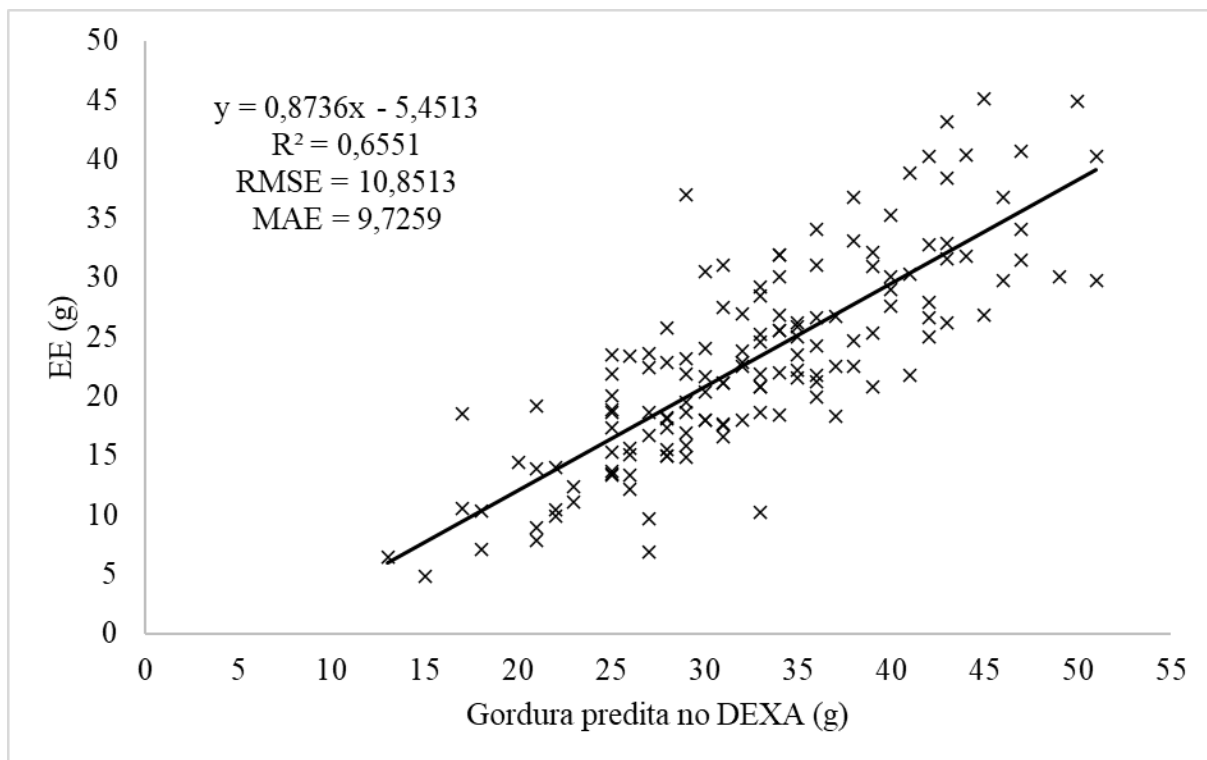


Figura 1 - Regressão linear entre os valores de teor de gordura total (GT) preditos pelo DEXA, no eixo x, e a análise química correspondente (EE), no eixo y, em gramas. Parâmetros estimados, como coeficientes de determinação (R^2), quadrado médio do erro (RMSE) e erro médio absoluto (MAE), são apresentados no gráfico.

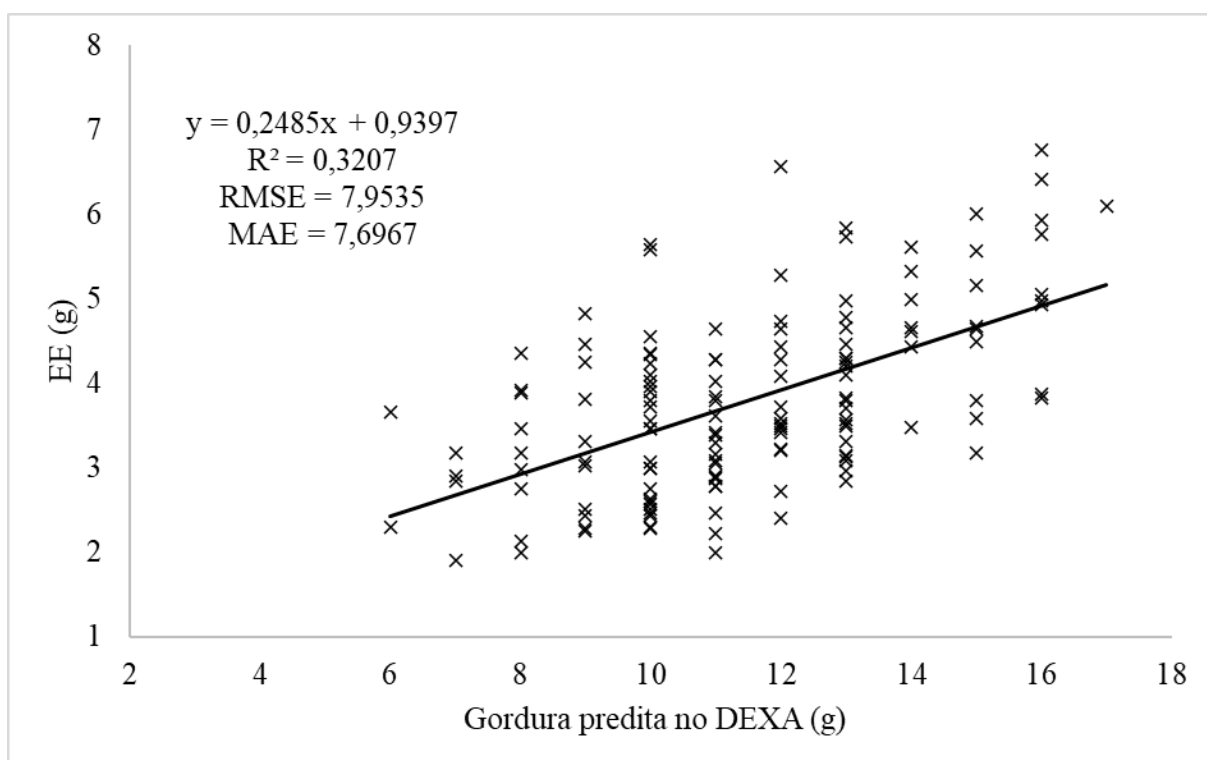


Figura 2 - Regressão linear entre os valores de teor de gordura intramuscular (GI) preditos pelo DEXA, no eixo x, e a análise química correspondente (EE), no eixo y, em gramas. Parâmetros estimados, como coeficientes de determinação (R^2), quadrado médio do erro (RMSE) e erro médio absoluto (MAE), são apresentados no gráfico.

Em trabalhos avaliando a predição de gordura, também utilizando equipamento DEXA, com bifes de diferentes raças bovinas, Nunes *et al.* (2023) encontraram valores de R^2 de 0,15 (RMSE= 1,22) para bifes de bovinos Nelore e 0,75 (RMSE= 2,39) para bifes de bovinos Angus.

Soladoye *et al.* (2016), trabalhando com carcaças e cortes primários de machos suínos de diferentes raças, apresentaram melhores valores para modelo com DEXA ($R^2=0,72$ a $0,85$). Esses resultados podem ser explicados pela influência do fator genotípico na GI de diferentes raças e linhagens, além de que, segundo Carabús *et al.* (2016), a TC, técnica mais precisa na predição de massa magra e gorda, comparada ao DEXA, mostrou baixa acurácia na predição de GI, demonstrando necessidade de aperfeiçoamento desses equipamentos para tal mensuração.

Kipper *et al.* (2019) utilizaram nove meia-carcaças suínas, de quatro fêmeas e cinco machos castrados, para avaliar a precisão de predição de gordura, do mesmo modelo DEXA utilizado no presente estudo, usando diferentes configurações do *software* na composição de tecido dissecado nas meia-carcaças e seus respectivos cortes primários (paleta, lombo, barriga e pernil). Neste estudo, obtiveram R^2 de 0,96 no lombo inteiro, com a configuração para “*Small Animal*”. Entretanto, deve-se levar em consideração que, nesse mesmo estudo de Kipper *et al.* (2019), foram utilizados poucos animais de classe sexual conhecida.

5. CONCLUSÃO

As predições de GT pode ser predita de maneira mais satisfatória que a GI em lombos suínos através do equipamento DEXA. Apesar de ambas terem correlações significativas, porém baixas, com os valores observados pela análise química de EE. Além da correlação existente entre as quantidades e porcentagens de gordura, notou-se que o equipamento DEXA tem alta predição nos pesos das amostras com e sem gordura subcutânea. Na GT, há precisão maior que na GI, observando o coeficiente de determinação (R^2). Entretanto, ambas apresentaram altas estimativas de erro. Logo, para melhorar a precisão e acurácia das predições,

em amostras pequenas e com alta variabilidade de conteúdo de gordura, novos trabalhos, com diferentes configurações e calibrações, deverão ser feitos para suprir os bancos de dados a fim de melhorar o modelo preditivo.

6. REFERÊNCIAS

ALEXANDRINO, S. L. DE S. A. *et al.* Qualidade, avaliação e tipificação de carcaças das principais espécies de interesse zootécnico: bovina, suína e aves. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e1719108422, 22 set. 2020.

AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION - AMSA. **Meat evaluation handbook**. Savoy, 2001.

ASSIS, D. E. F. **Efeitos da restrição alimentar e níveis de proteína dietética sobre a qualidade de carne de bovinos machos terminados em confinamento**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p.56. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual de 2022**. Brasil: ABPA, 2023.

BREWER, M. S.; ZHU, L. G.; BIDNER, B.; MEISINGER, D. J.; MCKEITH, F. K. Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. **Meat Science**, v.57, p.169-176,2001.

BERTOL, T. M.; COLDEBELLA, A.; FILHO, J. I. S.; GUIDONE, A. L. Swine carcasses classified by degree of exudation and marbling content. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 2, p. 121–128, 1 fev. 2017.

BRIDI, A. M.; DA SILVA, C. A. **Avaliação da carne suína**. Londrina. 2009. Disponível em: https://www.uel.br/grupopesquisa/gpac/pages/arquivos/Material%20para%20consulta/Bridi%20e%20Silva,%202009_%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20carca%C3%A7a%20su%C3%ADna.pdf >. Acesso em: 16 jul. 2023.

BRUCE, H. L.; STARK, J. L.; BEILKEN, S. L. The effects of finishing diet and postmortem ageing on the eating quality of the M. longissimus thoracis of electrically stimulated Brahman steer carcasses. **Meat Science**, v. 67, n. 2, p. 261–268, jun. 2004.

CALDARA, F. R. *et al.* Propriedades físicas e sensoriais da carne suína PSE. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.13, n.3, p.815-824 jul./set., 2012.

CALNAN, H. *et al.* A prototype rapid dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) system can predict the CT composition of beef carcasses. **Meat Science**, v. 173, 1 mar. 2021.

CARABÚS, A.; GISPERT, M.; FONT-I-FURNOLS, M. Imaging technologies to study the composition of live pigs: A review. **Spanish Journal of Agricultural Research**. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion, 2016.

DETMAN, E. **Métodos para análise de alimentos**. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021.

ELMASRY, G. M., FULLADOSA, E., COMAPOSADA, J., AL-REJAIE, S. S., & GOU, P. Selection of representative hyperspectral data and image pretreatment for model development in heterogeneous samples: A case study in sliced dry-cured ham. **Biosystems Engineering**, v. 201, p. 67–82, 2021.

KIPPER, M.; MARCOUX, M.; ANDRETTA, I.; POMAR, C. Assessing the accuracy of measurements obtained by dual-energy X-ray absorptiometry on pig carcasses and primal cuts, **Meat Science**, v. 148, 2019, p. 79-87.

LEBRET, B.; ČANDEK-POTOKAR, M. Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. **Animal**, v. 16, 1 fev. 2022.

MAGANHINI, M.B.; MARIANO, B.; SOARES, A.L.; GUARNIERI, P.D.; SHIMOKOMAKI, M.; IDA, E.I. Carnes PSE (pale, soft, exudativa) e DFD (dark, firm, dry) em lombo suíno numa linha de abate industrial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, supl.1, p.69-72, 2007.

NUNES, C. L. C.; VILELA, R. S. R.; SCHULTZ, E. B.; HANNAS, M. I; CHIZZOTTI, M. L. Assessing dual-energy X-ray absorptiometry prediction of intramuscular fat content in beef longissimus steaks. **Meat Science**, v.197, 2023.

POKLUKAR, K.; ČANDEK-POTOKAR, M.; LUKAČ, N. B.; TOMAŽIN, U.; ŠKRLEP M. Lipid deposition and metabolism in local and modern pig breeds: A review. **Animals**, v.10, n 424, 2020, p.1-20.

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; ZHANG, G.; POMAR, J.; LOVATTO, P. A. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.226-237, 2009.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: Fundamentos e metodologias**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017.

REDIFER, J. D.; BEEVER, J. E.; STAHL, C. A.; BOLER, D. D.; DILGER, A. C. Characterizing the amount and variability of intramuscular fat deposition throughout pork loins

using barrows and gilts from two sire lines. **American Society of Animal Science**, p. 1–35, 2020.

SÃO JOSÉ, G. L. F. **Desempenho produtivo, características de carcaça e qualidade da carne de suínos classificados para alta e baixa força de cisalhamento do lombo**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, p.53 2022.

SCHOLZ, A. M.; BÜNGER L.; KONGSRO, J.; BAULAIN, U.; MITCHELL, A. D. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: Dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: Invited review. **Animal**, 9:7, pp 1250–1264, 2015.

SCHWOB, S.; LEBRET, B.; LOUVEAU, I. Genetics and adiposity in pigs: state of the art and new challenges for meat product quality. **INRAE Production Animale**, v. 33, p.17-30. 2020.

SEENGER, J.; NUERNBERG, G.; HARTUNG, M.; SZÚCS, E.; ENDER, K.; NUERNBERG, K. ANKOM – a new instrument for the determination of fat in muscle and meat cuts – a comparison. **Archives Animal Breeding**, Dummerstorf 51. 5, p. 449-457, 2008.

SOLADOYE, O. P.; CAMPOS, Ó. L.; AALHUS, J. L.; GARIÉPY, C.; SHAND, P.; JUÁREZ, M. Accuracy of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in assessing carcass composition from different pig populations. **Meat Science**, v. 121, p. 310–316, 1 nov. 2016.

SUSTER, D.; LEURYB, B. J.; OSTROWSKAA, E.; BUTLERA, K. L.; KERTONA, D. J.; WARKC, J. D.; DUNSHEA, F. R. Accuracy of dual energy X-ray absorptiometry (DXA), weight and P2 back fat to predict whole body and carcass composition in pigs within and across experiments. **Livestock Production Science**, v. 84, n. 3, p. 231–242, 30 dez. 2003.

WOOD, J. D.; ENSER, M.; FISHER, A.V.; NUTE, G. R.; SHEARD, P.R; RICHARDSON, R.I.; HUGHES, S. I.; WHITTINGTON, F. M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **Meat Science**, v. 78, p.343–358, 2008.

XIE, L. *et al.* Accurate prediction and genome-wide association analysis of digital intramuscular fat content in longissimus muscle of pigs. **Animal Genetics**, v. 52, n. 5, p. 633–644, 1 out. 2021.