

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL DE
CAPRINOS DA RAÇA SAANEN PELO MÉTODO DE
ABSORTOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA (DXA)**

**Paola Rezende Ribeiro
Zootecnista**

2019

**D
I
S
S.**

/

**R
I
B
E
I
R
O**

**R.
P.**

**2
0
1
9**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL DE
CAPRINOS DA RAÇA SAANEN PELO MÉTODO DE
ABSORTOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA (DXA)**

**Discente: Paola Rezende Ribeiro
Orientador: Prof. Dr. Kléber Tomás de Resende
Coorientador: Dr. Bruno Biagioli
Coorientadora: Profa. Dra. Silvana Martinez BaraldiArtoni**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia

2019

R484d	<p>Ribeiro, Paola Rezende</p> <p>Determinação da composição corporal de caprinos da raça Saanen pelo método de absorptometria de raios -X de dupla energia (DXA) / Paola Rezende Ribeiro. -- Jaboticabal, 2019</p> <p>82 p. : il., tabs., fotos</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal</p> <p>Orientador: Kléber Tomás de Resende</p> <p>Coorientador: Bruno Biagioli</p> <p>1. Composição corporal. 2. Dissecção. 3. Estudos de validação. 4. Tecidos (anatomia e fisiologia). I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL DE CAPRINOS DA RAÇA SAANEN PELO MÉTODO DE ABSORTOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA (DXA)

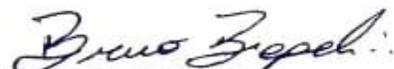
AUTORA: PAOLA REZENDE RIBEIRO

ORIENTADOR: KLEBER TOMAS DE RESENDE

COORIENTADOR: BRUNO BIAGIOLI

COORIENTADORA: SILVANA MARTINEZ BARALDI ARTONI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:



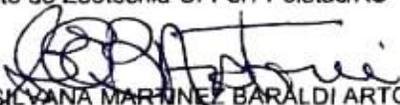
Dr. BRUNO BIAGIOLI

Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. CARLA JOICE HARTER (Videoconferência)

Departamento de Zootecnia-UFPel / Pelotas/RS



Profa. Dra. SILVANA MARTINEZ BARALDI ARTONI

Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 05 de julho de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

PAOLA REZENDE RIBEIRO – Filha de Paulo Ribeiro e Magda Celeste Rezende, nascida em Uberlândia, Minas Gerais, no dia 26 de outubro de 1991. Em março de 2010, iniciou o Curso de Graduação em Zootecnia, na Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Câmpus de Uberlândia, onde foi membro bolsista da primeira turma do Programa de Educação Tutorial – PET Zootecnia durante o período de dezembro de 2011 a maio de 2013. Conduziu e auxiliou no desenvolvimento de projetos experimentais com ovinos, como voluntária do Programa Institucional de Iniciação Científica Voluntária PIVIC/UFU, de janeiro de 2012 a maio de 2013, no setor de ovinos e caprinos da UFU, com orientação do Prof. Dr. Gilberto de Lima Macedo Junior. Realizou intercâmbio na The University of Western Australia em Perth, Austrália, no período de agosto de 2013 a dezembro de 2014 através do programa Ciências Sem Fronteiras fomentado pela CAPES. Obteve o título de Bacharelado em Zootecnia em novembro de 2016. Em fevereiro de 2017, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Nutrição e Alimentação Animal, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, onde foi bolsista do CNPq, com orientação do Prof. Dr. Kléber Tomás de Resende e coorientação do Dr. Bruno Biagioli e da Profa. Dra. Silvana Martinez Baraldi Artoni. Durante o mestrado se dedicou a aplicabilidade de um método não-invasivo para mensurar a composição corporal de caprinos, denominado absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA).

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente, você estará fazendo o impossível”.

São Francisco de Assis

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou o teu Deus”.

Isaías 41:10

DEDICO

A meus pais Paulo Ribeiro e Magda Celeste Resende, meus alicerces, que jamais mediram esforços para garantir minha educação e sempre me auxiliaram na conquista de meus ideais.

A meu irmão Marcos Paulo Resende Ribeiro, meu melhor amigo, que sempre me incentivou ao desafio do novo, a concretizar meus sonhos e acreditar que tudo é possível quando se tem força de vontade e autoconfiança.

A meu sobrinho-afilhado Antônio Palmeira Ribeiro, meu pequeno príncipe, que trouxe muita luz, amor e esperança em dias melhores com sua chegada.

A vocês meu eterno amor!

OFEREÇO

Aos animais deste estudo e a todos que utilizarem os resultados obtidos para o benefício e progresso da ciência e produção animal.

AGRADECIMENTOS

A Deus não só pela vida, mas pela salvação que nos foi concedida através de Cristo. Agradeço a Deus por me prover uma família, um lar, saúde, por me capacitar diante de cada desafio que me apresenta, por me fortalecer diante dos obstáculos, por me amparar, proteger e me carregar quando meus pés vacilam, por forjar meu espírito diante as dificuldades, por jamais me abandonar e nem me encarregar de fardos mais pesados que minha capacidade de suportá-los, por não me deixar desistir mesmo quando todos os fatores me direcionam a isso e por me mostrar que a Sua presença torna possível todas as coisas. A Ele eu concedo a minha vida, o bem mais valioso que possuo.

A meus pais Paulo e Magda, por todo o amor, dedicação e esforço a mim concedidos. Por me ensinarem as maiores e mais valiosas lições sobre a vida, lições essas que não podem ser aprendidas em livros ou em salas de aula. Por me incentivarem a seguir meus objetivos e mais do que isso, pela luta diária para concretizá-los e me manter no status de estudante em um país que não valoriza a educação. A eles que muitas vezes sacrificaram o próprio sonho para tornar o meu uma realidade. Não há palavras que possam expressar minha gratidão por vocês mas sei que o meu amor diz bem o que meu coração revela. Amo vocês!

A meu irmão Marcos Paulo, meu parceiro de todas as horas, que sempre esteve ao meu lado me apoiando e auxiliando. A pessoa que acreditava em mim mesmo quando eu mesma não era capaz de fazê-lo, sempre me impulsionando a alcançar planos maiores, a sair da zona de conforto e me fortalecer a cada novo desafio. Obrigada pela amizade e amor que me transmite.

A meu orientador Kléber Tomás de Resende por aceitar minha orientação e por demonstrar que tudo é possível quando temos fé e temor a Deus.

A meu coorientador Bruno Biagioli por todo auxílio e empenho durante o mestrado que foram fundamentais à realização desse projeto.

A minha coorientadora Silvana Martinez Baraldi Artoni pelo auxílio durante as avaliações no DXA.

A toda equipe Cabritolândia: Izabelle Teixeira, Márcia Fernandes, Kléber Resende, Bruno Biagioli, Marcelo Gindri e Leandro Oliveira por me tornar membro da equipe, me concederem tamanha responsabilidade no mestrado e pelo auxílio com o projeto.

A banca do projeto Lizandra Amoroso e Carla Joice Härter; da qualificação Márcia Fernandes e Silvana Artoni; e da defesa Carla Härter e Silvana Artoni pelas considerações valiosas que aprimoraram o estudo e a explanação dos resultados.

Ao professor Euclides Braga Malheiros por toda paciência e auxílio durante as análises estatísticas.

A Amélia Katiane de Almeida por todos os ensinamentos fundamentais para a realização desse projeto, assim como, pelo auxílio durante a fase experimental.

A Raiza Felismino Silveira pela nova amizade estabelecida, pela parceria durante meu estágio de conclusão de curso, pelo convívio na casa e por todo auxílio no mestrado durante a fase de protocolo de anestésicos, análise no DXA e abate.

A Marina Elizabeth Barbosa Andrade pela amizade de sempre, por me auxiliar em qualquer que fosse a dificuldade, por dividir a casa, o quarto, as conversas, os anseios e as alegrias durante meu estágio curricular. Pela alegria e positividade que sempre transmite aos demais, pelo ser humano maravilhoso que tenho muita alegria em poder conviver.

A Naiara Caixeta da Silva pelo convívio durante as reuniões do grupo e os treinamentos, por se mostrar uma pessoa a quem passei admirar pela humildade e determinação, além de todo auxílio concedido durante o abate.

A todos os estagiários do Laboratório de Estudos em Caprinocultura que foram essenciais para a execução deste projeto: Aron Ferro, Andrea Bertozzo, Andrezza Fiaiz, Bianca da Silva Barros Leme, Jayne Soares de Almeida. E um agradecimento especial à Ariane Tonioli D'Almeida, Julia Moslavacz de Sá, Heloísa Guerreiro de Freitas e Natália Spolaore de Souza que acompanharam e auxiliaram as atividades do início ao final do período experimental tornando as atividades menos cansativas pelas brincadeiras e alegria. Também agradeço imensamente a estagiária internacional Maria Chiara Bertulu pelo auxílio, convívio e aprendizado durante sua permanência no Brasil.

Ao Yuri da Silva Bonacin pelo protocolo de anestésicos estabelecido, por todo auxílio durante os testes, e posteriormente, durante as análises no DXA.

As alunas responsáveis pelo aparelho DXA Aline e Juliane por todo o auxílio durante as análises, pela atenção, paciência e esclarecimentos após a execução.

A Alícia Zem Fraga que permitiu que acompanhasse parte do seu experimento e me transmitiu conhecimentos valiosos a respeito dos preparativos para análise no aparelho DXA.

Aos funcionários do setor de produção animal Oswaldo Ferrari Junior, João Donizete Bortoleto e Antônio Carlos Lima de Andrade por todo auxílio prestado durante a fase experimental do projeto sem o qual não seria possível a realização do mesmo.

A Ana Paula de Oliveira Sader química responsável pelo LANA pelo auxílio durante as análises.

Ao Orlando Agostini técnico do LANA pelo empenho em fazer as coisas darem certo, auxílio durante as análises e pelo bom humor que sempre o acompanha.

Aos professores com os quais realizei disciplinas por todo o conhecimento transmitido.

A Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, pela estrutura fornecida para realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico –CNPq, pelo fomento da bolsa de estudos sem a qual seria inviável a realização do mestrado. Que se trata não apenas de uma bolsa de auxílio, mas sim de incentivo a pesquisa nacional.

Aos animais deste estudo, meu respeito e agradecimento.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste meu muito obrigada!

SUMÁRIO

DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL DE CAPRINOS DA RAÇA SAANEN PELO MÉTODO DE ABSORTOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA (DXA).....	iii
RESUMO.....	iii
DETERMINATION OF BODY COMPOSITION OF SAANEN RACE GOATS BY DUAL ENERGY X-RAY ABSORPHETRY METHOD (DXA)	iv
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO ANIMAL	vii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo geral	2
1.1.1. Objetivo específico	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Caprinos	2
2.2. Composição corporal	4
2.3. Determinação da composição corporal	9
2.4. Medidas DXA	11
2.5. Uso do DXA em animais de produção	13
2.6. Modelos matemáticos para predição do crescimento	18
3. REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO 2 – VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE ABSORTOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA (DXA) PARA PREDIÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL <i>IN VIVO</i> DE CAPRINOS.....	27
RESUMO.....	27
CHAPTER 2 - VALIDATION OF THE DUAL ENERGY X-RAY ABSORPHETRY (DXA) METHOD FOR THE PREDICTION OF <i>IN VIVO</i> GOATS BODY COMPOSITION.....	28
ABSTRACT	28

1. INTRODUÇÃO	29
2. MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1. Local.....	30
2.2. Animais e alimentação	30
2.3. Análise <i>in vivo</i> no DXA	31
2.4. Abate	33
2.5. Dissecção do pernil e análise no DXA	34
2.6. Processamento das amostras	35
2.7. Análise laboratorial	35
2.8. Cálculos.....	36
2.8.1. Composição química – Corpo Vazio	36
2.8.2. Composição química – Pernil e Carcaça.....	37
2.9. Análise estatística	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4. CONCLUSÃO.....	60
5. REFERÊNCIAS.....	61
CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	64

DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL DE CAPRINOS DA RAÇA SAANEN PELO MÉTODO DE ABSORTOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA (DXA)

RESUMO - A absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) é um método não-invasivo para mensurar a composição corporal de animais que representa uma alternativa aos métodos padrões de dissecação e análise química, por ser uma técnica de fácil aplicabilidade e que possibilita o acompanhamento das variações na composição corporal do animal ao longo de sua vida. Assim, o objetivo deste estudo foi verificar a capacidade do método DXA em determinar a composição corporal de caprinos submetidos a dois níveis nutricionais. Para isso, foram utilizados 36 machos Saanen, castrados, divididos em três faixa etárias (3, 5 e 7 meses), cada faixa etária era composta por 12 animais, que foram divididos em dois regimes alimentares: sendo 6 animais mantidos sob regime alimentar *ad libitum* (AL) definido como o consumo sob manutenção com adicional para ganho de 150 g.dia⁻¹; e 6 animais mantidos sob regime alimentar ao nível de manutenção (M). Assim que atingiram a idade pré-estabelecida os animais foram mantidos em jejum de líquido e sólidos por 24 horas e escaneados no aparelho DXA Hologic (Discovery Wi). Posteriormente, foram abatidos sendo realizada análise química do corpo inteiro para comparação entre os métodos. O pernil esquerdo foi seccionado da carcaça total escaneado pelo aparelho DXA, e então, dissecado em osso, músculo e tecido adiposo, cada componente foi analisado individualmente no DXA, e posteriormente submetido a análise química para servir de referência aos parâmetros DXA obtidos com animais *in vivo*. O delineamento utilizado foi o inteiramente ao acaso em fatorial 3x2, com seis repetições. A comparação entre o corpo vazio obtido quimicamente e o método DXA com animais *in vivo* demonstrou forte correlação para predizer a composição corporal ($R^2= 0,82$; 0,96 e 0,98 para cinzas, gordura e proteína). O pernil revelou ser um ótimo parâmetro de comparação com o corpo vazio quimicamente ($R^2= 0,85$; 0,92; 0,95 e 0,94 para cinzas, gordura, proteína e água), e com as medidas DXA *in vivo* ($R^2= 0,73$; 0,92; 0,93 e 0,79 para conteúdo mineral ósseo, tecido magro+conteúdo mineral ósseo, tecido magro e tecido gordo). Os tecidos dissecados do pernil (ossos, músculos e tecido adiposo) apresentaram boa concordância com as medidas DXA ($R^2= 0,73$; 0,79 e 0,90 para cinzas, gordura e proteína). De modo geral, apesar das discrepâncias existentes na forma de mensurar a composição corporal entre o método direto de análise química e o método indireto DXA, e os erros inerentes a cada metodologia, o DXA se mostrou eficaz na predição da composição corporal podendo ser utilizado como referência na avaliação de caprinos *in vivo* ou em parte específica do corpo.

Palavras-chave: abate comparativo, composição de carcaça, validação

DETERMINATION OF BODY COMPOSITION OF SAANEN RACE GOATS BY DUAL ENERGY X-RAY ABSORPHETRY METHOD (DXA)

ABSTRACT - Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) is a noninvasive method to measure the body composition of animals that represents an alternative to comparative slaughter, since it is a technique that is easy to apply and allows monitoring of the variations in the animal's body composition throughout its productive life. The objective was to evaluate the use of DXA method in determining the body composition of goats submitted to two nutritional levels. For this, 36 Saanen males, castrated, were divided into three age groups (3, 5 and 7 months), each age group was composed of 12 animals, 6 of which were kept under diet *ad libitum* (AL), consumption under maintenance additional for gain of 150 g.day⁻¹; and 6 under maintenance level (L). As soon as they reached the pre-established age, the animals were fasted for 24 hours and scanned in the Hologic DXA device (Discovery Wi). Then, the animals were slaughtered and whole body chemical analysis was performed for comparison between methods. The left leg was sectioned from the total carcass and scanned by the DXA device, after that, it was dissected into bone, muscle and fat, each component was individually analyzed by DXA, and then chemical analysis was performed to be reference for *in vivo* DXA parameters. The design was completely randomized in 3x2 factorial, with six replications. No significant differences were found for the interaction between age and food level. The relationship between the comparative slaughter method and *in vivo* DXA analyze showed a strong correlation to predict the body composition ($R^2= 0.82, 0.96$ and 0.98 for ashes, fat and protein). The shank proved to be a great parameter for prediction of empty body ($R^2= 0.85; 0.92; 0.95$ and 0.94 for ash, fat, protein and water), and *in vivo* DXA measures ($R^2= 0.73; 0.92; 0.93$ e 0.79 for body mineral content, lean mass + body mineral content, lean mass and fat mass). The dissected leg tissue (bone, muscle and fat) when correlated with DXA showed good agreement for tissue composition prediction ($R^2= 0.73, 0.79$ and 0.90 for ash, fat and protein). In general, despite the discrepancies in the body composition measurement among the methods, and the errors inherent to each one, the DXA method proved to be effective in predicting body composition, so can be used as reference method for goat evaluation *in vivo* or in specific parts of the body.

Keywords: comparative slaughter, carcass composition, validation

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Curva típica de crescimento (Adaptado de Batt, 1980 citado por Owens et al., 1993). 5
- Figura 2.** Taxa de crescimento dos tecidos (1) nervoso, (2) ósseo, (3) muscular e (4) adiposo para (a) rápida ou (b) lenta taxa de crescimento, ou seja, com (a) alto e (b) baixo teor energético da dieta (Adaptado de Owens et al., 1993). 9
- Figura 3.** Componentes corporais (Adaptado de Pietrobelli et al., 1996). 11

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Animal posicionado na plataforma DXA em estado de sedação inconsciente (Arquivo pessoal, 2017). 32
- Figura 2.** Linhas de análise do DXA Hologic Wi no modo whole body configuradas para 33 caprinos (Arquivo pessoal, 2017). 33
- Figura 3.** Relação entre a composição corporal derivada da absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) *in vivo* e o método químico direto em relação ao peso de corpo vazio de caprinos Saanen. Linhas pontilhadas representam limite de confiança predito em 95%. 49
- Figura 4.** Composição química do pernil em função da carcaça de caprinos Saanen machos castrados aos três, cinco e sete meses de idade. Linhas pontilhadas representam limite de confiança predito em 95%. 52
- Figura 5.** Relação entre a composição corporal analisada *in vivo* e a composição do pernil esquerdo de caprinos Saanen, machos castrados aos três, cinco e sete meses de idade, obtidas através do método de absorptometria de raios – X de dupla energia (DXA). Linhas pontilhadas representam limite de confiança predito em 95%. 55
- Figura 6.** Relação entre a composição corporal de caprinos Saanen machos castrados aos três cinco e sete meses obtida *in vivo* pelo método DXA e através dos componentes dissecados do pernil¹ pelo método químico. Linhas pontilhadas representam limite de confiança predito em 95%; Absortometria de raios-X de dupla energia (DXA);¹Componentes dissecados do pernil: ossos, músculos e tecido adiposo. 58

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Composição química da ração experimental	31
Tabela 2. Composição química do corpo vazio de caprinos Saanen, machos castrados com três, cinco e sete meses de idade submetidos a dois níveis alimentares.....	40
Tabela 3. Composição química do pernil esquerdo de caprinos Saanen, machos castrados com três, cinco e sete meses de idade submetidos a dois níveis alimentares.	42
Tabela 4. Composição corporal <i>in vivo</i> pelo método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) de caprinos Saanen machos castrados, com três, cinco e sete meses de idade submetidos a dois níveis alimentares.	44
Tabela 5. Composição corporal do pernil esquerdo pelo método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) de caprinos Saanen machos castrados, com três, cinco e sete meses de idade submetidos a dois níveis alimentares.	46
Tabela 6. Modelos para predição da composição corporal de caprinos ¹ através do método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA).....	50
Tabela 7. Comparação entre a composição da carcaça e do pernil esquerdo de caprinos ¹ através do método direto de análise química.....	53
Tabela 8. Relação entre medidas <i>in vivo</i> e do pernil esquerdo obtidas pelo método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) em caprinos ¹	56
Tabela 9. Relação entre a composição química dos componentes dissecados do pernil esquerdo e medidas <i>in vivo</i> obtidas pelo método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) em caprinos ¹	59

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO ANIMAL



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado "**Determinação da composição corporal de caprinos da raça Saanen pelo método de absormetria de raios-x de dupla energia (DXA)**", protocolo nº 015416/17, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Kleber Tomás de Resende, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado "Ad-referendum" pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP.

Vigência do Projeto	02/11/2017 a 25/12/2017
Espécie / Linhagem	Caprinos / Raça Saanen
Nº de animais	48
Peso / Idade	15, 20, 32, 60 kg / 3, 5, 7 e 24 meses
Sexo	Masculino
Origem	Laboratório de Estudos em Caprinocultura

Jaboticabal, 09 de novembro de 2017.


Prof.ª Dr.ª Lizandra Amoroso
Coordenadora – CEUA

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

O rebanho caprino no Brasil cresceu 16,1% entre 2006 e 2017 de acordo com o último censo agropecuário (IBGE, 2017). Além de sua função social nos países em desenvolvimento como fonte de proteína animal e subprodutos, a espécie é bem quista por nichos de mercado com alto valor agregado de seus produtos (Dubeuf et al., 2004; Ribeiro e Ribeiro, 2010). Para melhor explorar essa crescente tendência e otimizar a performance caprina na produção brasileira se faz necessário novos estudos sobre a composição corporal.

O conceito de composição corporal se refere à composição química de todo o corpo do animal (Greenhalgh, 1986). A variação dos constituintes corporais ao longo da vida é um processo natural e afeta diretamente a qualidade dos produtos finais comercializados. Devido a isso, a ciência busca estabelecer métodos que estimem tais variações para atender as demandas por nutrientes de forma individual, aumentando a eficiência alimentar, economizando recursos e preservando o ambiente.

A composição corporal é mensurada por dois métodos, o direto e o indireto. O método direto consiste na dissecação e análise química dos componentes do corpo e, apesar de sua elevada precisão, possui limitações técnico-científicas, financeiras e éticas relacionadas ao seu uso. Os métodos indiretos têm como uma das vantagens a possibilidade de não destruição da amostra avaliada, contudo, necessitam ser validados o que pode ocasionar acúmulo de erros na determinação (Costa e Silva et al., 2016).

Dentre os métodos indiretos a absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA – Dual Energy X-Ray Absorptiometry) é uma tecnologia relativamente recente que pode ser considerada como método de referência (Heyward, 2001). Apesar dos estudos de composição terem sido realizados com diversas espécies de interesse zootécnico, ainda não foi investigada a capacidade da metodologia DXA em mensurar a composição corporal de caprinos.

1.1. Objetivo geral

Mediante o exposto, o objetivo deste trabalho foi validar o método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) para mensurar a composição corporal de caprinos submetidos a dois níveis alimentares.

1.1.1. Objetivo específico

Avaliar o pernil esquerdo como parâmetro de comparação entre as variáveis obtidas pelos métodos direto e indireto. Assim como, verificar o grau de relação entre os dados preditos pelo DXA e os componentes dissecados do pernil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caprinos

A espécie caprina está presente no cotidiano dos seres humanos desde o início da civilização, sendo um dos primeiros animais de interesse zootécnico a ser domesticado. São considerados animais de elevada capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais e regimes alimentares. Além disso, apresentam característica dócil, rápido aprendizado e alto grau de curiosidade o que facilita o manejo (Aziz, 2010).

Os caprinos nativos e introduzidos no ambiente estão distribuídos por todos os continentes. Entre o período de 2006 a 2017 houve um aumento percentual de 23,1% do total de cabeças no mundo. A Ásia é o continente que detém a maior percentagem de animais (56,1%), seguida da África (37,7%), Américas (3,9%), Europa (1,9%) e Oceania (0,4%). Os dados apontam que a América do Sul possui 73% do efetivo total das Américas, sendo que o Brasil é o país com o maior rebanho caprino (44,8%) (FAOSTAT, 2017).

Em termos produtivos, a produção mundial de carne caprina apresentou um aumento percentual de 2,44 toneladas entre 2016 e 2017. Em um período de dezessete

anos (2000 – 2017) essa produção foi liderada pela China (1.746.022 Ton), seguida pela Índia (502.628,89 Ton) e Paquistão (306.666,67 Ton) sendo a maior parte destinada ao consumo interno. Quanto a balança comercial, entre 2000 a 2016 a Austrália liderou o ranking das exportações (22.589,88 Ton), seguida pela Etiópia (7.213,41 Ton) e China (4.198,94). Já os líderes em importações foram os Estados Unidos (12.107 Ton), Emirados Árabes Unidos (8.273 Ton) e Província de Taiwan (China) (4.521 Ton), no mesmo período (FAOSTAT, 2017).

A carne caprina se caracteriza por baixos teores de colesterol, gordura saturada e calorias, o que tem sido associado a menores riscos na ocorrência de obesidade, câncer e doenças cardiovasculares. Além de possuir quantidades consideráveis de ômega 3 e ômega 6 que possuem função anti-inflamatória estando relacionados à resistência imunológica (Guimarães Filho, 2017).

Em relação a produção mundial de leite caprino houve um aumento percentual de 4,24 toneladas entre 2016 e 2017. No período de 2000 a 2017 a Índia deteve a liderança da produção (4.473.998 Ton), seguida do Sudão (antigo) (1.423.916 Ton), Sudão (1.108.272 Ton) e Bangladesh (989.361,89 Ton) (FAOSTAT, 2017). Nota-se com os dados apresentados que dentre os produtos caprinos a produção de leite ganha destaque no cenário mundial, tanto em termos absolutos quanto percentuais ao longo dos anos.

A raça Saanen é considerada a maior produtora de leite, com média de dois a cinco litros por dia podendo alcançar uma produção de até oito litros diários, em um período de lactação de nove a dez meses (Lázia, 2017). Devido a seu potencial produtivo a raça Saanen tem contribuído para a formação e/ou melhoramento de outras raças leiteiras (Silva, 2003).

O leite caprino é considerado um alimento funcional apresentando maiores quantidades de ácidos graxos de cadeia curta (C6-capróico; C8-caprílico e C10-cáprico) e saturada o que facilita a digestão. Assim como, maiores proporções de proteínas, aminoácidos essenciais, vitaminas A e B e sais minerais (cálcio, selênio e fosfato), além de uma menor quantidade das proteínas α S1-caseína e β -lactoglobulina associadas à alergia, quando comparado ao leite bovino (Catunda et al., 2016).

Os produtos processados são uma estratégia para agregar valor à matéria-prima e diversificar a oferta. Atualmente, a produção nacional não consegue suprir as quantidades demandadas pelo mercado. Assim, identificam-se demandas reprimidas para uma vasta variedade de produtos industrializados que têm surgido como derivados lácteos tais como o leite em pó, leite esterilizado, leite UHT, queijos, manteigas, iogurtes, sorvetes e cosméticos, e derivados cárneos, como linguiças frescas e defumadas, hambúrguer, enlatados de carne moída, charques e manta de carne seca (Ribeiro e Ribeiro, 2010).

O Brasil apesar de deter o maior rebanho caprino da América do Sul apresenta uma produção voltada a subsistência, com baixos índices zootécnicos e aplicação de conhecimento técnico (Cartaxo de Lucena et al., 2018). Esse cenário contrasta com grande disponibilidade de recursos naturais, profissionais qualificados e crescente demanda interna. Sendo assim, se faz necessário intensificar a produção caprina com intuito de inserir no mercado produtos de maior qualidade e solucionar a sazonalidade na oferta de leite e carne para atender as exigências dos consumidores.

Para isso, inicialmente é preciso melhorar a qualidade genética dos rebanhos, e nesse processo os caprinos machos de raças com aptidão tanto para carne quanto para leite são imprescindíveis, uma vez que contribuem para a formação da prole, devendo ser rigorosamente selecionados para se obter sucesso com o rebanho. Nesse sentido, estudos para avaliar as alterações na composição corporal em cada cenário a que o animal está sujeito, são primordiais para identificar os melhores indivíduos.

Em suma, pode ser observado que a espécie caprina apresenta forte potencial genético para atender ao mercado gourmet interno e externo com alto valor agregado em seus produtos, em um cenário nacional com ampla oportunidade para ser explorado.

2.2. Composição corporal

Desde a concepção os indivíduos crescem e se desenvolvem. O crescimento animal é caracterizado pelo aumento de peso, comprimento, altura e circunferência em

função da idade. Já o desenvolvimento implica em mudanças na conformação corporal e nas funções do organismo (Rodrigues Filho et al., 2011).

Segundo Owens et al. (1993) o crescimento se deve ao aumento de massa dos tecidos e sua curva apresenta uma função sigmóide que tem a puberdade como fator central sendo dividida por uma fase de aceleração e uma fase de redução do crescimento. A curva atinge o platô quando o animal alcança a maturidade fisiológica, nesse estágio cessa o crescimento muscular e ósseo e o ganho de peso passa ser composto pela deposição de tecido adiposo (Figura 1).

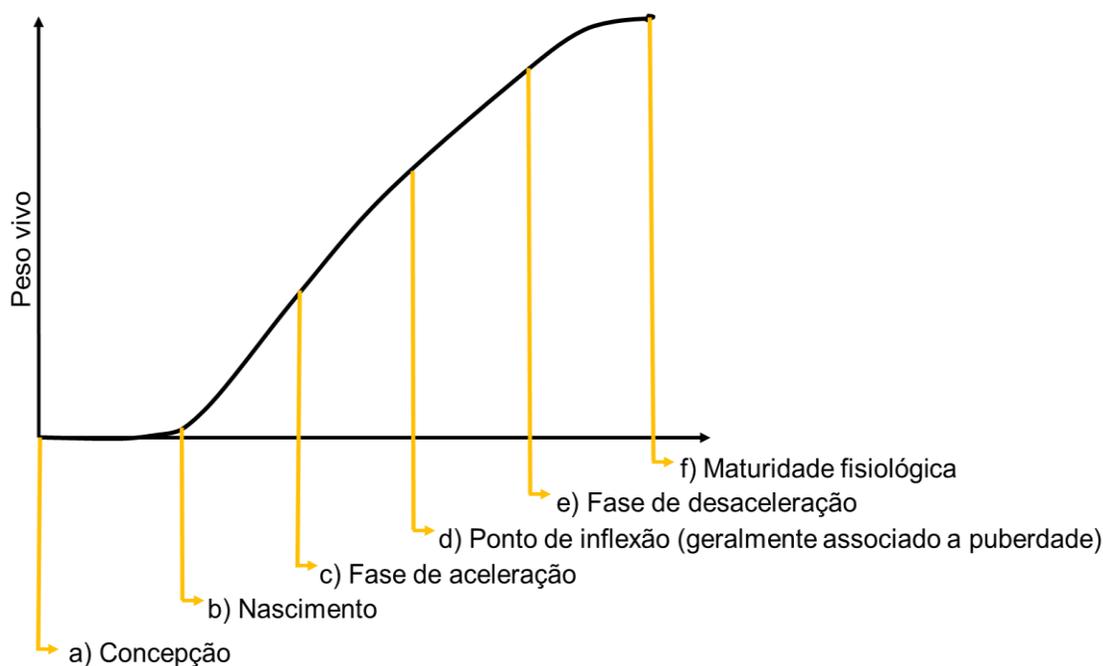


Figura 1. Curva típica de crescimento (Adaptado de Batt, 1980 citado por Owens et al., 1993).

Durante a fase de concepção todos os tecidos crescem por hiperplasia, mas à medida que os mamíferos amadurecem células especializadas (e.g., células musculares esqueléticas) perdem sua capacidade de se replicar e passam a crescer apenas por hipertrofia ou incorporação de células satélites. Outros tecidos, devido sua importância vital (e.g., precursores de células sanguíneas, folículos pilosos, epitélio gastrintestinal, órgãos do trato digestivo, ectoderme) continuam a se dividir ao longo da vida, sendo

continuamente reconstituídos devido a descamação causada pela morte celular (Owens et al., 1993).

Durante o crescimento os animais não aumentam apenas o peso e o tamanho, mas também sofrem alterações nas proporções com que os tecidos são depositados tendo taxas de deposição máxima em fases distintas da vida (Fernandes et al., 2005).

Hammond (1932) ao pesquisar as ondas de crescimento em animais de interesse zootécnico, observou que existe uma tendência de as extremidades do corpo completarem seu ciclo de crescimento precocemente em relação as regiões proximais e distais, tal fenômeno passou a ser denominado como crescimento centrípeto.

O crescimento apresenta característica alométrica, ou seja, cada tecido cresce em uma velocidade distinta. O primeiro tecido a ser depositado e a finalizar seu crescimento é o nervoso, seguido pelo tecido ósseo, o muscular e por último o tecido adiposo (Berg e Butterfield, 1976).

Todos os tecidos corporais são essenciais para o correto crescimento e desenvolvimento dos vertebrados. Contudo, o tecido muscular possui destaque na produção animal pois cortes com maior valor comercial apresentam grande quantidade de massa muscular (Urbano et al., 2013).

Machos de interesse comercial, geralmente, apresentam taxa anabólica de deposição de tecido muscular superior à das fêmeas e a deposição de tecido adiposo é mais tardia (Lawrence e Fowler, 2002). O aumento na deposição de gordura está relacionado com o tamanho à maturidade, definido como o ponto em que a massa corporal atinge o platô, ou seja, a máxima hipertrofia das células do tecido muscular (Owens et al., 1993). O tecido adiposo é considerado o de maior variabilidade na composição corporal, seja do ponto de vista quantitativo ou por sua distribuição (Da Rosa et al., 2005).

A carne caprina apresenta baixos teores de gordura subcutânea e intramuscular. Isso se deve ao fato de que nessa espécie a localização da gordura ocorre principalmente na cavidade abdominal e nas vísceras, representando aproximadamente 50 a 60% da gordura corpórea total (Colomer-Rocher et al., 1992).

O estágio de desenvolvimento no momento do abate tem grande influência na composição da carcaça, em que os tecidos muscular e adiposo são os grandes responsáveis pelas variações e o tecido ósseo é relativamente constante (Estrada, 1996).

Embora se dê muita atenção a relação dos músculos, ossos e gordura o termo composição refere-se à composição química de todo o corpo do animal (Greenhalgh, 1986). E está relacionada à composição do corpo vazio, obtida pela diferença entre o peso vivo (PV) e peso dos conteúdos do trato gastrintestinal, da bexiga e da vesícula biliar (Lofgreen et al., 1962).

Devido a função vital que exercem, em comparação a outras partes do corpo, os órgãos e as vísceras apresentam diferentes velocidades de crescimento e são influenciados principalmente pela composição química da dieta e seu nível energético (Kamalzadeh et al., 1998). O maior consumo de alimento ou energia aumenta tanto a massa desses órgãos em relação a massa corporal total (Burrin et al., 1990) quanto a atividade metabólica desses tecidos (Reynolds, 1995).

Kamalzadeh et al. (1998) ao avaliarem o efeito da restrição qualitativa e o crescimento compensatório em ovinos, concluíram que no geral, as partes precoces em maturação (cabeça, pés e órgãos viscerais) tiveram alta prioridade para o uso dos nutrientes disponíveis na corrente sanguínea e, por isso, foram menos afetadas que as partes que amadurecem tardiamente. Após a realimentação, os órgãos que foram mais afetados responderam mais rapidamente do que aqueles menos acometidos.

Camilo e colaboradores (2012) avaliaram o efeito de diferentes níveis de energia metabolizável (EM) (1,28; 1,72; 2,18 e 2,62 Mcal/kg de MS) sobre os componentes não-carcaça de ovinos Morada Nova em crescimento e relataram que o aumento da energia na dieta ocasionou incremento no peso de órgãos do sistema circulatório, respiratório e naqueles de importância metabólica como o fígado, baço e intestino delgado. Assim como, maior deposição de gorduras perirrenal, omental e mesentérica. Isso evidencia que, o maior aporte energético demandou maior metabolização e distribuição dos nutrientes, dissipação do calor produzido na forma de incremento calórico, e maior acúmulo de reservas.

Souza et al. (2015) estudaram as características de componentes não integrantes da carcaça de caprinos machos castrados da raça Canindé suplementados na Caatinga. A suplementação de concentrado ofertada foi de 0,5; 1 e 1,5% do peso corporal. Os resultados demonstraram que o peso da pele, cabeça, sangue, fígado, rins, trato respiratório, trato gastrointestinal, bem como o peso da gordura total aumentou com os níveis de suplementação. O que demonstra que a suplementação tem efeito positivo mesmo em ambientes desafiadores.

Bezerra et al. (2016) testaram o desenvolvimento dos órgãos em cabritos, machos castrados, da raça Canindé alimentados *ad libitum*; com 20% e 40% de restrição em relação à quantidade consumida pelos animais a vontade. Os autores observaram que a restrição alimentar afetou o peso absoluto dos órgãos e das gorduras (mesentérica, omental e pélvico-renal), no entanto, não influenciou o percentual dos órgãos em relação ao peso de corpo vazio, indicando que mesmo sob restrição o desenvolvimento dos órgãos é proporcional ao desenvolvimento do corpo. O que indica que, animais restritos apresentam menor quantidade de reservas corporais, assim como, desenvolvimento dos órgãos como estratégia para reduzir a energia de manutenção, ocasionando um crescimento lento e menor conformação corporal.

De acordo com o AFRC (1993) a variação na composição corporal é influenciada por fatores como o estado fisiológico, a categoria sexual, o genótipo, a condição nutricional, o peso corporal e a idade.

Apesar de ser um parâmetro importante, o peso corporal isoladamente não pode ser considerado adequado para a identificação do excesso ou déficit dos componentes do corpo (massa gorda, massa muscular, massa óssea e massa total), nem mesmo para verificar as alterações nas quantidades proporcionais dos tecidos. Isso se deve ao fato de que o peso vivo e sua variação são influenciados por diferenças no tamanho à maturidade do animal e enchimento do trato gastrointestinal (CSIRO, 2007).

Além disso, o nível nutricional dietético pode modificar a curva de crescimento, alterando a idade e o peso em que ocorre a aceleração ou desaceleração de deposição de cada tecido, modificando a composição corporal final dos animais (Owens et al., 1993).

Segundo Owens et al. (1995) animais com ingestão de dietas de alta densidade energética atingem a composição corporal adequada ao abate mais rápido, desde que tenham capacidade de transformar a energia alimentar em depósitos de gordura. Ao contrário, animais que passaram por alguma restrição alimentar possuem menor taxa de crescimento e apresentam carcaças mais magras, o que demanda maior tempo para terminação em relação a seus contemporâneos com dietas de alta densidade (Figura 2).

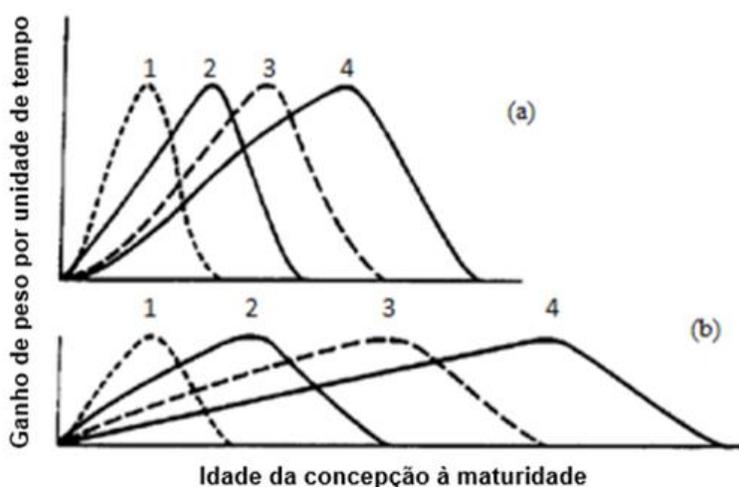


Figura 2. Taxa de crescimento dos tecidos (1) nervoso, (2) ósseo, (3) muscular e (4) adiposo para (a) rápida ou (b) lenta taxa de crescimento, ou seja, com (a) alto e (b) baixo teor energético da dieta (Adaptado de Owens et al., 1993).

Diante do exposto, nota-se que há necessidade de se realizar estudos que possam facilitar a determinação da composição corporal e sua correlação com demais fatores que a influenciam por estar diretamente relacionada a qualidade do produto final.

2.3. Determinação da composição corporal

Os métodos para determinação da composição corporal são classificados em direto e indireto, os quais apresentam pontos favoráveis e desfavoráveis quanto à sua aplicação.

O método direto é obtido pela moagem e análise química de todos os tecidos corporais (MacNeil, 1983). Já os métodos indiretos podem ser realizados por técnicas *in*

vivo – ressonância magnética por imagem, ultrassonografia, condutividade elétrica do corpo, tomografia computadorizada, impedância bioelétrica, ureia, água tritiada, óxido de deutério; ou *post mortem* - composição centesimal do corpo, composição centesimal da seção entre a nona e décima primeira costelas, composição de outras partes do corpo, gravidade específica do corpo vazio e gravidade específica da costela (Ribeiro, 2014).

A determinação da composição química do corpo vazio é o método mais preciso em relação ao valor real, sendo o padrão de referência para os demais métodos (Costa et al., 2014). Contudo, trata-se de uma técnica laboriosa e de alto custo devido à infraestrutura necessária para sua realização, sendo inviável para análises de corpo inteiro de animais de grande porte (Resende et al., 2017), ademais é necessário o sacrifício dos animais, além de demandar tempo considerável até obtenção dos resultados.

Sendo assim, métodos alternativos indiretos como o DXA têm sido avaliados com intuito de viabilizar a determinação da composição corporal de animais de produção. O método DXA é o resultado do aperfeiçoamento das tecnologias que o procederam: a Absortometria de Fóton Único (Single Photon Absortimetry - SPA); e a Absortometria de Fóton Duplo (Dual Photon Absortimetry - DPA) (Blake e Fogelman, 1997).

Ao contrário das fontes monoenergéticas de radioisótopos, os raios-X produzidos consistem de um amplo espectro de energia de fótons variando de -15 keV a 80 keV (Pietrobelli et al., 1996). Essa modificação possibilitou melhora na resolução de imagens com conseqüente aumento na precisão do método e redução no tempo dos exames, além de ser uma fonte de baixa emissão de radiação (Pomar et al., 2017).

O princípio de funcionamento do DXA baseia-se nos diferentes coeficientes de atenuação de raios-X (R-valor) de espectro de alta e baixa energia para tecido macio e tecido mineral ósseo (Scholz et al., 2012).

Segundo Pietrobelli et al. (1996) a estimativa da composição corporal pelo DXA assume que o corpo é constituído por três componentes: gordura, osso e tecido macio que são diferenciados pelas propriedades de atenuação dos raios-X (Figura 3).

Devido a dependência do coeficiente de atenuação dos raios-X sobre o número atômico e a energia do fóton, a mensuração dos fatores de transmissão em duas energias

diferentes permite inferir a densidade de área (isto é, massa por unidade de área projetada) do tecido macio e mineral ósseo (Blake e Fogelman, 1997).

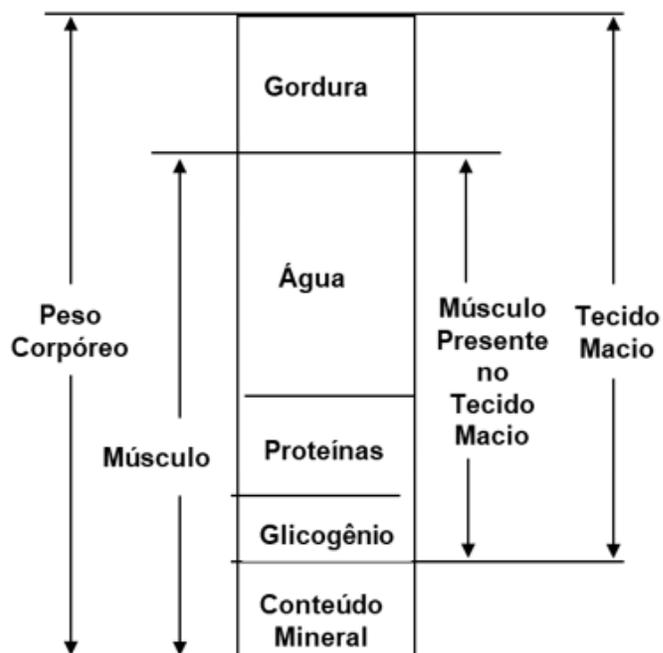


Figura 3. Componentes corporais (Adaptado de Pietrobelli et al., 1996).

2.4. Medidas DXA

Após a varredura DXA no modo selecionado, o software disponibiliza imediatamente a estimativa da composição do animal não sendo necessária manipulação adicional da imagem de varrimento. O tempo de varredura geralmente é curto sendo dependente do tamanho do animal (Scholz et al., 2012).

O DXA fornece dados quanto a massa total (MT), tecido magro (TM), tecido gordo (TG), conteúdo mineral ósseo (CMO) e densidade mineral óssea (DMO).

Como a metodologia DXA apresenta apenas dupla energia de raios-X não é possível estimar três componentes ao mesmo tempo. Sendo assim, primeiramente o aparelho separa os pixels contendo apenas tecido macio (TM + TG) dos pixels contendo tecido macio + mineral ósseo (i.e., cinzas ou ossos intactos). Essa separação de pixels é complementada pela computação de R-valor de cada pixel escaneado pela análise. O R-

valor do mineral ósseo é muito maior que aquele do tecido macio, devido a isso é possível diferenciá-los. O tecido macio adjacente ao osso é utilizado como referência de espessura e composição para cálculo DMO que posteriormente é convertida em CMO com base na área óssea projetada ($CMO = DMO \times \text{Área}$) (Pietrobelli et al., 1996).

Nas regiões ausentes em osso é possível distinguir o tecido magro e o tecido gordo, presentes no tecido macio. O tecido magro compreende os tecidos muscular e não-muscular isentos de gordura e se correlaciona com a água corporal total (Gottfredsen et al., 1986). É reconhecida uma limitação significativa à precisão do DXA quanto a determinação da composição do tecido magro e gorduroso a partir do tecido macio, pois a metodologia DXA assume que a quantidade de gordura sobre o osso é a mesma ao longo do tecido macio adjacente, porém a distribuição de gordura ao longo do corpo não é uniforme. O tecido gordo se diferencia do tecido magro por seu maior conteúdo de hidrogênio resultando em coeficiente de atenuação de raios $-X$ diferente (Pietrobelli et al., 1996).

Segundo Laskey (1996) nos exames de corpo inteiro, cerca de um terço de todos os pixels contém osso, portanto não podem ser utilizados para determinar tecido magro e tecido gordo isoladamente. No entanto, em regiões como tórax, braço e cabeça, a porcentagem de pixels livres de ossos será muito menor e pode ser insuficiente para determinar com precisão o tecido macio e, portanto, o tecido ósseo, uma vez que o tecido macio é utilizado como referência de espessura e composição para cálculo da DMO que resulta no CMO.

O motivo pelo qual os tecidos dissecados podem ser relacionados às medidas estimadas pelo DXA é a forte correlação existente entre o tecido adiposo dissecado com o tecido gordo DXA, o tecido muscular dissecado com o tecido magro DXA e o tecido ósseo dissecado com CMO e tecido magro (Marcoux et al., 2005). Isso ocorre porque a gordura é rica em lipídios, o material de referência do tecido gordo DXA; similarmente, a carne bovina magra é usada como referência para mensuração do tecido magro DXA (Pietrobelli et al., 1996). O tecido ósseo está correlacionado com o CMO porque a calibração DXA pode ser realizada com peças artificiais que simulam os ossos e sua

correlação com o tecido magro é devida à forte relação positiva entre músculo e osso (Pietrobelli et al., 1996; Schoenau, 2005).

Em suma, com sua precisão geral, rápida mensuração, baixa dose de radiação e possibilidade de ser comparado ao método direto, o DXA é susceptível a se tornar um método amplamente utilizado para avaliar a composição corporal de animais.

2.5. Uso do DXA em animais de produção

Os métodos de absorptometria foram inicialmente propostos para utilização em seres humanos (Blake e Fogelman, 1997). O interesse de avaliações DXA em animais de produção se tornou uma tendência por possibilitar mensurar a variação na deposição dos tecidos e a relação entre estes em função de fatores cronológicos, fisiológicos, nutricionais e ambientais a que os animais estão expostos.

Os scanners disponíveis no mercado ainda não são grandes o suficiente para permitir escaneamentos de corpo inteiro para animais de grande porte (e.g., equinos e bovinos) com exceção de análises de carcaça (Stone e Turner, 2012).

Devido à grande variabilidade da proporção de água e gordura no corpo animal sua correta quantificação pelo DXA, em referência ao método padrão de análise química, é o parâmetro que melhor indica a acurácia (Emmans e Kyriazakis, 1997).

Mitchell et al. (1996) avaliaram a técnica DXA para mensurar a composição corporal de suínos. O estudo demonstrou que a percentagem média de gordura corporal medida pelo DXA não foi significativamente diferente dos resultados da análise química. No entanto, a análise de correlação de concordância revelou uma precisão inaceitável na medição DXA devido a viés negativo para porcentagens menores (<20%) e um viés positivo para porcentagens maiores (>20%), indicando que o DXA poderia superestimar a porcentagem de gordura em suínos gordos e subestimar em suínos magros. O que foi atribuído a grande variação no tamanho corporal dos animais estudados. Foram encontradas altas correlações entre os dois métodos para tecido gordo (TG), tecido magro (TM) e massa total (MT), ($R^2=0,989$; 0,968 e 0,999, respectivamente).

Em aves, o primeiro trabalho realizado utilizando a ferramenta DXA pertence a Mitchell e colaboradores (1997), novos estudos só vieram ocorrer sete anos depois.

Swennen et al. (2004) validaram o uso do método para galinhas *in vivo*. Os autores encontraram alto grau de correlação ($R^2 > 0,9$) para todos os parâmetros, exceto para porcentagem de gordura ($R^2 = 0,59$). O DXA superestimou as médias de MT e TM, em relação ao peso obtido em balança, tendo maior efeito para animais com menor peso vivo (PV). Para menor PV (aproximadamente < 1.500 g) a água obtida quimicamente foi superestimada pelo DXA, enquanto que, para maior PV foi subestimada. O TG mensurado pelo DXA alcançou valores muito próximos aos reais obtidos pela análise química da gordura ($\pm 6,3\%$; erro médio = $19,6\%$) não havendo influência do PV. O DXA subestimou o CMO o que foi justificado pela baixa mineralização/calcificação dos ossos em animais jovens.

As discrepâncias entre os resultados de massa total e tecido magro estimados pelo DXA e valores reais obtidos pela análise química foram relatadas posteriormente por Pomar et al. (2017) ao observarem que a relação entre a água e os tecidos com ausência de gordura deve ser considerada em estudos com grande variação de peso vivo dos animais. O conteúdo de água varia de um indivíduo para outro, sendo maior em animais jovens e menor em animais que alcançaram a maturidade, se mantendo constante após esta fase.

Gonçalves et al. (2018) estudaram a composição corporal de frangos de corte Cobb500, de ambos os sexos, alimentados com 70%, 100% ou 130% de proteína bruta no concentrado. A análise de variância demonstrou que os níveis de proteína testados provocaram grande variação na composição corporal das aves, porém não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre o DXA e o método de análise química para tecido gordo, tecido magro ou conteúdo mineral ósseo, sendo necessário desenvolver equações de regressão para melhorar a predição *in vivo* destes componentes.

Embora em menor quantidade em relação aos demais não ruminantes de interesse zootécnico existem estudos recentes publicados com peixes.

Johnson et al. (2017) trabalharam na predição da composição corporal de channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Os resultados de coeficiente de variação (CV) apresentaram

baixa precisão para TG (27 - 34%) o que foi atribuído ao baixo conteúdo de gordura detectado pelo DXA (0–1% relativo a massa total), contudo o uso de análises de regressão reduziu o CV do TG para 5-5,5%. O DXA foi significativamente diferente quando comparado à análise química para TM, CMO e TG, superestimando TM e subestimando TG e o CMO. Contudo, todos os três tecidos se correlacionaram fortemente com a carcaça.

Segundo Mercier (2006) a relação entre os métodos DXA e químico para TG é afetada pelo conteúdo de gordura do animal, sendo especialmente problemático com animais muito magros (menos de 5% de gordura). Sendo assim, as equações de predição podem ser uma alternativa viável para corrigir erros na detecção de tecido gordo em animais de carcaça magra analisados pelo DXA.

Recentemente, Lovett et al. (2019) investigaram a relação entre a composição corporal e a curvatura espinhal do salmão-rei produzido na Nova Zelândia (*Oncorhynchus tshawytscha*). Como obtido no estudo anterior, o CMO derivado do DXA apresentou resultados significativamente menores comparados a análise química da carcaça. Já os valores de TM e TG entre os dois métodos foram altamente semelhantes. Não houve relação entre a curvatura e a composição corporal, o que foi associado a falha na escolha das unidades experimentais.

Embora os valores de CMO derivados do DXA tenham sido consistentemente mais baixos do que aqueles obtidos pela análise química, esta é uma discrepância frequentemente relatada. Pois, o DXA mede o conteúdo mineral exclusivamente de osso, enquanto os valores de cinzas representam o conteúdo mineral cumulativo de todas as células da amostra, por consequência, os valores DXA são subestimados (Johnson et al., 2017).

Os animais ruminantes, por sua vez, ainda possuem poucas pesquisas com o método DXA quando comparados aos não ruminantes.

Os estudos com bovinos têm se concentrado em determinar a composição e mineralização óssea em diferentes regiões de interesse (Oden et al., 1998; Keene et al., 2004; Zotti et al., 2010; Maetani et al., 2015; Maetani et al., 2016). Este fato, se deve ao porte físico dos animais ser superior a capacidade scanner dos equipamentos DXA

comercialmente disponíveis, sendo assim, pesquisas de composição têm sido realizadas com animais jovens ou com a seção da costela proposta como método indireto para avaliação da composição corporal de bovinos por Hankins e Howe (1946).

Scholz et al. (2003) analisaram a composição corporal de bezerros mestiços F1 e F2 e seus controles de raça pura, das raças leiteiras German Holsteins (GH) e German Fleckvieh (GF). Os autores observaram que os bezerros controle da raça GH apresentaram a menor percentagem para TG e as maiores percentagens para TM. Esse fato se explica visto que a correlação entre deposição de músculo e gordura é inversamente proporcional. Além disso, notaram que com o aumento do número de lactações da progenitora o TM das crias tendeu a reduzir, especialmente quando comparada a primeira lactação em relação as demais, enquanto o CMO e a DMO aumentaram, o que segundo autores necessita ser melhor investigado.

Prados et al. (2016) avaliaram equações previamente desenvolvidas para predição da composição entre a nona e a décima primeira costela (seção HH), assim como, desenvolveram novos modelos de regressão usando procedimento de validação cruzada para as raças Nelore e Nelore x Angus. Os resultados demonstraram que as equações DXA obtiveram boa precisão e acurácia em relação a composição química da seção HH, apresentando coeficiente de correlação e concordância de 0,975; 0,968; 0,945; e 0,784 para tecido magro, tecido macio, tecido gordo e cinzas, respectivamente.

Inicialmente as pesquisas com ovinos também se concentraram na busca por informações quanto a viabilidade do DXA em determinar densidade e conteúdo mineral ósseo (Kaymakci e Wark, 1994; Turner et al., 1995; Pouilles et al., 2000). Contudo, ao longo dos anos e com avanço dos softwares a possibilidade de se mensurar a composição corporal dos ovinos começou a despertar interesse e ser investigada pelos pesquisadores (Scholz et al., 2010; Pearce et al., 2009; Hunter et al., 2011).

Recentemente, Miller et al. (2018) avaliaram o método DXA para mensurar o teor total de gordura corporal em carneiros. Dentre outros objetivos os autores compararam os valores DXA, químico e de escore de condição corporal (ECC). Houve correlação moderada entre a gordura corporal DXA e o ECC ($R^2=0,70$), e correlação elevada ($R^2=0,81$) entre a gordura corporal DXA e a gordura corporal química.

A relação moderada entre a gordura DXA e o ECC talvez seja explicada pelo fato de que este último apesar de ser um método bastante citado na literatura, de fácil mensuração, rápida execução e teoricamente sem custo, se trata de um método subjetivo. Além disso, deve ser compreendido que embora o ECC seja estimado individualmente, a performance animal correspondente só pode ser predita em um lote ou rebanho e não em indivíduos (CSIRO, 2007).

Finalmente, em caprinos, até o presente momento, foram encontrados dois trabalhos relacionados a técnica DXA.

Corten et al. (1997) avaliaram o DXA para prever a influência de materiais de implante na capacidade de cicatrização óssea interfacial. Utilizaram doze cabras adultas. Os implantes foram colocados nos côndilos lateral e medial dos fêmures esquerdo e direito. Três meses após a cirurgia os animais foram abatidos. As regiões mais próximas dos implantes exibiram uma maior DMO das demais regiões. Sendo que, a DMO foi maior para os côndilos mediais em relação aos laterais. Tal resultado coincidiu para os côndilos não implantados. Os autores concluíram que o DXA demonstrava ser uma excelente ferramenta para estabelecer a reação da quantidade de aposição óssea ao redor do implante.

Mi et al. (2016) avaliaram a resistência à compressão das vértebras pelo método Hounsfield Unit (HU) e sua interação com o método DXA. Foram utilizadas quarenta e duas vértebras lombares retiradas de sete cabras adultas. O método HU apresentou correlação moderada com o DXA ($R^2=0,64$). Não houve diferença significativa entre os métodos HU e DXA para prever a carga final ou a tensão final. O que levou os autores a concluírem que o HU tem um valor preditivo igual ao DXA para resistência à compressão do corpo vertebral inteiro podendo ser utilizado para avaliar a resistência óssea e risco de fratura.

Portanto, após apresentar estes relatos, até onde se sabe, a validação da composição corporal de caprinos usando o método DXA não foi previamente realizada.

2.6. Modelos matemáticos para predição do crescimento

O organismo animal é um sistema biológico com interações complexas e controle interno altamente refinado (Sauvant, 1994). O uso de modelos matemáticos é uma prática comum na produção animal que tem como propósito simplificar a compreensão de fenômenos biológicos, como o crescimento, por meio de dados quantitativos que tenham influência sobre o fenômeno estudado (Rondón et al., 2002).

Os modelos matemáticos descrevem o sistema mediante equações matemáticas para as quais são necessários dados de entrada e saída do modelo. Segundo Baldwin (1995) os modelos podem ser classificados em distintas categorias, sendo elas:

- Empíricos ou mecanicistas: segundo o grau de explicação dos fenômenos analisados, sendo empíricos quando o resultado final é atribuído diretamente ao tratamento aplicado e mecanístico quando incorporam conceitos da física, química, bioquímica, etc. de níveis de agregação mais baixos (e.g. função celular);
- Estáticos ou dinâmicos: de acordo com seu comportamento em relação ao tempo, sendo estático ao descrever o fenômeno em determinado momento (e.g. exigência nutricional para idade específica) e dinâmico quando os parâmetros variam ao longo do tempo (e.g. curva de crescimento);
- Estocásticos ou determinísticos: em relação a distribuição de probabilidade dadas suas variáveis e parâmetros, sendo estocásticos quando as prováveis respostas dependem da distribuição de probabilidade dos dados fornecidos, já os modelos determinísticos possuem apenas uma resposta para o conjunto de dados avaliado.

Segundo Draper e Smith (1981) os modelos podem ser classificados em lineares ou não lineares, em relação à forma matemática.

- Linear: quando todos os parâmetros estão dispostos linearmente, sendo uma classe flexível uma vez que muitos modelos podem ser formulados;
- Não linear: têm como vantagem condensar várias informações em alguns parâmetros biologicamente interpretáveis. Os modelos não lineares mais utilizados para descrição do crescimento dos animais são o Brody (Brody, 1945), Von Bertalanffy

(Bertalanffy, 1957), Richards (Richards, 1959), Logístico (Nelder, 1961) e Gompertz (Winsor, 1932).

Por meio dos modelos matemáticos é possível comparar taxas de crescimento de diferentes indivíduos em estados fisiológicos equivalentes, estimar as exigências nutricionais para categorias específicas em cada sistema de produção. Também permitem prever a idade ótima ao abate em função da taxa máxima de crescimento (Fitzhugh Jr, 1976). Outra importância da curva de crescimento é dar suporte ao processo de seleção, bem como acompanhar o progresso genético. Pode-se, desta maneira, comparar animais considerando-se efeitos não controlados em grupos de manejo como por exemplo, o sexo (Tholon e Queiroz, 2009).

As equações propostas neste trabalho para determinar a composição corporal são lineares seguindo a fórmula padrão de regressão $Y = a + b.X$, desta forma, o Y é a variável dependente e o X a variável independente, sendo 'a' e 'b' componentes constantes de cada modelo. Em que o 'a' é o intercepto e 'b' é o coeficiente de regressão.

A regressão linear se torna uma ferramenta útil pois pode ser utilizada para converter as mensurações DXA em componentes do corpo ou da carcaça, sendo estas regressões específicas para cada equipamento DXA, espécie animal e parte corpórea (Mitchell et al., 1997).

3. REFERÊNCIAS

Agricultural Food and Research Council (1993) **Energy and protein requirements of ruminants: an advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients**. Wallingford: CAB International, p.175.

Aziz MA (2010) Present status of the world goat populations and their productivity. Cuxhaven: **Lohmann Tierzucht GmbH** p. 42-52.

Baldwin RL (1995) **Modeling ruminant digestion and metabolism**. London: Springer Netherlands p.578.

Berg RT, Butterfield RM (1976) **New concepts of cattle growth**. Sydney: Sydney University Press p. 255.

Bertalanffy LV (1957) Quantitative laws in metabolism and growth. **Quarterly Review of Biology** 32:217-230.

Bezerra AB, Medeiros AN, Gonzaga Neto S, Bispo SV, Carvalho FFR, Santos Neto JM, Souza AP, Ribeiro LPS (2016) Desenvolvimento dos órgãos e deposição de gorduras em cabritos Canindé sob restrição alimentar. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** 17:55-64.

Blake GM, Fogelman I (1997) Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry. **Seminars in Nuclear Medicine** 27:210–228.

Brody S (1945) **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold p.1023.

Burrin DG, Ferrel CL, Britton RA, Bauer M (1990) Level of nutrition and visceral organ size and metabolic activity in sheep. **British Journal of Nutrition** 64:439-448.

Camilo DA, Pereira ES, Pimentel PG, Costa MRGF, Mizubuti IY, Ribeiro ELA, Campos ACN, Pinto AP, Moreno MB (2012) Peso e rendimento dos componentes não-carcaça de ovinos Morada Nova alimentados com diferentes níveis de energia metabolizável. **Semina: Ciências Agrárias** 33:2429-2440.

Cartaxo de Lucena C, Martins EC, Magalhães KA, Holanda Filho ZF (2018) **Produtos de origem caprina e ovina: mercado e potencialidades na região do semiárido brasileiro**. Sobral: Embrapa: CIMCO, 17 p. (Embrapa-CIMCO. Boletim, 3).

Catunda KLM, Aguiar EM, Silva JGM, Rangel AHN (2016) Leite caprino: características nutricionais, organolépticas e importância do consumo. **Revista Centauro** 7:34 – 55.

Colomer-Rocher F, Kirton AH, Mercer GJK, Duganzich DM (1992) Carcass composition of New Zealand Saanen goats slaughtered at different weights. **Small Ruminant Research** 7:161–173.

Corten FGA, Caulier H, van der Waerden JPCM, Kalk W, Corstens FHM, Jansen JA (1997) Assessment of bone surrounding implants in goats: ex vivo measurements by dual x-ray absorptiometry. **Biomaterials** 18:495-501.

Costa e Silva LF, Valadares Filho SC, Rotta PP, Marcondes MI, Fonseca e Silva F, Paulino MF, Gionbelli MP, Chizzotti ML (2016) Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos de corte. In: Valadares Filho SC, Costa e Silva LF, Gionbelli, MP, Rotta PP, Marcondes MI, Chizzotti ML, Prados LF (Eds.) **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados de corte**. Viçosa: UFV, p. 327.

Costa MRGF, Pereira ES, Pinto AP, Silva AMA, Medeiros NA, Mizubuti IY, Ribeiro ELA, Campos ACN, Gadelha CRF, Oliveira RL (2014) Predição da composição química corporal de cordeiros Morada Nova usando a composição da seção entre a 9ª e 11ª costelas. **Semina: Ciências Agrárias** 35:2019-2032.

CSIRO (2007) **Nutrient requirements of domesticated ruminants**. Collingwood: CSIRO Publishing. p. 270.

Da Rosa GT, Pires CC, Da Silva JHS, Da Motta OS (2005) Crescimento alométrico de osso, músculo e gordura em cortes de carcaça de cordeiros Texel segundo os métodos de alimentação e peso de abate. **Ciência Rural** 35:870- 876.

Draper NR, Smith H (1981) **Applied regression analysis**. New York: John Wiley and Sons p. 709.

Dubeuf JP, Morand-Fehr P, Rubino R (2004) Situation, changes and future of goat industry around the world. **Small Ruminant Research** 51:165-173.

Emmans GC, Kyriazakis I (1997) Models of pig growth: problems and proposed solutions. **Livestock Production Science** 51:119-129.

Estrada LHC (1996) Composição corporal e exigências de proteína, energia e macroelementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K), características da carcaça e desempenho do nelore e mestiços em confinamento. 129 p. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) – UFV, Viçosa.

FAOSTAT (2017) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **FAOSTAT Database**.

Fernandes HJ, Paulino MF, Martins RGR, Valadares Filho SC, Torres RA, Paiva LM, Ribeiro VA (2005) Crescimento de componentes corporais de três grupos genéticos nas fases de recria e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia** 34:288-296.

Fitzhugh Jr HA (1976) Analysis of growth curves and strategies for altering their shapes. **Journal of Animal Science** 42:1036-1051.

Gotfredsen A, Jensen J, Borg J, Christiansen C (1986) Measurement of lean body mass and total body fat using dual photon absorptiometry. **Metabolism** 35:88-93.

Gonçalves CA, Sakomura NK, Silva EP, Artoni SMB, Suzuki RM, Gous RM (2018) Dual energy X-ray absorptiometry is a valid tool for assessing *in vivo* body composition of broilers. **Animal Production Science** 59:993-1000.

Greenhalgh JFD (1986) Recent studies on the body composition of ruminants. **Proceedings of the Nutrition Society** 45:119 – 130.

Guimarães Filho C (2017) Ponto de vista: cabrito, a carne vermelha mais saudável do mundo. **Revista de Política Agrícola** 26:125-126.

Hammond J (1932) **Growth and development of mutton qualities in the sheep**. Oliver and Boyd: London, p. 597.

Heyward V (2001) Methods recommendation: body composition assessment. **Journal of Exercise Physiology** 4:1–10.

Hunter TE, Suster D, Dunshea FR, Cummins LJ, Egana AR, Leury BJ (2011) Dual energy x-ray absorptiometry (DXA) can be used to predict live animal and whole carcass composition of sheep. **Small Ruminant Research** 100:143– 152.

IBGE (2017) **Censo Agropecuário: Resultados preliminares**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2018.

Johnson MS, Watts RJ, Hammer HS, Nagy TR, Watts SA (2017) Validation of dual-energy X-ray absorptiometry to predict body composition of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Journal of the World Aquaculture Society** 48:122–131.

Kamalzadeh A, Koops WJ, Van Bruchem, J, Tamminga S, Zwart D (1998) Feed quality restriction and compensatory growth in growing sheep: development of body organs. **Small Ruminant Research** 29:71-82.

Kaymakci B, Wark JD (1994) Precise accurate mineral measurements of excised sheep bones using x-ray densitometry. **Bone and Mineral** 25:231-246.

Keene BE, Knowlton KF, McGilliard ML, Lawrence LA, Nickols-Richardson SM, Wilson JH, Rutledge AM, McDowell LR, Van Amburgh ME (2004) Measures of bone mineral content in mature dairy cows. **Journal of Dairy Science** 87:3816–3825.

Lawrence T, Fowler V (2002) **Growth of farm animals**. CAB International: Wallingford, p.329.

Lázia B (2017) **Caprinos da raça Saanen: aptidão leiteira é a principal característica**. Disponível em: <<https://www.afe.com.br/noticias/caprinos-da-raca-saanen-aptidao-leiteira-e-a-principal-caracteristica>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

Lofgreen GP, Hull JL, Otagaki KK (1962) Estimation of empty body weight of beef cattle. **Journal of Animal Science** 21:20-24.

Lovett BA, Firth EC, Plank LD, Symonds JE, Preece MA, Hebert NA (2019) Investigating a relationship between body composition and spinal curvature in farmed adult New Zealand king salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*): a novel application of dual-energy X-ray absorptiometry. **Aquaculture** 502:48-55.

MacNeil MD (1983) Choice of a prediction equation and the use of the selected equation in subsequent experimentation. **Journal of Animal Science** 57:1328-1336.

Maetani A, Itoh M, Nishihara K, Aoki T, Ohtani M, Shibano K, Kayano M, Yamada K (2016) Experimental assessment of bone mineral density using quantitative computed tomography in Holstein dairy cows. **The Japanese Society of Veterinary Science** 78:1209–1211.

Maetani A, Teramura M, Yamazaki M, Ohtani M (2015) Comparison among bone density determined by dual-energy x-ray absorptiometry, blood bone marker levels and age in Holstein cows. **Japanese Journal of Large Animal Clinics** 5:91-196.

Marcoux M, Faucitano L, Pomar C (2005) The accuracy of predicting carcass composition of three different pig genetic lines by dual-energy X-ray absorptiometry. **Meat Science** 70:655-663.

Mercier J, Pomar C, Marcoux M, Goulet F, Thériault M, Castonguay FW (2006) The use of dual-energy x-ray absorptiometry to estimate the dissected composition of lamb carcasses. **Meat Science** 73:249-257.

Mi J, Li K, Zhao X, Zhao CQ, Li H, Zhao J (2016) Vertebral body compressive strength evaluated by dual-energy x-ray absorptiometry and Hounsfield units in vitro. **The International Society for Clinical Densitometry** 21:148–153.

Miller DW, Bennett EJ, Harrison JL, Anderson F, Adam CL (2018) Dual-energy x-ray absorptiometry scans accurately predict differing body fat content in live sheep. **Journal of Animal Science and Biotechnology** 9:1-6.

Mitchell AD, Conway JM, Potts WJE (1996) Body composition analysis of pigs by dual-energy x-ray absorptiometry. **Journal of Animal Science** 74:2663-2671.

Mitchell AD, Rosebrough RW, Conway JM (1997) Body composition analysis of chickens by dual energy x-ray absorptiometry. **Poultry Science** 76:1746-1752.

Nelder JA (1961) The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics** 17:89-110.

Oden ZM, Selvitelli DM, Hayes WC, Myers ER (1998) The effect of trabecular structure on DXA-based predictions of bovine bone failure. **Calcified Tissue International** 63:67-73.

Owens FN, Dubeski P, Hanson CF (1993) Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science** 71:3138-3150.

Owens FN, Gill DR, Secrist DS, Coleman SW (1995) Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. **Journal of Animal Science** 73:3152-3172.

Pearce KL, Ferguson M, Gardner G, Smith N, Greef J, Pethick DW (2009) Dual X-ray absorptiometry accurately predicts carcass composition from live sheep and chemical composition of live and dead sheep. **Meat Science** 81:285–293.

Pietrobelli A, Formica C, Wang Z, Heymsfield SB (1996) Dual-energy x-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. **American Journal of Physiology** 271:941-951.

Pomar C, Kipper M, Marcoux M (2017) Use of dual-energy x-ray absorptiometry in non-ruminant research. **Revista Brasileira de Zootecnia** 46:621-629.

Pouilles JM, Collard P, Tremollieres F, Frayssinet P, Railhac JJ, Cahuzac JP, Autefage A, Ribot C (2000) Accuracy and precision of *in vivo* bone mineral measurements in sheep using dual-energy x-ray absorptiometry. **Calcified Tissue International** 66:70-73.

Prados LF, Zanetti D, Amaral PM, Mariz LDS, Sathler DFT, Valadares Filho SC, Silva FF, Silva BC, Pacheco MC, Alhadas HM, Chizzotti ML (2016) Technical note: prediction of chemical rib section composition by dual energy X-ray absorptiometry in Zebu beef cattle. **Journal of Animal Science** 94:2479-2484.

Reynolds CK (1995) **Quantitative aspects of liver metabolism in ruminants**. Ferdinand EnkeVerlag: Stuttgart, p.351-371.

Ribeiro AC, Ribeiro SDA (2010) Specialty products made from goat milk. **Small Ruminant Research** 89:225–233.

Ribeiro FLA (2014) **Composição corporal e metodologias para a determinação de exigências nutricionais em cordeiros**. 65 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – UFL, Lavras.

Richards FJ (1959) A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany** 10:290-300.

Rodrigues Filho M, Zangeronimo MG, Lopes LS, Ladeira MM, Andrade I (Eds.) (2011) Fisiologia do crescimento e desenvolvimento do tecido muscular e sua relação com a qualidade da carne em bovinos. **Revista Eletrônica Nutritime** 8:1431-1443.

Rondón EOO, Murakami AE, Sakaguti ES (2002) Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola** 4:199-207.

Sauvant D (1994) Modelling homeostatic and homeorhetic regulations in lactating animals. **Livestock Production Science** 39:105-113.

Scholz AM, Kremer PV, Wenczel R, Pappenber E, Bernau M (2012) Body composition in farm animals by dual energy X-ray absorptiometry. In: Maltin C, Craigie C, Bünger L (Eds.) **Farm animal imaging**. Ingleston: QMS, p. 9-14.

Scholz AM, Mitchell AD (2010) Body composition: indirect measurement. In: De Ullrey, Baer CK, Pond WG (Eds.) **Encyclopedia of animal Science**. Boca Raton: CRC Press, p. 152–156.

Scholz AM, Nüske S, Förster M (2003) Body composition and bone mineralization measurement in calves of different genetic origin by using dual-energy x-ray absorptiometry. **Acta Diabetologica** 40:91–94.

Silva RA (2003) **Caprinocultura: Mundo, Brasil e Paraná**. Disponível em: < http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/caprinos_AGO_03.pdf >. Acesso em: 28 jul. 2019.

Souza, CMS, Medeiros AN, Costa RG, Pereira ES, Azevedo PS, Lima Júnior V, Rocha LP, Souza AP (2015) Características da carcaça e componentes não integrantes da carcaça de caprinos Canindé suplementados na caatinga. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** 16:723-735.

Stone MD, Turner AJ (2012) Use of dual-energy x-ray absorptiometry. In: Perez-Marin CC (Ed.) **A bird's-eye view of veterinary medicine**. Croatia: InTech, p. 99-116.

Swennen Q, Janssens PJ, Geers R, Decuypere E, Buyse J (2004) Validation of dual-energy x-ray absorptiometry for determining *in vivo* body composition of chickens. **Poultry Science** 83:1348-1357.

Tholon P, Queiroz SA (2009) Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento genético animal. **Ciência Rural** 39:2261-2269.

Turner AS, Mallinckrodt CH, Alvis MR, Bryant HU (1995) Dual-energy x-ray absorptiometry in sheep: experiences with *in vivo* and *ex vivo* studies. **Bone and Mineral** 17:81-387.

Urbano SA, Ferreira MA, Dutra Junior WM, Andrade RPX, Siqueira MCB, Félix SCR (2013) Carcass characteristics of sheep fed with castor bean hulls in replacement of Tifton 85 hay. **Ciência agrotécnica** 36:85-93.

Winsor CP (1932) The Gompertz curve as a growth curve. **Proceedings of the National Academy of Science** 18:1.

Zotti A, Giancesella M, Ceccato C, Morgante M (2010) Physiological values and factors affecting the metacarpal bone density of healthy feedlot beef cattle as measured by dual-energy x-ray absorptiometry. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 94:615–622.

CAPÍTULO 2 – VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE ABSORTOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA (DXA) PARA PREDIÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL *IN VIVO* DE CAPRINOS

RESUMO – A absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) é um método não-invasivo para mensurar a composição corporal de animais que representa uma alternativa aos métodos padrões de dissecação e análise química, por ser uma técnica de fácil aplicabilidade e que possibilita o acompanhamento das variações na composição corporal do animal ao longo de sua vida. Assim, o objetivo deste estudo foi verificar a capacidade do método DXA em determinar a composição corporal de caprinos submetidos a dois níveis nutricionais. Para isso, foram utilizados 36 cabritos machos castrados da raça Saanen, divididos em três faixa etárias (3, 5 e 7 meses), cada faixa etária era composta por 12 animais, sendo 6 mantidos sob regime alimentar a vontade (AL), consumo sob manutenção com adicional para ganho de 150 g.dia^{-1} ; e 6 sob manutenção (M). A dieta era composta por silagem de milho e concentrado em uma proporção percentual 50:50. O peso vivo médio ao abate foi de $13,3 \pm 0,53$, $15,2 \pm 0,53$ e $22,0 \pm 0,53$ kg para os cabritos com três, cinco e sete meses de idade, respectivamente. A média de ingestão de matéria seca foi 3,16% e 2,77% do peso vivo para os grupos AL e M, respectivamente. Assim que atingiram a idade pré-estabelecida os animais foram mantidos em jejum de líquido e sólidos por 24 horas e escaneados no aparelho DXA Hologic (Discovery Wi). Posteriormente, os animais foram abatidos sendo realizada análise química do corpo inteiro para comparação entre os métodos. O pernil esquerdo foi seccionado da carcaça total escaneado pelo aparelho DXA, e então, dissecado em osso, músculo e tecido adiposo, cada componente foi analisado individualmente no DXA, e posteriormente submetido a análise química para servir de referência aos parâmetros DXA obtidos com animais *in vivo*. O delineamento utilizado foi o inteiramente ao acaso em fatorial 3×2 , com seis repetições. A comparação entre o método direto de análise química e o método DXA com animais *in vivo* demonstrou forte correlação para prever a composição corporal ($R^2 = 0,82$; 0,96 e 0,98 para cinzas, gordura e proteína). O pernil demonstrou ser um bom parâmetro para prever o corpo vazio, assim como, o corpo inteiro mensurado pelo DXA. Os tecidos dissecados do pernil (ossos, músculos e tecido adiposo) analisados pelo método químico, foram utilizados como referência para as medidas DXA e apresentaram boa concordância para predição da composição tecidual ($R^2 = 0,73$; 0,79 e 0,90 para cinzas, gordura e proteína). A massa corpórea obtida quimicamente pela soma dos nutrientes corporais (água + proteína + gordura) apresentou forte correlação com a massa total estimada pelo DXA ($R^2 = 0,98$). De modo geral, apesar das discrepâncias existentes na forma de mensurar a composição corporal entre os métodos, e os erros inerentes a cada metodologia, o método DXA se mostrou eficaz na predição da composição corporal, podendo ser utilizado como método de referência na avaliação de caprinos *in vivo* ou em parte específica do corpo.

Palavras-chave: método indireto, pequenos ruminantes, validação

CHAPTER 2 - VALIDATION OF THE DUAL ENERGY X-RAY ABSORPHETRY (DXA) METHOD FOR THE PREDICTION OF *IN VIVO* GOATS BODY COMPOSITION

ABSTRACT – Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) is a noninvasive method to measure the body composition of animals that represents an alternative to comparative slaughter, since it is a technique that is easy to apply and allows monitoring the variations in the animal's body composition throughout its productive life. The objective was to evaluate the use of DXA method in determining the body composition of goats submitted to two nutritional levels. For this, 36 castrated male Saanen kids were divided into three age groups (3, 5 and 7 months), each age group was composed of 12 animals, 6 of which were kept under diet *ad libitum* (AD), consumption under maintenance additional for gain of 150 g.day⁻¹; and 6 under maintenance (L). The diet was composed of corn silage and concentrated in a 50:50 percentage ratio. The mean live weight at slaughter was 13.3 ± 0.53, 15.2 ± 0.53 and 22.0 ± 0.53 for goats at three, five and seven months of age, respectively. The mean dry matter intake was 3.16% and 2.77% of the live weight for the AD and L groups, respectively. As soon as they reached the pre-established age, the animals were fasted for 24 hours and scanned in the Hologic DXA device (Discovery Wi). Then, the animals were slaughtered and whole body chemical analysis was performed for comparison between methods. The left leg was sectioned from the total carcass and scanned by the DXA device, after that, it was dissected into bone, muscle and fat, each component was individually analyzed by DXA, and then chemical analysis was performed to be reference for *in vivo* DXA parameters. The design was completely randomized in 3x2 factorial, with six replications. The relationship between the comparative slaughter method and *in vivo* DXA analyze showed a strong correlation ($R^2=0.82$, 0.96 and 0.98 for ashes, fat and protein). The shank proved to be a good parameter for empty body and *in vivo* DXA prediction. The dissected shank tissues (bones, muscles and fat) analyzed by the chemical method were used as reference for DXA measurements and showed good concordance for tissue composition prediction ($R^2=0.73$, 0.79 and 0.93 for ashes, fat and protein). The body mass obtained chemically by the sum of the body nutrients (water + protein + fat) presented a strong correlation with the total mass estimated by DXA ($R^2=0.98$). In general, despite the discrepancies in the body composition measurement among the methods, and the errors inherent to each one, the DXA method proved to be effective in predicting body composition, so can be used as reference method for goat evaluation *in vivo* or in specific parts of the body.

Keywords: indirect method, small ruminants, validation

1. INTRODUÇÃO

A composição corporal tem influência direta na produção de animais de interesse zootécnico, pois se refere ao estudo da deposição tecidual no corpo e das variáveis que a afetam como raça, sexo, peso, estado fisiológico e nível nutricional, sendo o ponto inicial para determinar as exigências nutricionais (Laskey, 1996).

A composição corporal pode ser mensurada através de dois métodos, o direto e o indireto. O método químico representa o método direto e, apesar de ser considerado referência padrão, implica em elevado custo laboratorial, tempo e perda da amostra analisada (Resende et al., 2017). O método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) compõe um dos métodos indiretos. Dentre suas vantagens destaca-se a rápida análise, não destruição da amostra e possibilidade de realizar estudos longitudinais (Scholz et al., 2012). Contudo, necessita ser validado para cada espécie testada.

Há diversas décadas têm sido realizados estudos com o método DXA para validar a composição corpórea de várias espécies de interesse zootécnico como suínos, aves, peixes, perus, ovinos e bovinos. Porém, a espécie caprina ainda não foi avaliada. Os caprinos, apesar das semelhanças com ovinos e bovinos, apresentam diferenças significativas quanto as exigências nutricionais, composição da carcaça e distúrbios metabólicos (NRC, 1981). Isso justifica a busca por maior compreensão sobre a deposição tecidual de caprinos de forma isolada dos demais ruminantes.

A raça Saanen possui aptidão leiteira e detém a maior produção mundial de leite dentre as raças caprinas (De Lazzari, 2017). Devido a isso, tem sido utilizada para a formação e/ou melhoramento de outras raças leiteiras (Silva, 2003). O leite caprino é considerado um alimento funcional (Catunda et al., 2016) e os produtos lácteos caprinos possuem alto valor agregado com demanda no mercado gourmet (Ribeiro e Ribeiro, 2010). Apesar disso, a espécie caprina, especificamente a raça Saanen, possui poucos estudos quanto a composição corporal.

Desse modo, objetivou-se comparar a composição corporal de caprinos, machos castrados da raça Saanen, pelo método de absorptometria de raios-X de dupla energia *in vivo* e no pernil com o método direto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local

O experimento e o abate foram conduzidos no Laboratório de Estudos em Caprinocultura, localizado na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, São Paulo, localizado a 21°14'05"S e 48°17'09"W, altitude de 615 m. As análises DXA foram procedidas no Laboratório de Estudos em Densitometria Óssea e Composição Corporal da referida faculdade. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal – LANA, do departamento de Zootecnia da FCAV.

2.2. Animais e alimentação

Todos os procedimentos realizados tiveram a aprovação prévia do Comitê de Ética no Uso de Animais – CEUA, protocolo nº 015416/17, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.

O número de animais foi determinado através do teste Power Analysis, o qual indica o número amostral necessário para detectar o efeito entre as observações com um grau de confiança determinado.

Foram utilizados trinta e seis machos castrados, da raça Saanen, alocados em baias individuais. Os animais iniciaram o período experimental com sessenta dias de vida e foram manejados até atingirem as idades pré-estabelecidas de abate, sendo elas, três, cinco e sete meses de idade. Cada faixa etária era composta por doze animais, divididos igualmente em dois grupos alimentares.

Os grupos alimentares estabelecidos foram: 1) nível de manutenção mais o adicional para ganho de 150 g.dia⁻¹ (*ad libitum* - AL); 2) sob o nível de manutenção (M). Esta estratégia foi adotada para proporcionar diferenças na composição da carcaça e assim, averiguar o grau de refinamento do DXA na determinação corporal.

As dietas foram balanceadas segundo o National Research Council – NRC (2007). A quantidade ofertada foi ajustada semanalmente de acordo com a média de consumo. A alimentação foi fornecida diariamente em duas porções iguais às 8h00 e 16h00 e a água disponibilizada *ad libitum*.

A relação percentual de volumoso:concentrado adotada foi de 50:50. A dieta era composta por silagem de milho e concentrado energético (Tabela 1). As sobras de alimento eram pesadas matinalmente para determinar a ingestão de matéria-seca diária.

Os animais foram pesados no primeiro dia do período experimental e então semanalmente.

Tabela 1. Composição química da ração experimental.

Componentes	Inclusão %	Composição química (% de matéria-seca)					
		MS	MM	PB	EE	FDN ¹	FDA ¹
Silagem de milho	50	28,05	5,11	8,08	2,09	59,41	33,44
Concentrado	50	88,46	6,97	18,24	6,34	27,43	5,99
Constituintes do concentrado (%)							
MG	FT	SG	FS	SM	CS		
20	15	10	2,5	1,5	1,0		

Matéria-seca (MS), matéria-mineral (MM), proteína-bruta (PB), extrato-etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), milho grão (MG), farelo de trigo (FT), soja grão (SG), farelo de soja (FS), sal mineral (SM), cloreto de sódio (CS), ¹sem correção para cinzas e proteína.

2.3. Análise *in vivo* no DXA

A composição corporal referente aos parâmetros de massa total (MT), conteúdo mineral ósseo (CMO), tecido magro (TM), tecido magro e conteúdo mineral ósseo (TM + CMO) e tecido gordo (TG) foram obtidos através do método indireto DXA.

Assim que os animais atingiram a idade pré-determinada de três, cinco ou sete meses foram pesados para obtenção do peso vivo (PV) e, então submetidos a jejum de sólidos e líquido por um período de 24h. Após o intervalo de jejum os animais foram novamente pesados para obtenção do peso vivo pós jejum (PVPJ).

Os caprinos foram anestesiados através da associação entre o cloridrato de xilazina (0,3 mg.kg⁻¹ - via intramuscular) e dez minutos após, com o cloridrato de cetamina (8,0 mg.kg⁻¹ - via intravenosa) conforme protocolo estabelecido por Ribeiro et al. (2018).

As análises foram realizadas por meio do aparelho Hologic Discovery Wi (Hologic, Inc., Bedford, MA, USA), versão 13.4.2:5. O equipamento foi previamente calibrado

através de um phantom antropomórfico da coluna vertebral fornecido pelo fabricante (área: 54,4 cm²; CMO: 51,1 g; DMO: 0,94 g.cm²).

Cada caprino foi escaneado uma única vez, no modo whole body, posicionado em decúbito ventral com os membros anteriores estendidos e prolongados cranialmente, e os membros posteriores flexionados e nivelados com o corpo. O nível da linha do laser foi configurado para se obter uma varredura na qual não houvesse sobreposição dos ossos. Devido a protuberância do manúbrio do esterno foi utilizado um travesseiro para apoiar a cabeça e os membros anteriores, de modo a alinhar o corpo sobre a superfície da plataforma DXA (Figura 1). É importante ressaltar que o travesseiro utilizado foi previamente testado no equipamento DXA e demonstrou ser um material inerte.



Figura 1. Animal posicionado na plataforma DXA em estado de sedação inconsciente (Arquivo pessoal, 2017).

Haja visto que o aparelho DXA tenha sido desenvolvido para seres humanos se fez necessário a realização de testes de ajuste com intuito de enquadrar as linhas de análise do modo whole body para caprinos, uma vez que estes são anatomicamente impossibilitados de posicionar os membros anteriores paralelamente ao tronco. Portanto, a conformação de linhas que apresentou maior semelhança ao modelo humano e, por isso foi utilizada, está apresentada na Figura 2.

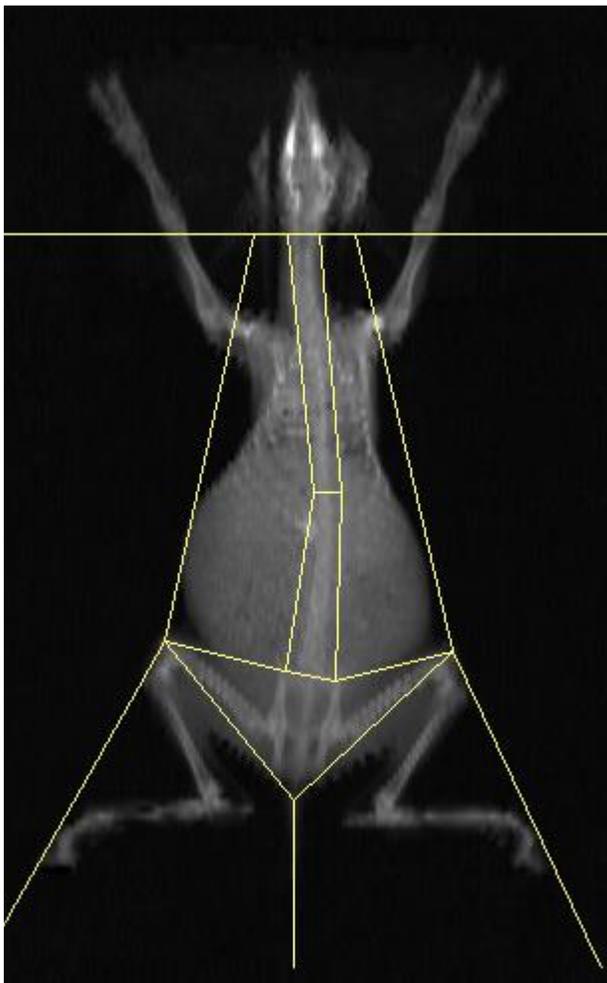


Figura 2. Linhas de análise do DXA Hologic Wi no modo whole body configuradas para caprinos (Arquivo pessoal, 2017).

2.4. Abate

O tempo decorrido entre as análises no DXA e o abate foi em média duas horas. Os animais foram insensibilizados através de pistola de dardo cativo penetrante, posicionada no centro da linha imaginária que tangencia a borda caudal do corno em sentido paralelo ao eixo longitudinal da cabeça, promovendo insensibilização por concussão e laceração cerebral.

Após a observação de estado de inconsciência do animal foi procedida a sangria através da secção das artérias carótidas e veias jugulares. Posteriormente, foram realizados os procedimentos de esfolagem e evisceração. Em seguida, foram retirados e

pesados, cheios e vazios, o trato gastrintestinal (TGI), a vesícula biliar e a bexiga para determinação do peso de corpo vazio (PCV).

Os componentes não-carcaça de cada animal foram individualmente pesados e então agrupados em saco plástico devidamente identificado, sendo eles: órgãos (coração, pulmão, traqueia, baço, fígado, rins, bexiga vazia, vesícula biliar vazia e órgão reprodutor); vísceras (esôfago e trato gastrintestinal vazio – retículo-rúmen, omaso, abomaso, intestino delgado e intestino grosso); e subprodutos (sangue, pele, cabeça, patas e depósitos adiposos). Para cada animal foi amostrada quantidade representativa da pele mais pelos. O restante do material foi adicionado aos componentes não-carcaça, respectivo a cada indivíduo.

A carcaça de cada animal foi pesada para obtenção do peso de carcaça quente e transportada para câmara de refrigeração sendo mantida a 4°C por 24h. Após este período as carcaças foram novamente pesadas para obtenção do peso de carcaça fria.

Todas as carcaças foram seccionadas em sentido longitudinal resultando em meia carcaça direita e meia carcaça esquerda. Em seguida, cada meia carcaça esquerda teve o pernil removido. O restante da meia carcaça esquerda e a meia carcaça direita intacta foram agrupadas.

Todo material amostrado foi acondicionado em saco plástico devidamente identificado e mantido em câmara de refrigeração à -20°C.

2.5. Dissecção do pernil e análise no DXA

Para comparação com os valores DXA obtidos *in vivo*, o pernil esquerdo de cada animal, previamente separado da carcaça, foi descongelado sob refrigeração a 8°C por 16h, pesado e, então, analisado pelo DXA no modo infant whole body.

Posteriormente, os pernis foram dissecados em: tecido muscular, ósseo (ílio, ísquio, púbis, fêmur, patela, tíbia, fíbula e tarso) e adiposo. Os outros tecidos como tendões, fáscias e nervos foram somados ao tecido muscular, já o tecido cartilaginoso foi adicionado ao tecido ósseo. Após a dissecção, cada componente tecidual (músculo,

osso e gordura) de cada animal, foi individualmente pesado e analisado no aparelho DXA no modo small animal.

Anteriormente às análises o equipamento DXA foi devidamente calibrado. Para os pernis inteiros foi utilizado o phantom antropomórfico da coluna vertebral (área: 54,4 cm²; CMO: 51,1 g; DMO: 0,94 g.cm²). Para os tecidos dissecados foi utilizado o rat step phantom (P/N 010-0758 Rev. 004). Os modos de análise foram selecionados de acordo com o tamanho da amostra conforme determinado pelo fabricante, sendo eles, small animal até 40 cm, infant whole body de 41 a 80 cm e whole body acima de 80 cm de comprimento.

É importante ressaltar que o DXA nos modos infant whole body e small animal não calcula a variável tecido magro (TM), sendo assim, para esses modos a variável em questão foi obtida pela diferença entre a massa total (MT), tecido gordo (TG) e conteúdo mineral ósseo (CMO), como segue: $TM (g) = MT (g) - TG (g) - CMO (g)$.

2.6. Processamento das amostras

As amostras de componentes não carcaça e carcaça previamente congeladas foram retiradas da câmara de refrigeração e seccionadas com auxílio de serra-fita. Posteriormente, ainda congeladas foram moídas individualmente, por três vezes cada, em moinho de carne modelo C.A.F 114.

Os tecidos dissecados (músculo e tecido adiposo), assim como a pele foram moídos com auxílio de moinho manual. Já os ossos dissecados foram moídos no moinho de carne modelo C.A.F 114 devido à resistência do material.

Os constituintes corporais moídos foram amostrados em placas de petri em duplicata, identificados, pesados e imediatamente colocados sob refrigeração a -20°C.

2.7. Análise laboratorial

A composição corporal, concentração do nutriente, foi determinada por meio do método direto de análise química para as amostras de componente não-carcaça,

carcaça, pele, ossos, músculos e tecido adiposo, sendo os três últimos constituintes do pernil esquerdo.

A matéria pré-seca foi obtida por liofilização por 72h (AOAC 1990; metodologia 938.18), posteriormente cada amostra corporal foi individualmente moída em moinho de bola com câmara fechada, por quatro minutos em média, e acondicionada em pote devidamente identificado. A matéria-seca definitiva (MSD) foi obtida em estufa a 105° C até obtenção de peso constante. A matéria mineral (MM) foi estabelecida pela combustão das amostras a 550°C por 6h (AOAC 1990; metodologia número 924.05). O extrato-etéreo (EE) e/ou gordura (GD) foi adquirido por meio da extração contínua com éter de petróleo durante 6h utilizando extrator de Soxhelt (AOAC, 1990; metodologia número 930.15). A proteína bruta (PB) foi analisada pelo método de combustão de Dumas utilizando analisador tipo LECO FP-628 (AOAC, 1990; metodologia número 992.15).

Para as amostras de componentes não-carcaça, carcaça, osso e tecido adiposo a análise de gordura precedeu a análise de proteína uma vez que, altos teores de lipídeo ocasionam erros consideráveis na análise de nitrogênio total.

Além disso, amostras de ofertado da silagem de milho e do concentrado coletadas durante o período experimental foram pré-secadas em estufa com circulação de ar forçada a 55°C por 72h, em seguida, foram moídas em moinho de facas tipo Willey em peneira de 1mm e, então, submetidas as análises de MSD, MM, PB e EE além de ser determinado a fibra em detergente neutro (FDN) com amilase termoestável (Van Soest et al., 1991) e, sequencialmente a fibra em detergente ácido (FDA) (Goering e Van Soest, 1970) pelo aparelho ANKOM utilizando sacos de filtro F57.

Todas as amostras foram analisadas em duplicata para garantir maior confiabilidade aos resultados. Duplicatas com diferença superior a cinco por cento foram repetidas.

2.8. Cálculos

2.8.1. Composição química – Corpo Vazio

Após a realização das análises químicas e determinação do percentual de nutrientes em cada amostra (MS, MM, PB e GD na porcentagem de matéria-seca), o corpo dos animais, previamente separado nas amostras de carcaça, componentes-não-carcaça, pele e pernil dissecado (osso, músculo e tecido adiposo), foi reconstituído. Posteriormente os nutrientes foram transformados para matéria-natural e foi calculado um peso de corpo vazio ajustado (PCVA), referente a somatória dos nutrientes. Por fim, o PCVA foi corrigido para o peso de corpo vazio real, obtido pela diferença entre o peso vivo pós-jejum e os conteúdos do trato gastrintestinal, bexiga e vesícula biliar.

2.8.2. Composição química – Pernil e Carcaça

A composição química do pernil esquerdo foi obtida pelo somatório dos constituintes dissecados, sendo eles: ossos, músculos e tecido adiposo. Já a composição da carcaça foi obtida pelo somatório da meia carcaça direita intacta, da meia carcaça esquerda sem o pernil e o pernil esquerdo inteiro.

2.9. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2, com seis repetições, sendo três idades e dois regimes alimentares.

Os dados de análise química com relação ao peso de corpo vazio, os dados obtidos pelo método DXA com análise *in vivo*, assim como, os dados referentes ao pernil esquerdo mensurado por ambos os métodos, foram analisados pelo método de modelos mistos, sendo as idades e os níveis alimentares considerados efeitos fixos. Como as idades apresentaram diferença estatística foi realizado desdobramento por contrastes ortogonais, assim como, comparações múltiplas pelo teste de Tukey. O modelo matemático deste delineamento foi:

$$Y_{ij} = \mu + I_i + NA_j + INA_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Onde: Y_{ij} = resposta observada; μ = constante inerente a todas as observações; I_i = efeito da idade i (3, 5 ou 7 meses); NA_j = efeito do nível alimentar j (*ad libitum* ou

manutenção); INA_{ij} = efeito da interação entre a idade i e o nível alimentar j ; ε_{ij} = erro aleatório associado a cada observação ij .

Em um segundo momento, foi realizada análise de regressão linear simples para efeito de comparação entre os resultados obtidos pelo DXA e pela análise química corporal. O método DXA foi analisado como variável independente. A acurácia dos modelos gerados foi expressa com coeficiente de determinação (R^2), desvio padrão residual (DPR), coeficiente de variação (CV) e F-valor. O modelo matemático adotado na análise dos dados foi:

$$Y = a + b.X + \varepsilon$$

Onde: Y = variável dependente; X = variável independente; ε = erros aleatórios (resíduos); a e b = parâmetros do modelo.

Todas as análises estatísticas foram obtidas através do software Statistical Analysis System - SAS (versão 9.4; Inc, Cary, NC, USA). O intervalo de confiança adotado foi de 95%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O peso vivo médio ao abate foi de $13,3 \pm 0,53$, $15,2 \pm 0,53$ e $22,0 \pm 0,53$ kg para os cabritos com três, cinco e sete meses de idade. A média de ingestão de matéria seca foi 3,16% e 2,77% do peso vivo para os grupos *ad libitum* (AL) e manutenção (M).

Com intuito de se avaliar o efeito dos tratamentos adotados (idades e níveis alimentares) sobre a composição corporal, foi realizada análise de modelos mistos com os dados obtidos através dos métodos direto e indireto, que serão apresentados adiante.

A Tabela 2 apresenta a composição do corpo vazio pelo método direto. Todas as variáveis apresentaram efeito quadrático ($P < 0,05$) para o contraste ortogonal nas idades avaliadas.

Em relação as cinzas, apenas aos três meses de idade não houve diferença entre os níveis alimentares (AL e M), o que provavelmente está relacionado ao fato de que o tecido ósseo é de deposição precoce, sendo priorizado no início da vida uma vez que é fundamental para locomoção e busca de alimentos. Com o passar do tempo, os ossos

longos crescem e os animais ganham estatura, atrelado a isso a matriz óssea começa a se calcificar adquirindo rigidez e, portanto, maior conteúdo mineral ósseo, sendo assim, é possível observar que os animais aos sete meses de vida se diferenciaram dos demais para ambos os níveis alimentares avaliados.

A concentração de proteína no corpo vazio diferenciou em relação aos níveis alimentares em todas as faixas etárias avaliadas, tendo os animais AL maior proporção proteica. Em comparação entre os níveis alimentares, o regime AL obteve maior teor de proteína com o avançar da idade, sendo os animais com sete meses superior aos demais. Já em relação a manutenção os animais aos três e cinco meses não se diferenciaram, o que indica que a restrição alimentar afetou mais proeminentemente os animais aos cinco meses.

A proporção de água corporal apresentou tendência similar à proteína, tendo os animais AL maior teor de água em relação aos sob M em todas as idades avaliadas. Quanto ao regime alimentar os animais com sete meses foram superiores tanto para o nível AL quanto para M. O teor de água e proteína corporal é maior nos animais jovens e tende a diminuir nos animais mais velhos (Fernandes et al., 2005). Como os animais deste estudo eram jovens tanto a deposição de proteína quanto o teor de água corporal aumentaram com o avançar da idade, com taxas de ganho diárias de 16,23; 16,03; 57,87 e 54,5 g/kg de proteína e água dos cinco aos sete meses de idade para animais alimentados *ad libitum* e sob manutenção, respectivamente.

A deposição de gordura não diferiu aos três meses para os níveis AL e M. Mas diferiu aos cinco e sete meses sendo os animais AL superiores aos alimentados sob M. Estes dados são justificáveis uma vez que a gordura é um tecido de deposição tardia, que aumenta à medida que os animais atingem a puberdade fisiológica, que em caprinos ocorre por volta dos cinco meses. Em relação ao nível alimentar observa-se que houve diferença estatística para as três idades ao nível AL, enquanto sob M os animais aos sete meses foram superiores aos demais. Isso evidencia que a dieta tem influência direta na reserva adiposa corporal.

Tabela 2. Composição química do corpo vazio de caprinos Saanen, machos castrados com três, cinco e sete meses de idade submetidos a dois níveis alimentares.

Análises (g/kg)	Corpo Vazio							
	Cinzas		Proteína		Água		Gordura	
	AL ¹	M ²	AL	M	AL	M	AL	M
3 (meses)	536,90 ^{Ab}	452,14 ^{Ab}	2.074 ^{Ac}	1.492 ^{Bb}	8.469 ^{Ab}	6.412 ^{Bb}	1.020 ^{Ac}	524,43 ^{Ab}
5 (meses)	598,70 ^{Ab}	460,79 ^{Bb}	2.564 ^{Ab}	1.705 ^{Bb}	9.852 ^{Ab}	6.834 ^{Bb}	1.855 ^{Ab}	755,67 ^{Bb}
7 (meses)	843,36 ^{Aa}	724,75 ^{Ba}	3.538 ^{Aa}	2.667 ^{Ba}	13.324 ^{Aa}	10.104 ^{Ba}	3.566 ^{Aa}	1.986 ^{Ba}
<i>p</i> -valor Linear	0,0001		0,0001		0,0001		0,0001	
<i>p</i> -valor Quad.	0,0001		0,002		0,0005		0,003	

¹*Ad libitum* (manutenção com adicional de 150 g.dia⁻¹); ²Mantença; Efeito Quadrático (Quad.); Dados com base na matéria-natural; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); n=36.

A Tabela 3 apresenta a composição do pernil esquerdo através do método direto. O contraste ortogonal para as idades apresentou efeito quadrático para todas as variáveis, com exceção da gordura que apresentou efeito linear.

Para a variável cinzas dentro de cada faixa etária avaliada não houve diferença estatística entre os níveis alimentares. Em relação a dieta os animais com sete meses foram superiores para deposição mineral tanto para o nível alimentar *ad libitum* quanto sob manutenção, possivelmente por serem animais mais velhos e, portanto, de maior estatura, além de maior quantidade de músculos que contribuem na somatória de cinzas.

Quanto a deposição de proteína no pernil apenas aos três meses de idade não houve diferença entre os níveis alimentares AL e M, a partir dos cinco meses os animais alimentados AL foram superiores aos mantidos sob M. Dentro dos níveis alimentares pode-se observar que os animais com sete meses de idade foram superiores aos demais tendo maior proporção de proteína tanto no regime AL quanto no sob M. Este efeito foi diferente ao verificado na avaliação de corpo vazio (Tabela 2), provavelmente o maior teor de proteína observado para os animais com cinco meses em relação aos com três meses, quanto ao corpo vazio, se deve ao maior desenvolvimento dos órgãos com o avançar da idade.

Em relação a proporção de água no pernil verifica-se que aos três e sete meses não houve diferença estatística entre os níveis alimentares. Para os animais com três meses essa semelhança pode estar relacionada ao mesmo teor de proteína em ambos os níveis alimentares (AL e M), uma vez que existe grande concentração de água nos músculos. Já para os animais com sete meses a igualdade na concentração de água, em relação à dieta, pode ser devido ao maior conteúdo de gordura que apresenta relação inversa a proporção de água corpórea.

A gordura no pernil apresentou efeito linear para a idade ($P=0,0001$). O que está de acordo com a curva de crescimento onde em condições normais maiores proporções de tecido adiposo são observadas com o avançar da idade, por se tratar de um tecido de elevado custo energético para deposição. Nota-se na tabela que apenas aos sete meses houve diferença entre os regimes alimentares, assim como, os animais nessa idade foram superiores aos com três e cinco meses tanto nos níveis *ad libitum* quanto sob manutenção.

Tabela 3. Composição química do pernil esquerdo de caprinos Saanen, machos castrados com três, cinco e sete meses de idade submetidos a dois níveis alimentares.

Pernil								
Análises (g/kg)	Cinzas		Proteína		Água		Gordura	
	AL ¹	M ²	AL	M	AL	M	AL	M
3 (meses)	61,28 ^{Ab}	49,35 ^{Ab}	172,47 ^{Ab}	128,10 ^{Ab}	599,64 ^{Ab}	452,18 ^{Ab}	87,44 ^{Ab}	50,37 ^{Ab}
5 (meses)	69,06 ^{Ab}	50,21 ^{Ab}	213,16 ^{Ab}	139,65 ^{Bb}	699,47 ^{Ab}	483,21 ^{Bb}	131,65 ^{Ab}	77,77 ^{Ab}
7 (meses)	99,21 ^{Aa}	82,92 ^{Aa}	293,80 ^{Aa}	234,14 ^{Ba}	955,48 ^{Aa}	787,37 ^{Aa}	227,35 ^{Aa}	156,40 ^{Ba}
<i>p</i> -valor Linear	0,0001		0,0001		0,0001		0,0001	
<i>p</i> -valor Quad.	0,002		0,01		0,004		0,06	

¹*Ad libitum* (manutenção com adicional de 150 g.dia⁻¹); ²Mantença; Efeito Quadrático (Quad.); Dados com base na matéria-natural; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); $n = 36$.

A Tabela 4 apresenta a composição corporal predita pelo método DXA de caprinos analisados *in vivo*. O contraste para idade foi quadrático para todas as variáveis obtidas pelo DXA.

O conteúdo mineral ósseo (CMO) apresentou diferença para o grupo dos sete meses tendo os animais AL maior proporção óssea em relação aos sob M. Em relação ao nível alimentar os animais com sete meses também foram superiores aos com três e cinco meses tanto para o nível *ad libitum* como para a manutenção. Em termos absolutos o DXA apresentou valores menores em relação ao conteúdo de cinzas (Tabela 2), possivelmente porque o aparelho detecta CMO apenas nos tecidos ósseos.

O tecido gordo (TG) predito pelo DXA mostrou diferença estatística entre os níveis alimentares dentro da mesma idade a partir dos cinco meses, o que também foi observado para a gordura avaliada pelo método químico (Tabela 2). Contudo, o TG DXA não detectou diferença entre os animais com três e cinco meses alimentados *ad libitum* ao contrário do observado pelo método padrão.

O tecido magro (TM) estimado pelo DXA apresentou diferença entre ambos os níveis alimentares em todas as faixas etárias, tendo os animais alimentados AL maior teor de TM do que os restritos (M). Também é possível observar que os animais aos três e cinco meses não se diferenciaram quanto ao conteúdo corporal de tecido magro tanto para o nível AL quanto sob M, sendo os animais aos sete meses superiores aos demais para os dois regimes alimentares. Este efeito foi contrário ao obtido pela análise química (corpo vazio) no regime alimentar AL onde as três faixas etárias diferenciaram-se entre si havendo maior proporção de proteína com o avançar da idade (Tabela 2).

O tecido magro estimado pelo DXA é calculado pelo somatório dos músculos, órgãos, sangue e conteúdo estomacal. Enquanto que a proteína obtida pelo método químico é calculada com base no peso de corpo vazio, onde o conteúdo do trato gastrointestinal, vesícula biliar e bexiga são desconsiderados. A isso se deve a diferença considerável entre os valores absolutos observados entre os dois métodos.

A variável tecido magro + conteúdo mineral ósseo (TM+CMO) calculada pelo DXA apresentou o mesmo efeito estatístico da variável TM e efeito contrário à variável CMO aos três meses, o que evidencia a influência do TM sobre o CMO.

Tabela 4. Composição corporal *in vivo* pelo método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) de caprinos Saanen machos castrados, com três, cinco e sete meses de idade submetidos a dois níveis alimentares.

Análises (g/kg)	<i>In Vivo</i>							
	CMO		TG		TM		TM+CMO	
	AL ¹	M ²	AL	M	AL	M	AL	M
3 (meses)	267,32 ^{Ab}	236,79 ^{Ab}	2.360,6 ^{Ab}	1.646 ^{Ab}	12.848 ^{Ab}	9.250,5 ^{Bb}	13.115 ^{Ab}	9.487,3 ^{Bb}
5 (meses)	298,23 ^{Ab}	242,27 ^{Ab}	3.063,2 ^{Ab}	1.806,6 ^{Bb}	14.897 ^{Ab}	10.209 ^{Bb}	15.106 ^{Ab}	10.4552 ^{Bb}
7 (meses)	401,62 ^{Aa}	337,68 ^{Ba}	4.789,6 ^{Aa}	3.023,5 ^{Ba}	20.031 ^{Aa}	15.151 ^{Ba}	20.433 ^{Aa}	15.489 ^{Ba}
<i>p</i> -valor Linear	0,0001		0,0001		0,0001		0,0001	
<i>p</i> -valor Quad.	0,003		0,007		0,001		0,0009	

¹*Ad libitum* (manutenção com adicional de 150 g.dia⁻¹); ²Mantença; Efeito quadrático (Quad.); Conteúdo mineral ósseo (CMO); Tecido gordo (TG); Tecido magro (TM) (TM: somatório dos músculos, órgãos, sangue e conteúdo do estômago); Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); n = 36.

A Tabela 5 apresenta a composição do pernil esquerdo de caprinos através do método indireto DXA. Todas as variáveis apresentaram comportamento quadrático para o efeito idade.

O conteúdo mineral ósseo obtido na análise do pernil não apresentou diferença estatística para os níveis alimentares dentro de cada idade avaliada. Em relação aos níveis alimentares os animais com sete meses obtiveram maior deposição óssea tanto para o regime *ad libitum* quanto para o sob manutenção. Estes resultados são similares aos obtidos pela análise química das cinzas para o pernil (Tabela 3).

O tecido gordo DXA não apresentou diferença para o regime alimentar em nenhuma das idades estudadas. Porém, entre as faixas etárias os animais com sete meses obtiveram maior deposição de gordura no pernil em relação aos animais com três e cinco meses para os níveis AL e sob M. Estes resultados estimados pelo DXA são semelhantes aos obtidos na análise química do pernil para a variável gordura, com exceção dos animais com sete meses sob manutenção que foram inferiores aos *ad libitum* de mesma idade (Tabela 3).

O tecido magro (TM) por sua vez demonstrou maior proporção para os animais AL a partir dos cinco meses de idade. Quanto a avaliação entre os regimes alimentares estabelecidos nota-se que os animais mais velhos obtiveram maior deposição de TM. Este resultado estatístico é idêntico ao encontrado na análise proteica do pernil (Tabela 3). É importante salientar que no modo de scanner infant whole body o qual o pernil foi submetido a variável TM não é calculada de forma direta pelo aparelho DXA, portanto, este dado foi estimado pela diferença entre a massa total o TG e o CMO, derivados do DXA.

A variável TM+CMO derivada do DXA apresentou resposta estatística semelhante à observada na variável TM, com exceção do nível de manutenção aos três meses que foi inferior ao nível *ad libitum* para mesma idade. O que mais uma vez ressalta a influência do TM sobre o CMO.

De modo geral, os dados obtidos pela análise DXA para o pernil foram estatisticamente semelhantes aos encontrados na análise química.

Tabela 5. Composição corporal do pernil esquerdo pelo método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) de caprinos Saanen machos castrados, com três, cinco e sete meses de idade submetidos a dois níveis alimentares.

Pernil								
Análises (g/kg)	CMO		TG		TM		TM+CMO	
	AL ¹	M ²	AL	M	AL	M	AL	M
3 (meses)	33,47 ^{Ab}	27,22 ^{Ab}	108,52 ^{Ab}	85,47 ^{Ab}	825,35 ^{Ab}	597,33 ^{Ab}	858,82 ^{Ab}	624,53 ^{Bb}
5 (meses)	38,69 ^{Ab}	27,73 ^{Ab}	154,38 ^{Ab}	80,60 ^{Ab}	952,11 ^{Ab}	647,25 ^{Bb}	990,78 ^{Ab}	674,98 ^{Bb}
7 (meses)	61,63 ^{Aa}	48,86 ^{Aa}	269,28 ^{Aa}	204,97 ^{Aa}	1.316,10 ^{Aa}	1.052,70 ^{Ba}	1.377,80 ^{Aa}	1.101,63 ^{Ba}
<i>p</i> -valor Linear	0,0001		0,0001		0,0001		0,0001	
<i>p</i> -valor Quad.	0,001		0,003		0,006		0,005	

¹*Ad libitum* (manutenção com adicional de 150 g.dia⁻¹); ²Mantença; Efeito quadrático (Quad.); Conteúdo mineral ósseo (CMO); Tecido gordo (TG); Tecido magro (TM) (TM: estimado pela diferença entre a massa total, TG e CMO); Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); n = 36.

Afim de determinar a relação existente entre a composição corporal observada pelo método de análise química e predita pelo método DXA ou, suas interações diretas com o pernil, foram realizadas análises de regressão linear a partir dos dados obtidos com estes métodos (direto ou indireto). Os modelos das equações geradas serão exibidos adiante.

A Tabela 6 apresenta os modelos de regressão gerados para a interação entre o método direto de análise química e o método indireto DXA com animais *in vivo*. O método DXA foi avaliado como variável independente. Todas as equações geradas apresentaram relação forte a muito forte ($R^2 > 0,80$). Os gráficos dos modelos gerados estão apresentados na Figura 3.

A interação entre o conteúdo mineral ósseo (CMO) calculado pelo DXA e as cinzas obtidas pela análise química apresentou a menor relação entre os dados ($R^2 = 0,82$), ainda assim, se trata de uma correlação forte principalmente devido ao fato de que o aparelho DXA faz leitura de minerais apenas no tecido ósseo, enquanto que, as cinzas são obtidas através da análise mineral do corpo vazio, ou seja, dos tecidos ósseos e não-ósseos (Gray et al., 1983; Speakman et al., 2001). Ademais, a calibração do DXA para detectar tecidos ósseos é realizada com material artificial de composição distinta dos ossos o que pode causar divergência entre os resultados (Schoenau, 2005).

O tecido gordo (TG) predito pelo DXA correlacionou-se fortemente com a gordura obtida pelo método direto ($R^2 = 0,96$). O coeficiente de variação (CV) foi moderado, assim como, o F-valor o que pode ter sido ocasionado pela variação de peso vivo (PV) e peso de corpo vazio (PCV) dos animais no presente estudo ampliando a heterogeneidade na deposição de gordura, sendo observada uma superestimação do TG DXA nos animais com sete meses alimentados *ad libitum*.

O genótipo influencia a quantidade e a distribuição da gordura corporal. Animais com o mesmo PV ou PCV de diferentes raças apresentam quantidade distinta de tecido adiposo. Em termos de distribuição, de modo geral, raças leiteiras depositam gordura interna em maior proporção (principalmente perirenal e omental), enquanto raças de corte depositam maiores quantidades de gordura subcutânea (Mendizabal et al., 2011). Além disso, o sexo tem forte influência sobre a deposição de gordura, as fêmeas apresentam

maior deposição adiposa (13%) em comparação aos machos (7,4%) (Mahgoub et al., 2004). Sendo assim, novos estudos DXA com diferentes raças e gêneros em caprinos necessitam ser realizados.

O tecido magro (TM) estimado pelo DXA e a proteína + água obtidas pelo método químico apresentaram alto grau de interação ($R^2 = 0,98$). Tendo o segundo maior F-valor (2.318,6) o que demonstra que o modelo gerado apresentou um baixo erro e, portanto, prediz de forma acurada a relação entre as duas variáveis. Nota-se que a água foi adicionada à proteína para compor a variável química (proteína + água) de forma intencional, visto que, o DXA considera a água corporal como tecido magro.

Neste estudo, os caprinos apresentaram média de água corporal de 67,7%. O DXA assume valor constante de 73% de água no tecido magro (Moore e Boyden, 1963), caso os animais possuam maior quantidade de água que a média pré-determinada, o DXA irá subestimar os valores de tecido magro e superestimar o teor de gordura no corpo. Devido a isso é importante realizar mais estudos com caprinos que avaliem diferentes pesos corporais, idades e estados fisiológicos para avaliar o grau de refinamento do aparelho DXA quanto a hidratação corporal.

Ao estimar uma possível relação entre a proteína obtida quimicamente e a variável CMO+TM resultante do DXA foi encontrado um coeficiente de determinação de 0,97, o que evidencia a forte relação positiva entre músculos e ossos. O modelo gerado apresentou o terceiro maior F-valor entre as equações apresentadas indicando maior peso do modelo do que dos erros aleatórios.

A massa corpórea química foi obtida através do somatório dos nutrientes (água, proteína, gordura e cinzas). Já o DXA calcula a massa total pela soma do conteúdo mineral ósseo, tecido magro e tecido gordo. A massa corpórea obtida pela análise química (somatório dos nutrientes) se correlacionou fortemente com a massa total DXA ($R^2 = 0,98$) e apresentou o maior F-valor entre os modelos gerados, o que demonstra alta acurácia do método indireto em predizer a massa dos animais avaliados. Este resultado também foi encontrado por outros autores (Swennen et al., 2004; Mercier et al., 2006; Salas et al., 2012; $R^2 = 0,99$, $P < 0,0001$).

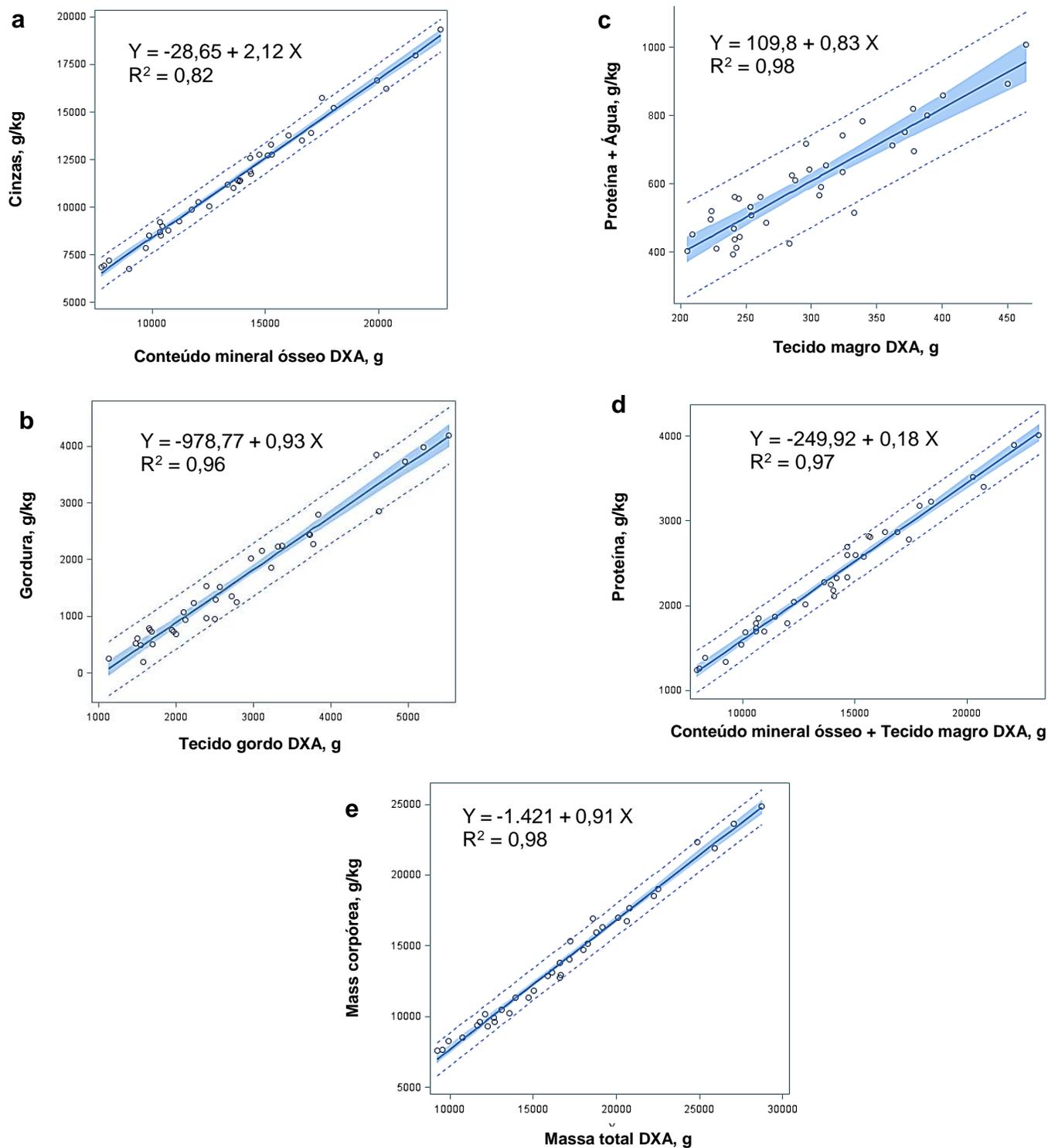


Figura 3. Relação entre a composição corporal derivada da absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) *in vivo* e o método químico direto em relação ao peso de corpo vazio de caprinos Saanen. Linhas pontilhadas representam limite de confiança predito em 95%.

Tabela 6. Modelos para predição da composição corporal de caprinos¹ através do método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA).

Modelos de predição	R²	DPR	CV	F-Valor
Cinzas = $-28,65 (\pm 50,21) + 2,12 (\pm 0,16) \times \text{CMO (DXA)}$	0,82	65,41	10,85	165,97
Gordura = $-978,77 (\pm 98,77) + 0,93 (\pm 0,03) \times \text{TG (DXA)}$	0,96	225,78	13,95	808,41
Proteína + Água = $109,80 (\pm 245,52) + 0,83 (\pm 0,02) \times \text{TM (DXA)}$	0,98	391,97	3,41	2.318,6
Proteína = $-249,92 (\pm 72,77) + 0,18 (\pm 0,005) \times \text{CMO+TM (DXA)}$	0,97	115,53	4,94	1.362,1
² Massa corpórea = $-1.421 (\pm 323,73) + 0,91 (\pm 0,018) \times \text{MT (DXA)}$	0,98	548,92	3,95	2.437,2

¹Caprinos Saanen, machos castrados, com três, cinco e sete meses de idade, submetidos a dois níveis alimentares: *Ad libitum* (manutenção com adicional de 150 g.dia⁻¹); Manutenção; ²Massa corpórea obtida pelo somatório dos nutrientes (água, proteína, gordura e cinzas) em relação ao peso de corpo vazio na matéria-natural; Análise química como variável dependente, em gramas por quilogramas na matéria-natural; Conteúdo mineral ósseo (CMO); Tecido gordo (TG); Tecido magro (TM) (considera o somatório dos músculos, órgãos, sangue e conteúdo do estômago); Massa total (MT); Coeficiente de determinação (R²); Desvio padrão residual (DPR); Coeficiente de variação (CV); Valores entre parênteses são erro padrão; Para todas as linhas P<0,0001; n=36.

A Tabela 7 apresenta os modelos gerados para a composição química corporal entre a carcaça e o pernil esquerdo. A carcaça foi considerada como variável independente. Os gráficos dos modelos gerados estão apresentados na Figura 4.

A relação entre a carcaça e o pernil para a variável cinzas obtida quimicamente apresentou forte correlação ($R^2 = 0,85$). Apesar disso, o F-valor resultante foi baixo e o desvio padrão residual (DPR) elevado indicando que muitos valores se distanciaram da linha de regressão predita pelo modelo (Figura 4, letra a). Este resultado provavelmente foi ocasionado pela diferença entre idades avaliadas e o grau de mineralização da matriz mineral óssea que tende a aumentar a partir da puberdade, com taxas de formação superior as de reabsorção.

A proteína e a água apresentaram correlação fortemente significativa ($R^2 = 0,95$; $0,94$, respectivamente) o resultado similar para as duas variáveis era esperado uma vez que os músculos possuem grande teor de água e o pernil apresenta as maiores proporções de massa muscular na carcaça caprina (Silva Sobrinho et al., 2002). A proporção de água varia entre indivíduos dependendo da proporção de músculos e tecido adiposo (Mahan e Escott- Stump, 2002).

A gordura é o componente de maior variabilidade no corpo, contudo, o pernil se mostrou um bom parâmetro para avaliação da gordura na carcaça apresentando forte correlação ($R^2 = 0,92$). Este resultado pode estar relacionado ao fato de que ambos os cortes apresentam baixa proporção de gordura, que se encontra depositada em maior quantidade na cavidade abdominal e vísceras nos caprinos (Costa et al., 2008), sendo totalmente descartada com a realização da toailete após o abate. Raças caprinas com aptidão leiteira como a Saanen apresentam menor deposição de gordura subcutânea e intramuscular, sendo assim, seria de interesse científico estudos com o método DXA avaliando raças caprinas com aptidão para corte em diferentes pontos na curva de crescimento.

A perna caprina representa de 31,20 a 31,72% da meia carcaça esquerda (Pereira Filho et al., 2007), totalizando mais de 60% da carcaça total. Isso justifica as fortes correlações observadas entre o pernil esquerdo e a carcaça total dos caprinos.

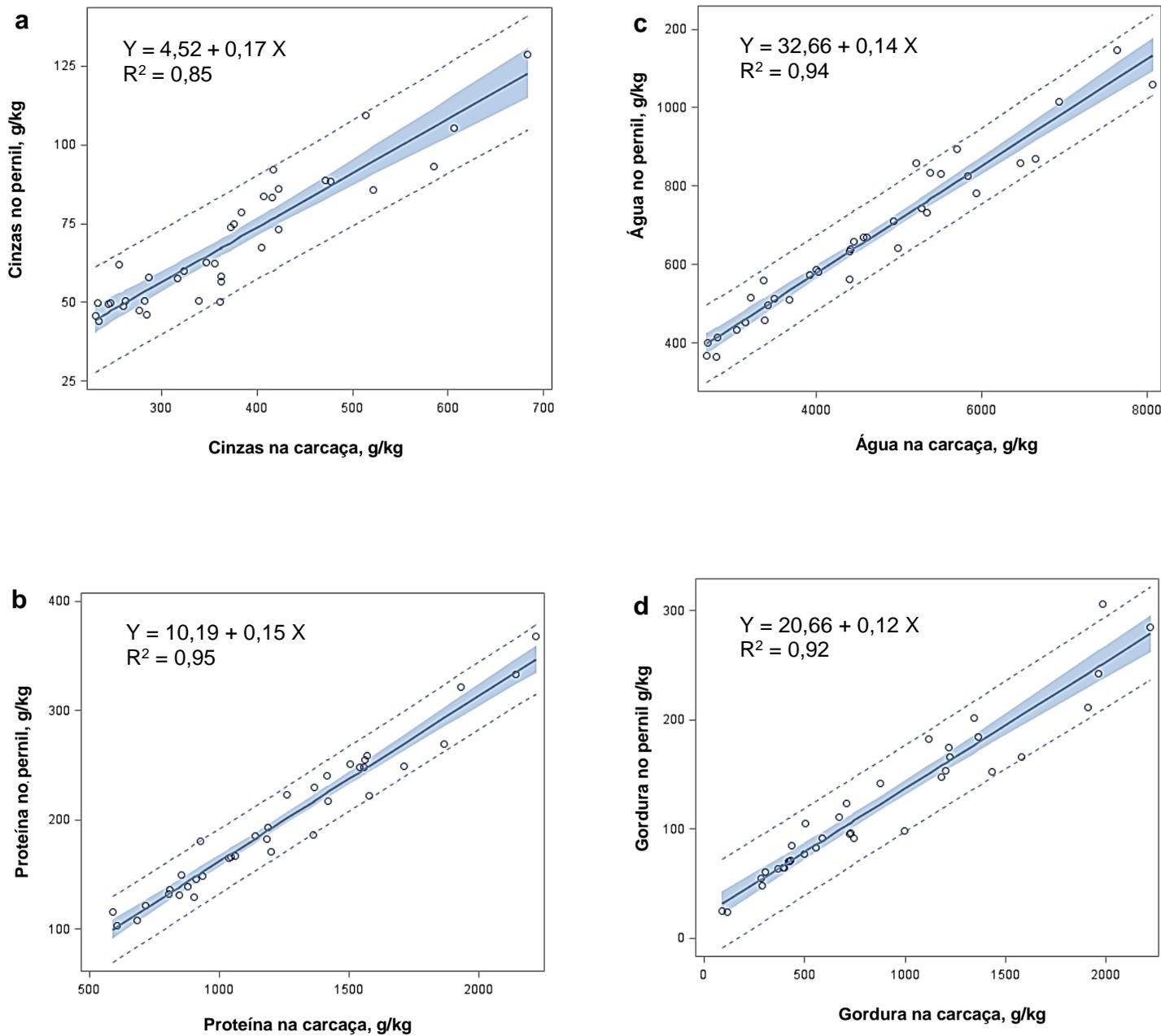


Figura 4. Composição química do pernil em função da carcaça de caprinos Saanen machos castrados aos três, cinco e sete meses de idade. Linhas pontilhadas representam limite de confiança predito em 95%.

Tabela 7. Comparação entre a composição da carcaça e do pernil esquerdo de caprinos¹ através do método direto de análise química.

Parâmetros	Modelos de predição	R²	DPR	CV	F-Valor
Cinzas, g/kg	Pernil = 4,52 (± 4,66) + 0,17 (± 0,01) x Carcaça	0,85	7,98	11,63	206,65
Proteína, g/kg	Pernil = 10,19 (± 7,41) + 0,15 (± 0,006) x Carcaça	0,95	14,33	7,28	707,17
Água, g/kg	Pernil = 32,66 (± 26,77) + 0,14 (± 0,005) x Carcaça	0,94	46,53	7,02	605,21
Gordura, g/kg	Pernil = 20,66 (± 5,91) + 0,12 (± 0,006) x Carcaça	0,92	19,28	15,82	415,01

¹Caprinos Saanen, machos castrados, com três, cinco e sete meses de idade, submetidos a dois níveis alimentares: *Ad libitum* (manutenção com adicional de 150 g.dia⁻¹); Manutença; ²Pernil como variável dependente; Coeficiente de determinação (R²); Desvio padrão residual (DPR); Coeficiente de variação (CV); Valores entre parênteses são erro padrão; Parâmetros estimados em relação ao peso de corpo vazio na matéria-natural; Para todas as linhas P<0,0001; n=36.

A Tabela 8 apresenta a relação entre os dados de composição corporal obtidos *in vivo* com o pernil esquerdo através do método indireto DXA. As variáveis obtidas pela análise *in vivo* foram consideradas como independentes. Os gráficos dos modelos gerados estão apresentados na Figura 5.

O conteúdo mineral ósseo do pernil e dos animais *in vivo* apresentou relação moderada ($R^2 = 0,73$) e F-valor baixo (89,26). Foi demonstrado em estudos anteriores que a não uniformidade da distribuição do tecido adiposo no abdômen ocasiona erros sobre a determinação da densidade mineral óssea e, por consequência, na estimativa do CMO (Laskey, 1996). Como os caprinos apresentam elevada deposição de gordura visceral e foram avaliados animais em distintas idades e proporção de gordura corporal, isso pode ter contribuído para uma baixa identificação óssea na análise *in vivo*, e assim, menor correlação com a análise do pernil inteiro.

Já a variável tecido magro + conteúdo mineral ósseo apresentou correlação altamente significativa ($R^2 = 0,92$) indicando a forte relação existente entre músculos e ossos. O F-valor para esse modelo gerado foi substancialmente maior (395,28) ao encontrado para a variável CMO isolada.

Por sua vez, o tecido magro (TM) dos animais vivos foi fortemente relacionado ao do pernil ($R^2 = 0,93$), apresentando o maior F-valor (401,19) das equações geradas o que indica forte poder do modelo. Essa forte relação entre os animais *in vivo* e o pernil para o TM DXA indica que o conteúdo do trato gastrointestinal, principalmente do rúmen, não influenciou as análises uma vez que poderia superestimar os dados obtidos *in vivo*. O jejum de 24h precedente as análises DXA pode ter contribuído positivamente para este resultado.

O tecido gordo demonstrou correlação moderada ($R^2 = 0,79$) provavelmente ocasionada pela menor distribuição de gordura no pernil em comparação a gordura visceral presente na análise de corpo inteiro. Pode-se observar que o modelo gerado apresentou alto coeficiente de variação ($CV = 20,21$), o que reduziu o poder estatístico do modelo (F-valor = 107,75). Estes resultados podem ter sido ocasionados pela maior concentração de gordura nos animais com sete meses de idade alimentados *ad libitum*, os quais se distanciaram da reta predita pelo modelo (Figura 5, letra d).

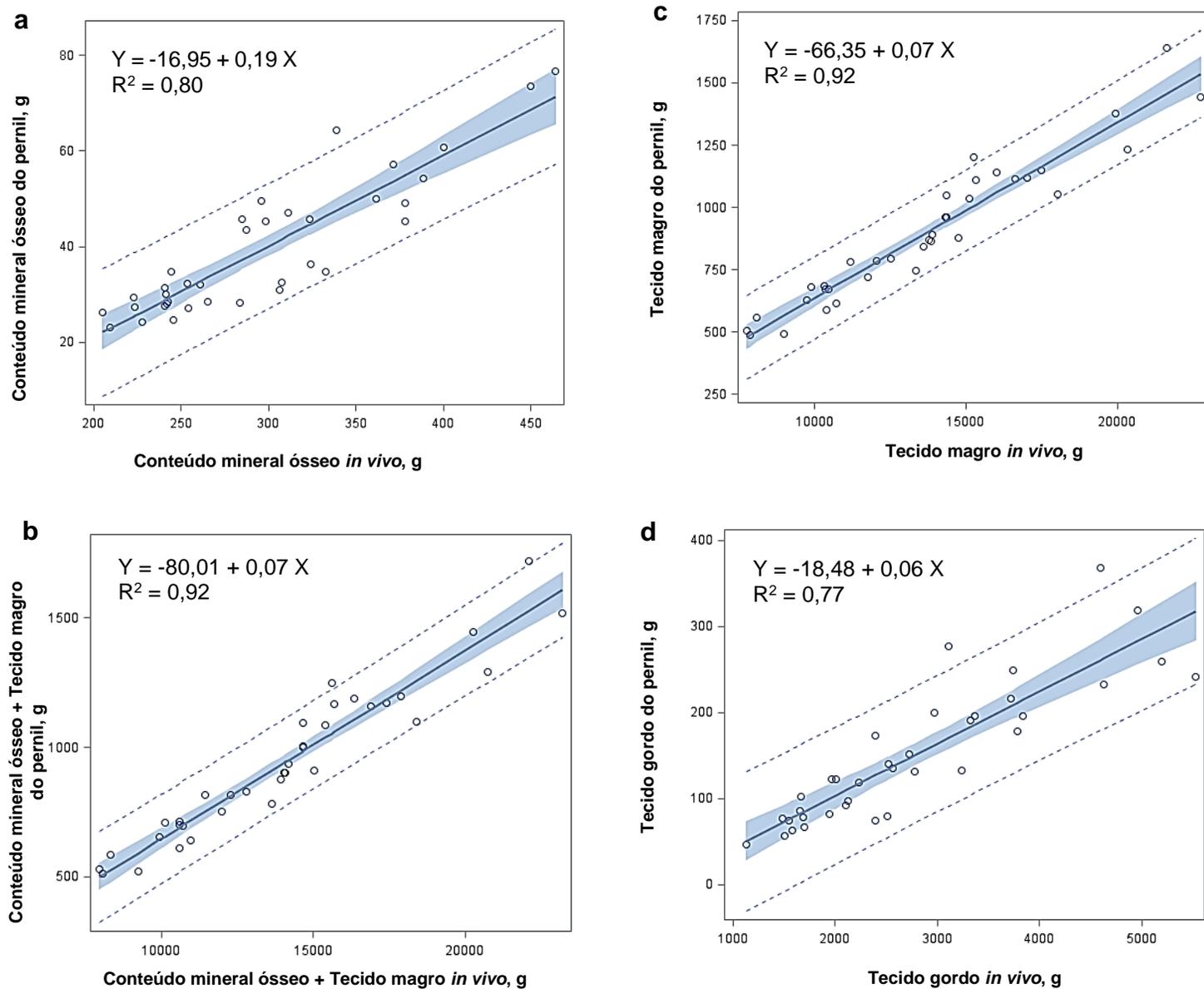


Figura 5. Relação entre a composição corporal analisada *in vivo* e a composição do pernil esquerdo de caprinos Saanen, machos castrados aos três, cinco e sete meses de idade, obtidas através do método de absorptometria de raios – X de dupla energia (DXA). Linhas pontilhadas representam limite de confiança predito em 95%.

Tabela 8. Relação entre medidas *in vivo* e do pernil esquerdo obtidas pelo método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) em caprinos¹.

Parâmetros	Modelo Linear	R ²	DPR	CV	F-Valor
Conteúdo mineral ósseo, g	Pernil = - 16,95 (± 4,86) + 0,19 (± 0,01) x <i>in vivo</i>	0,80	6,34	16,00	141,89
Tecido magro + conteúdo mineral ósseo, g	Pernil = - 80,01 (± 51,77) + 0,07 (± 0,003) x <i>in vivo</i>	0,92	82,19	8,76	415,92
Tecido magro, g	Pernil = - 66,35 (± 49,47) + 0,07 (± 0,003) x <i>in vivo</i>	0,92	78,98	8,79	409,29
Tecido gordo, g	Pernil = - 18,48 (± 16,83) + 0,06 (± 0,006) x <i>in vivo</i>	0,77	38,47	25,56	117,97

¹Caprinos Saanen, machos castrados, com três, cinco e sete meses de idade, submetidos a dois níveis alimentares: *Ad libitum* (manutenção com adicional de 150 g.dia⁻¹); Manutenção; Coeficiente de determinação ajustado (R²); Desvio padrão residual (DPR); Parâmetros do pernil como variáveis dependentes; Tecido magro (TM) (TM *in vivo*: considera o somatório dos músculos, órgãos, sangue e conteúdo do estômago), (TM pernil: estimado pela diferença entre a massa total, tecido gordo e conteúdo mineral ósseo); Valores entre parênteses são erro padrão; P<0,0001 em todas as linhas; n=36.

A Tabela 9 apresenta a relação entre a composição química dos componentes dissecados do pernil esquerdo e medidas *in vivo* obtidas pelo método DXA. As variáveis obtidas pela análise *in vivo* foram consideradas como independentes. Os gráficos dos modelos gerados estão apresentados na Figura 6.

Os modelos matemáticos gerados indicaram correlação moderada entre os ossos dissecados e o CMO DXA ($R^2 = 0,73$), assim como entre a gordura dissecada e o tecido gordo DXA ($R^2 = 0,79$). Os músculos do pernil apresentaram forte relação com o tecido magro DXA ($R^2 = 0,90$).

Mercier et al. (2006) testaram o DXA para estimar a composição de tecidos dissecados de cordeiros de ambos os sexos. Quanto a dissecação da perna os autores obtiveram baixa correlação entre o osso dissecado e o CMO DXA ($R^2 = 0,43$), já os músculos apresentaram forte correlação com o TM DXA ($R^2 = 0,93$), por sua vez a gordura dissecada apresentou concordância moderada com o TG (%) DXA ($R^2 = 0,68$).

Scholz et al. (2010) avaliaram a composição corporal *in vivo* e a carcaça inteira de cordeiros e encontraram baixa correlação entre o CMO DXA e ossos dissecados da carcaça ($R^2 = 0,39$), fraca correlação do TM DXA com os músculos dissecados ($R^2 = 0,67$), assim como, do TG DXA com a gordura proveniente da carcaça ($R^2 = 0,67$).

Existem várias razões para essas diferenças entre as medidas de dissecação e valores DXA. Essa tecnologia foi desenvolvida para estimar o CMO e a DMO, assim como, a composição dos tecidos macios em humanos usando "phantoms" compostos de banha, polioximetileno (uma resina), álcool e água (Mazess et al., 1990). Dado que esses phantoms eram compostos por um único material uniformemente distribuído pode-se esperar que haja diferença na estimativa DXA em relação aos tecidos animais, já que os animais são compostos por vários tecidos que não são distribuídos homogeneamente. Além disso, a composição química dos materiais utilizados para calibração DXA não é exatamente representativa da composição dos tecidos dissecados, provocando, portanto, variação entre os valores observados pelo método químico e preditos pelo DXA (Mercier et al., 2006).

Apesar disso, as correlações apresentadas entre os tecidos dissecados e as estimativas DXA *in vivo* neste estudo demonstraram-se satisfatórias.

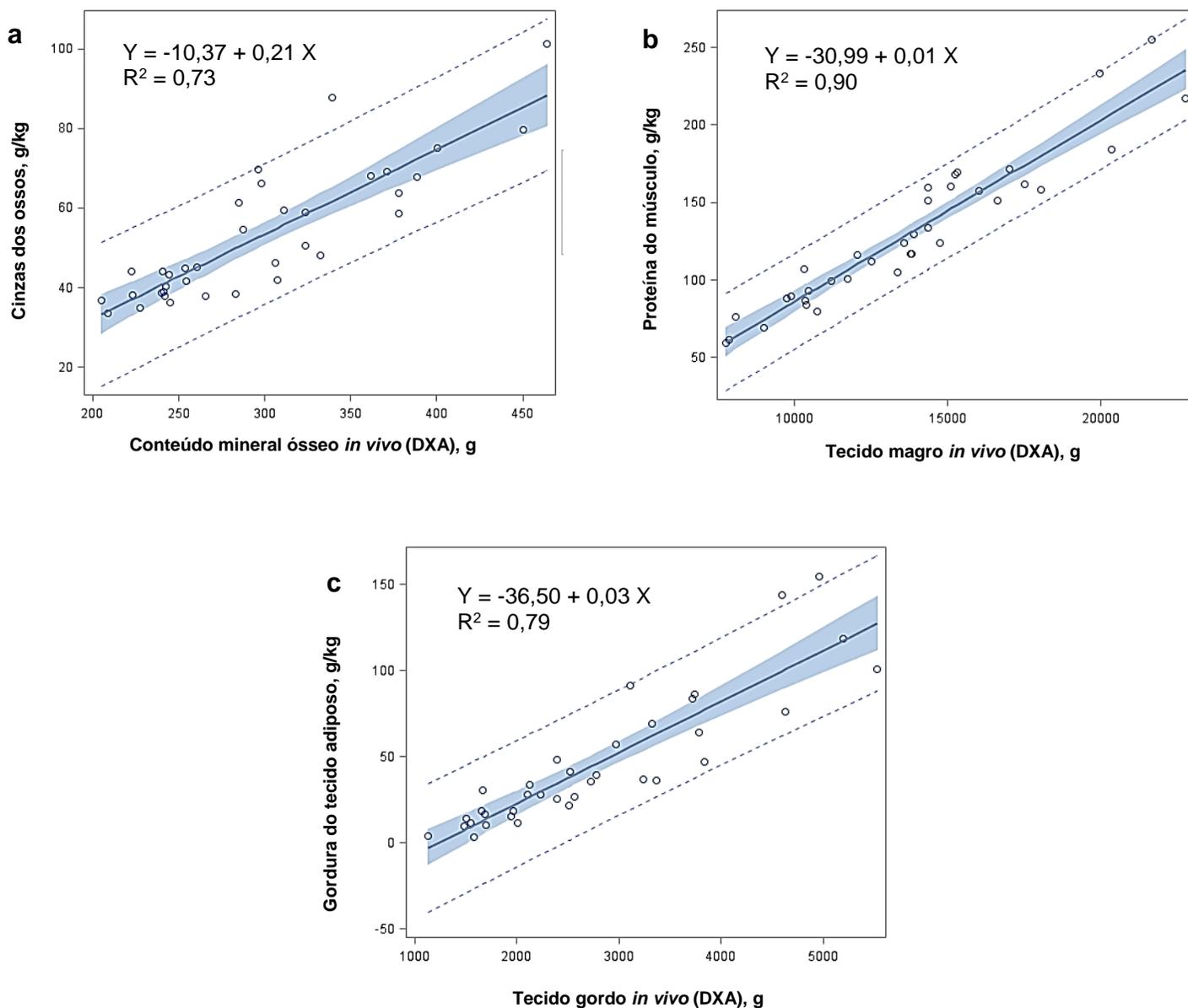


Figura 6. Relação entre a composição corporal de caprinos Saanen machos castrados aos três cinco e sete meses obtida *in vivo* pelo método DXA e através dos componentes dissecados do pernil¹ pelo método químico. Linhas pontilhadas representam limite de confiança predito em 95%; Absortometria de raios-X de dupla energia (DXA);
¹Componentes dissecados do pernil: ossos, músculos e tecido adiposo.

Tabela 9. Relação entre a composição química dos componentes dissecados do pernil esquerdo e medidas *in vivo* obtidas pelo método de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) em caprinos¹.

Modelos de predição	R²	DPR	CV	F-Valor
Cinzas (Ossos) = $-10,37 (\pm 6,56) + 0,21 (\pm 0,02) \times \text{CMO (DXA)}$	0,73	8,55	16,17	97,47
Proteína (Músculo) = $-30,99 (\pm 9,28) + 0,01 (\pm 0,0006) \times \text{TM (DXA)}$	0,90	14,82	11,42	322,51
Gordura (Tecido adiposo) = $-36,50 (\pm 7,75) + 0,03 (\pm 0,002) \times \text{TG (DXA)}$	0,79	17,71	38,53	132,50

¹Caprinos Saanen, machos castrados, com três, cinco e sete meses de idade, submetidos a dois níveis alimentares: *Ad libitum* (manutenção com adicional de 150 g.dia⁻¹); Manutenção; Componentes dissecados (ossos, músculos e tecido adiposo) como variável dependente; Coeficiente de determinação (R²); Desvio padrão residual (DPR); Coeficiente de variação (CV); Conteúdo mineral ósseo (CMO); Tecido Magro (TM); Tecido Gordo (TG); Valores entre parênteses são erro padrão; Para todas as linhas P<0,0001; n=36.

4. CONCLUSÃO

As variáveis DXA *in vivo* apresentaram alta correlação com as análises químicas de corpo vazio. O pernil demonstrou ser um bom parâmetro para predizer o corpo vazio estimado pelo método químico, assim como a composição corporal estimada pelo DXA *in vivo*. Apesar das peculiaridades existentes entre os métodos, o aparelho DXA pode ser considerado um método de referência para avaliar a composição corporal de caprinos *in vivo* e/ou no pernil. Contudo, novas pesquisas necessitam ser realizadas para aperfeiçoamento da técnica.

5. REFERÊNCIAS

Association of Official Analytical Chemists (1990) **Official methods of analysis**, v.1, 15.ed. Arlington, VA.

Catunda KLM, Aguiar EM, Silva JGM, Rangel AHN (2016) Leite caprino: características nutricionais, organolépticas e importância do consumo. **Revista Centauro** 7:34 – 55.

Costa RG, Cartaxo FQ, Santos NM, Queiroga RCRE (2008) Carne caprina e ovina: composição lipídica e características sensoriais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** 9:497-506.

De Lazzari NM (2017) **Saanen, raça de cabra leiteira, com grande lucratividade**. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-cabras/artigos/saanen-raca-de-cabra-leiteira-com-grande-lucratividade>>. Acesso em: 28 jul. 2019.

Fernandes HJ, Paulino MF, Martins RGR, Valadares Filho SC, Torres RA, Paiva LM, Ribeiro VA (2005) Crescimento de componentes corporais de três grupos genéticos nas fases de recria e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia** 34:288-296.

Goering HK, Gordon CH, Hemken RW, Van Soest PJ, Smith LW (1970) Analytical measures of heat damaged forage and nitrogen digestibility. **Journal of Dairy Science** 53(5):676.

Gray TC, Robinson D, Jones JM, Stock SW, Thomas NL (1983) Effect of age and sex on the composition of muscle and skin from a commercial broiler strain. **British Poultry Science** 24:219–231.

Laskey MA (1996) Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. **Nutrition** 12:45–51.

Mahan LK, Escott-Stump S (2002) **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 10 ed. São Paulo: Roca, p. 1157.

Mahgoub O, Kadim IT, Al-Saqri NM, Al-Busaidi RM (2004) Effects of body weight and sex on carcass tissue distribution in goats. **Meat Science** 67(4):577-585.

Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanson J (1990) Dual energy X-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. **The American Journal of Clinical Nutrition** 51(6):1106-1112.

Mendizabal JA, Delfa R, Arana A, Purroy A (2011) Body condition score and fat mobilization as management tools for goats on native pastures. **Small Ruminant Research** 98:121–127.

Mercier J, Pomar C, Marcoux M, Goulet F, Thériault M, Castonguay FW (2006) The use of dual-energy x-ray absorptiometry to estimate the dissected composition of lamb carcasses. **Meat Science** 73:249-257.

Moore FD, Boyden CM (1963) Body cell mass and limits of hydration of the fat-free body, their relation to estimated skeletal weight. **Annals of the New York Academy of Sciences** 110:62-71.

National Research Council (1981) **Nutrient requirements of goats: Angora, dairy, and meat goats in temperate and tropical countries**. Washington: The National Academies Press, p. 100.

National Research Council (2007) **Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids**. Washington: The National Academies Press, p. 384.

Pereira Filho JM, Resende KT, Teixeira IAMA, Silva Sobrinho AG, Yáñez EA, Ferreira ACD (2007) Efeito da restrição alimentar sobre algumas características de carcaça de cabritos F1 Boer x Saanen. **Ciência Agrotécnica** 31:499-505.

Resende KT, Fernandes MHMR, Hentz F, Teixeira IAMA, Garcia JA (2017) Methods of body composition estimative of growing goats. **Acta Scientiarum** 39:189-194.

Ribeiro AC, Ribeiro SDA (2010) Specialty products made from goat milk. **Small Ruminant Research** 89:225–233.

Ribeiro PR, Biagioli B, Almeida AK, Bonacin YS, D’Almeida AT, Silveira RF, Gindri M, Resende KT (2018) Anesthesia protocol for dual energy X-ray absorptiometry evaluation in goats. In: 55ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. **Resumos...** Goiânia: SBZ, 2018. Disponível em: <
<http://www.adaltech.com.br/anais/zootecnia2018/resumos/trab-1302.pdf>>.

Salas C, Ekmya RD, England J, Cerrate S, Coon CN (2012) Determination of chicken body composition measured by dual energy X-ray absorptiometry. **International Journal of Poultry Science** 11:462-468.

Schoenau E (2005) From mechanostat theory to development of the “functional muscle-bone-unit”. **Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions** 5:232-238.

Scholz AM, Kremer PV, Wenczel R, Pappenber E, Bernau M (2012) Body composition in farm animals by dual energy X-ray absorptiometry. In: Maltin C, Craigie C, Bünger L (Eds.) **Farm animal imaging**. Ingliston: QMS, p. 9-14.

Scholz AM, Mendel C, Kremer PV, Gruber E, Gotz KU, Forster M (2010) Evaluation of dual energy X-ray absorptiometry for phenotyping the body composition of meat type breeding sheep. In: Conference: 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. **Resumos...**Leipzig: Germany, 2010. Disponível em: <<http://www.wcgalp.org/system/files/proceedings/2010/evaluation-dual-energy-x-ray-absorptiometry-phenotyping-body-composition-meat-type-breeding-sheep.pdf>>.

Silva RA (2003) **Caprinocultura: Mundo, Brasil e Paraná**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/caprinos_AGO_03.pdf> Acesso em: 28 jul. 2019.

Silva Sobrinho AG, Machado MRF, Gastaldi KA, Garcia CA (2002) Efeitos da relação volumoso:concentrado e do peso ao abate sobre os componentes da perna de cordeiros Ile de France x Ideal confinados. **Revista Brasileira de Zootecnia** 31:1017-1023.

Speakman JR, Booles D, Butterwick R (2001) Validation of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) by comparison with chemical analysis of dogs and cats. **International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders** 25:439–447.

Swennen Q, Janssens PJ, Geers R, Decuypere E, Buyse J (2004) Validation of dual-energy x-ray absorptiometry for determining *in vivo* body composition of chickens. **Poultry Science** 83:1348-1357.

Van Soest PJ, 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(10):3583-3597.

CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

É fato que o avanço tecnológico proporcionou melhorias em todos os campos da pesquisa científica, o que também se faz verídico para a área da produção animal. A absorptiometria de raios-X de dupla energia (DXA) é um exemplo de tecnologia desenvolvida e aperfeiçoada ao longo de anos que têm proporcionado grandes progressos na obtenção de respostas quanto a variação da composição tecidual de forma rápida, com menor custo e não-destruição da amostra analisada. O que é de extrema urgência em tempos contemporâneos com intuito de evitar o sacrifício de animais com finalidade de pesquisa, realizar estudos longitudinais com melhores respostas sobre o efeito dos tratamentos, além de preservar indivíduos que possam ser identificados como geneticamente superiores. O primeiro estudo realizado com o DXA para avaliar a composição corporal de animais de interesse zootécnico foi conduzido por Mitchell et al. (1996). É espantoso notar que vinte e três anos após esse marco ainda não se tem relatos de nenhum estudo científico para determinar a composição corporal de caprinos através do método DXA. Nesse sentido, esta pesquisa foi conduzida de forma a principiar a aplicabilidade desta ferramenta à espécie caprina, tendo sido alcançados diversos avanços como estabelecer protocolo anestésico específico para a espécie; posicionar os caprinos sobre a plataforma DXA de modo a proporcionar imagem mais nítida, sem sobreposição de membros e reduzir o desconforto aos animais; além de padronizar as linhas de análise no modo whole body do aparelho utilizado (Hologic Discovery Wi) o que é de grande importância visto que determinam os valores finais estimados pelo DXA. Porém, novas pesquisas devem ser realizadas para dar continuidade ao progresso do estudo, como por exemplo, avaliar a capacidade DXA em mensurar diferentes raças e aptidões, comparar sexo e distintas fases na curva de crescimento. Tornando possível assim, ampliar a validação do método como já realizado por outras espécies produtivas como suínos e aves. E acima de tudo, tornar habitual a prática do método não-invasivo DXA em estudos de composição corporal e afins.