

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA

MÉTODOS INDIRETOS PARA ESTIMAR A COMPOSIÇÃO
CORPORAL DE CABRAS SAANEN E OVELHAS SARDA LACTANTES
INDIRECT METHODS TO ESTIMATE BODY COMPOSITION OF LACTATING SAANEN
GOATS AND SARDA EWES

Leonardo Sidney Knupp
Zootecnista

AREIA – PB
2017

LEONARDO SIDNEY KNUPP

**MÉTODOS INDIRETOS PARA ESTIMAR A COMPOSIÇÃO
CORPORAL DE CABRAS SAANEN E OVELHAS SARDA LACTANTES**

***INDIRECT METHODS TO ESTIMATE BODY COMPOSITION OF LACTATING SAANEN
GOATS AND SARDA EWES***

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, da Universidade Federal da Paraíba, do qual participam a Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Nutrição Animal

Orientadores:

Prof. Dr. Roberto Germano Costa – Orientador principal (CCA/UFPB)

Prof. Dr. Antonello Cannas – Coorientador (UNISS, Itália)

Prof. Dr. Alberto Stanislao Atzori – Coorientador (UNISS, Itália)

**AREIA – PB
2017**

*Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.*

K67m Knupp, Leonardo Sidney.

Métodos indiretos para estimar a composição corporal de cabras
saanen e
ovelhas sarda lactantes / Leonardo Sidney Knupp. - Areia: UFPB/CCA,
2017.
212 f.

Tese (Doutorado em Zootecnia) - Centro de Ciências Agrárias.
Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

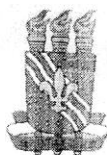
Bibliografia.

Orientador: Dr. Roberto Germano Costa.

1. Zootecnia – ovelhas e cabras. 2. Composição corporal. 3. Cabras
Saanen. 4. Ovelhas Sarda lactantes. I. Costa, Roberto Germano Costa
(Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 636.3(043.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

TÍTULO: "MÉTODOS INDIRETOS PARA ESTIMAR A COMPOSIÇÃO CORPORAL DE CABRAS SAANEN E OVELHAS SARDA LACTANTES"

AUTOR: Leonardo Sidney Knupp

ORIENTADOR: Prof. Dr. Roberto Germano Costa

JULGAMENTO

CONCEITO: APROVADO

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Roberto Germano Costa
Presidente

Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Severino Gonzaga Neto
Examinador

Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Francisco Fernando Ramos de Carvalho
Examinador

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Marcos Inácio Marcondes
Examinador

Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Davide Rondina
Examinador

Universidade Estadual do Ceará

Areia, 31 de agosto de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LEONARDO SIDNEY KNUPP – Filho de Pedro Sidney Knupp e Adelaide de Jesus Paulo Knupp, nascido em Carangola (MG) no dia 23 de Setembro de 1985. Conclui o ensino médio no Colégio Pitágoras em 2003, na cidade de Belo Horizonte (MG). Ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo no curso de Zootecnia em Agosto de 2004 e obteve o título de Zootecnista em Fevereiro de 2009. Ingressou no programa de pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa em Março de 2010 e obteve o título de Mestre em Zootecnia em Março de 2012. Atuou como Administrador da Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gado de Leite do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa durante o período de Junho de 2011 a Março de 2013. Em Setembro de 2013 iniciou suas atividades do Programa de Pós-graduação Integrado em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, tendo realizado “doutorado sanduíche” na Università degli studi di Sassari (Itália), entre Agosto de 2014 a Julho de 2015.

“Os jovens se cansam e se fatigam, e os moços de exaustos caem, mas os que esperam no Senhor renovam as suas forças, sobem com asas como águias, correm e não se cansam, caminham e não se fatigam.”

Isaías 40: 30-31.

*Ao Senhor Deus, todo Poderoso, pela infinita graça, bondade e misericórdia.
À minha esposa Sheila, meu filho Samuel, meus pais Pedro e Adelaide, minha avó Wanda e a
todos os familiares e amigos que me apoiaram nessa jornada.*
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao único que é digno de receber toda honra e toda glória por tudo o que É e por tudo o que fez por mim. Obrigado, Senhor, por sua infinita graça e amor. Sem Ti nada sou e é impossível viver sem o teu amor e o teu perdão que se renovam todas as manhãs. Obrigado pela benção de ter uma família, pela esposa maravilhosa e pelo filho, presente dos céus!

À minha esposa, linda, maravilhosa, Sheila. Pelo seu amor demonstrado todos os dias, pela sua paciência e carinho. É a mulher perfeita que Deus me deu para sermos um só nEle. Não bastasse ser tudo o que simboliza o amor, ainda me deu um presente, juntamente com o Pai celestial que é o nosso filho, Samuel. Como sou abençoado em ter vocês todos os dias na minha vida! Fico sem palavras para expressar tanta alegria em ser marido e pai de seres tão especiais como vocês.

Aos meus pais, Pedro e Adelaide, por me apoiarem em tudo nessa vida. Por serem amáveis, pacientes e dedicados. Amo vocês!

À minha querida avó, Wanda, por sempre se preocupar comigo e me amar incondicionalmente. Obrigado por me incentivar e por ter sempre uma palavra de carinho para me consolar e aconselhar.

Aos meus irmãos, primos, primas, tios, tias por todo apoio que me deram e pela amizade.

Ao professor Roberto Germano Costa por ter aceitado me orientar, pela paciência e confiança em mim depositada. Muito obrigado por todos os ensinamentos!

Ao professor e coorientador Antonello Cannas pela orientação na Itália. Além de um excelente profissional, você é um exemplo de pai, marido e de dedicação ao trabalho.

À Ana Helena, esposa do Antonello, por cuidar de mim em todos os trâmites necessários, por facilitar meus aprendizados de idioma, por auxiliar nas traduções dos artigos, enfim. Por tudo o que fez e por ser, também, um exemplo de dedicação, competência, carinho e amizade que construímos.

Ao coorientador Alberto Atzori, pelos conselhos, paciência e amizade.

Aos professores e pesquisadores da Itália, Anna Nudda, Giovanni Molle, Marco Acciaro, Mauro Decandia, Carla Manca, Stefano Picconi e aos professores da UFPB, Severino Gonzaga, Edgard Pimenta Filho, George Beltrão e Ariosvaldo Medeiros pelos ensinamentos.

Aos técnicos Antonio Mazza, Antonio Fenu e Gesumino Spanu pelo apoio nos trabalhos de campo e ao técnico de laboratório Roberto Rubbatu pelo auxílio em todas as

etapas de minha estadia na Itália, incluindo a casa em que morei e a viagem a Isola Rossa com sua esposa Maria Masia. Jamais me esquecerei de vocês.

Aos amigos que fiz na Itália, Fabio, Paola Stacca, Mauro Ledda, Marco Sini, Mondina, Gabriella, Mauro Russu, Francesco Ulargiu, Caterina Canalis, Pamela, Sandra, Giustino, Salvatore Contini, Maria Grazia, Giovanni Burrai, Ákos, Svenja Starke, Jessica Sardino, Antonio Pulleda, Antonello Ledda, Giacomo Floris, Dario Banni e Elisabetta Manca por tudo o que fizeram por mim, amizade e paciência.

Ao amigo e professor Davide Rondina com quem convivi um ano na Itália e construí uma grande e respeitosa amizade.

Ao meu grande amigo Flávio Gomes, pela amizade, carinho, respeito e pela ajuda nas estadias em Areia.

Aos amigos que fiz em Areia, Magno, Neila, Aline, Alma, Priscila, Talma, Fabrício, Fernando, Roberto, Rodrigo, Lucas Notaro, Wendell, Flávio Soares, José Mathias, Allann Bruno, Joseílson, Marciana, Denis, Josa, Adelson, Paulo, Danilo, Alexandre, José Ribamar, Veruska e Ana Paula.

Aos demais amigos que fiz nas cidades por onde passei, Carangola, Belo Horizonte, Alegre, Viçosa, Areia, Sassari e Sousa.

À UFPB que me deu a oportunidade de trilhar o caminho do doutoramento.

Aos professores, membros da banca de qualificação e defesa, pelos pertinentes apontamentos que engrandeceram esse trabalho.

Ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia (PDIZ), por conceder docentes que, de alguma forma, deram o melhor de si, para que o seu conhecimento fosse transmitido e nós, discentes, saíssemos mais capacitados de cada disciplina.

À Dona Graça, secretária do PDIZ, por sua paciência e conselhos.

À Capes por conceder a bolsa que foi essencial para que eu me mantivesse longe de casa e ao CNPq pela bolsa de “doutorado sanduíche”.

E por fim, agradeço novamente a Deus, porque cada uma dessas pessoas tiveram uma importância única em minha vida.

Muito obrigado por tudo!!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMO GERAL.....	xiii
GENERAL ABSTRACT.....	xv
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
CAPÍTULO 1: Referencial teórico	3
Resumo.....	4
Abstract.....	5
Introdução.....	6
1. Fatores que afetam a composição corporal.....	7
1.1 Espécie e raças.....	7
1.2 Sexo e idade.....	7
1.3 Dieta.....	8
2. Métodos para a estimativa das reservas corporais.....	8
2.1 Métodos diretos.....	8
2.2 Métodos indiretos.....	9
2.2.1 Peso vivo.....	10
2.2.2 Medidas somáticas.....	10
2.2.3 Escore de condição corporal.....	12
2.2.4 Ultrassom.....	13
2.2.5 Outros métodos.....	15
3. Considerações finais.....	15
Referências Bibliográficas.....	16
CAPÍTULO 2: Metodologias pré e pós-abate para estimativa das reservas de gordura de cabras Saanen em lactação	21
Resumo.....	22
Abstract.....	23
Introdução.....	24
Material e métodos.....	25
Resultados.....	28
Discussão.....	37
Conclusões.....	41
Referências bibliográficas.....	41
CAPÍTULO 3: Metodologias pré e pós-abate para estimativa das reservas de gordura de ovelhas Sarda em lactação	44
Resumo.....	45
Abstract.....	46

Introdução.....	47
Material e métodos.....	48
Resultados.....	51
Discussão.....	60
Conclusões.....	63
Referências bibliográficas.....	64
 CAPÍTULO 4: Estimativa da composição corporal de cabras Saanen e ovelhas Sarda em lactação	66
Resumo.....	67
Abstract.....	69
Introdução.....	70
Material e métodos.....	71
Resultados.....	74
Discussão.....	82
Conclusões.....	86
Referências bibliográficas.....	86
 CAPÍTULO 5: Artigos em inglês	90
Artigo I: Easily applied methodologies to estimate body composition of sheep and goats: A review	91
Artigo II: Pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves in lactating Saanen goats	111
Artigo III: Pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves in lactating Sarda ewes	140
Artigo IV: Indirect methods to estimate body composition of lactating Saanen goats and Sarda ewes	168
 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	196

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
CAPÍTULO 2	
1. Medidas somáticas, peso corporal, escore de condição corporal (ECC) medido na região lombar e esternal, peso da carcaça quente, peso de corpo vazio, espessura da gordura lombar, esternal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGEU e EGPU, respectivamente), espessura da gordura lombar e esternal medida por paquímetro digital (EGLP, EGEP, respectivamente) e peso dos depósitos de gordura em cabras Saanen.	30
2. Equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de circunferência torácica, peso corporal, escore de condição corporal lombar e esternal (variável x) de cabras Saanen em lactação.	32
3. Equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de espessura da gordura lombar, esternal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGEU e EGPU, respectivamente) (variável x) de cabras Saanen.	33
4. Equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pós-abate de peso da carcaça quente, peso de corpo vazio, espessura da gordura lombar e esternal medida por paquímetro digital (EGLP, EGEP, respectivamente) (variável x) em cabras Saanen em lactação.	34
5. Equações de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de circunferência torácica, peso corporal, escore de condição corporal lombar e esternal, gordura lombar, esternal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGEU e EGPU, respectivamente) (variável x) em cabras Saanen.	35
6. Equações de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pós-abate de peso da carcaça quente (PCQ), peso de corpo vazio (PCVZ), espessura da gordura lombar e esternal medida por paquímetro digital (EGLP, EGEP,	37

respectivamente) (variável x) em cabras Saanen.

CAPÍTULO 3

- Medidas somáticas, peso corporal, escore de condição corporal (ECC) medido na região lombar e caudal, peso da carcaça quente, peso de corpo vazio, espessura da gordura lombar, caudal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGCU e EGPU, respectivamente), espessura da gordura lombar e caudal medida por paquímetro digital (EGLP, EGCP, respectivamente) e peso dos depósitos de gordura de ovelhas Sarda. 53
1. Equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de circunferência torácica, peso corporal, escore de condição corporal lombar e caudal (variável x) em ovelhas Sarda em lactação. 55
2. Equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de espessura da gordura lombar, caudal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGCU e EGPU, respectivamente) (variável x) em ovelhas Sarda em lactação. 56
3. Equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pós-abate de peso da carcaça quente, peso de corpo vazio, espessura da gordura lombar e caudal medida por paquímetro digital (EGLP, EGCP, respectivamente) (variável x) em ovelhas Sarda em lactação. 57
4. Equações de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de circunferência torácica, peso corporal, escore de condição corporal lombar e caudal, gordura lombar, caudal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGCU e EGPU, respectivamente) (variável x) em ovelhas Sarda em lactação. 58
5. Equações de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pós-abate de peso da carcaça quente, peso de corpo vazio, espessura da gordura lombar e caudal medida por paquímetro digital (EGLP, EGCP, respectivamente) (variável x) em ovelhas Sarda em lactação. 60
- 6.

CAPÍTULO 4

	Medidas somáticas, peso corporal, escore de condição corporal (ECC) medido na região lombar, caudal e esternal e espessura da	
1.	gordura lombar, esternal, caudal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGEU, EGCU e EGPU, respectivamente) em cabras Saanen e ovelhas Sarda lactantes.	75
2.	Efeito da espécie na comparação da carcaça e dos componentes não-carcaça (CNC) e rendimento em relação ao peso de corpo vazio em cabras Saanen e ovelhas Sarda lactantes.	76
3.	Composição química da carcaça, componentes não-carcaça e do peso de corpo vazio em cabras Saanen e ovelhas Sarda.	78
4.	Equações de regressão simples entre a quantidade e a proporção dos componentes de corpo vazio e as medidas tomadas <i>in vivo</i> em cabras Saanen e ovelhas Sarda.	79
5.	Equações de predição da composição do corpo vazio de cabras Saanen e ovelhas Sarda lactantes.	81

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
CAPÍTULO 2		
1.	Relação entre a circunferência torácica e o peso corporal em cabras Saanen lactantes.	29
2.	Relação entre o escore de condição corporal lombar e esternal e o peso corporal em cabras Saanen.	31
CAPÍTULO 3		
1.	Relação entre a circunferência torácica e o peso corporal em ovelhas Sarda lactantes.	52
2.	Relação entre o escore de condição corporal lombar e caudal e o peso corporal em ovelhas Sarda.	54

Métodos indiretos para estimar a composição corporal de cabras Saanen e ovelhas Sarda lactantes

RESUMO GERAL

A eficiência energética de cabras e ovelhas durante períodos alternativos de desnutrição e recuperação pode somente ser avaliada se as mudanças de composição corporal forem conhecidas. As mudanças na composição corporal podem ser estimadas com base em variações da composição corporal (lipídios, proteínas, água e minerais) ou em conteúdo energético. Este trabalho teve como objetivo comparar as metodologias pré e pós-abate para estimar as reservas de gordura e comparar metodologias indiretas para avaliar a composição química em cabras e ovelhas leiteiras em lactação. Foram utilizadas cabras da raça Saanen ($n = 26$; PV $56,4 \pm 6,8$ kg, média $\pm$ DP) e ovelhas da raça Sarda ($n = 26$; PV $46,8 \pm 6,9$ kg, média $\pm$ DP). Foram utilizadas quinze medidas pré-abate e quatro pós-abate para estimar o peso da gordura Omental (OM), mesentérica (MES), perirrenal (PR), órgãos (ORG), carcaça (CARC), componentes não-carcaça (CNC) e depósitos totais (TOT, calculado como a soma de CARC e CNC). As medidas tomadas pré-abate foram: altura da cernelha; altura do quadril; comprimento da garupa; largura da garupa; profundidade do tórax; largura dos ombros; circunferência torácica; comprimento corporal; altura do esterno; peso corporal (PV); escore de condição corporal avaliado na região lombar (ECC_L), esternal (ECC_e - cabras) e caudal (ECC_c - ovelhas); espessura de gordura medida por ultrassom na região lombar (EGLU), esternal (EGEU - cabras), caudal (EGCU - ovelhas) e perirenal (EGPU). As medidas pós-abate foram: peso de carcaça quente (PCQ); peso de corpo vazio (PCVZ); espessura de gordura medida por paquímetro digital na região lombar (EGLP), esternal (EGEP - cabras) e caudal (EGCP - ovelhas). Foram realizadas análises de regressões lineares e múltiplas. Nas cabras, o PV, ECC (das regiões lombar e esternal), todas as medidas corporais e espessura de gordura medidas por ultrassom nas regiões lombar e esternal não foram adequadas para estimar o peso da gordura total ($R^2 \leq 0,55$). Os melhores estimadores pré-abate e pós-abate dos depósitos de gordura OM, MES, PR, ORG, NC e TOT foram EGPU e PCVZ, respectivamente. Entre as medidas pré e pós-abate, o ECC lombar ($R^2 = 0,63$) e o PCQ ($R^2 = 0,82$) apresentaram maior acurácia na estimativa da gordura CARC, respectivamente. A regressão múltipla utilizando as variáveis pré-abate EGPU, PV e o ECC lombar produziram estimativas de gordura TOT com um $R^2 = 0,92$. Por outro lado, a gordura TOT predita usando as variáveis pós-abate PCQ e EGEP apresentou um $R^2 = 0,83$. Em ovelhas Sarda, o ECC caudal e o PCQ apresentaram a maior acurácia sobre a gordura TOT entre as variáveis pré e pós-abate, respectivamente ($R^2 = 0,84$ e $0,92$, respectivamente). Alto coeficiente de determinação foi obtido com o uso das variáveis pré-abate EGPU, ECC caudal, EGLU e PV através de regressões múltiplas ($R^2 = 0,96$). As cabras apresentaram o ECC lombar inferior ao das ovelhas (2,64 vs 3,01, respectivamente) seguido também de EGLU menor (média de 2,3 versus 5,3 mm, respectivamente). Os componentes não-carcaça das cabras Saanen foram 18% mais pesados do que os das ovelhas Sarda. No entanto, apenas uma pequena diferença foi observada quando os componentes foram comparados em relação ao PCVZ. As ovelhas Sarda mostraram um conteúdo significativamente menor de água e minerais na carcaça, nos CNC e no PCVZ do que as cabras Saanen. Em contraste, quando os componentes foram expressos como proporções do total na carcaça, o teor de proteína, gordura e energia foram maiores nas ovelhas do que nas cabras. Estes mesmos padrões de resultados se repetiram ao avaliar a composição corporal vazia. Entre todas as medidas corporais realizadas, a circunferência torácica foi a variável mais correlacionada com a composição química do corpo vazio. Em cabras, a EGPU explicou a maior quantidade de

variação no peso total de proteína ($R^2 = 0,67$), gordura ($R^2 = 0,64$), energia ($R^2 = 0,65$) e nas proporções de proteína ($R^2 = 0,68$), gordura ($R^2 = 0,64$) e energia ($R^2 = 0,68$). Nas ovelhas, o ECC caudal foi o melhor preditor das quantidades e das proporções de proteína, gordura e energia, explicando mais de 80% destas variações. As equações de regressão múltipla foram mais precisas em ovelhas do que nas cabras em termos de coeficiente de determinação, variando de 0,69 a 0,97 para a quantidade de minerais e energia, respectivamente, nas ovelhas Sarda e de 0,66 a 0,95 para minerais e água, respectivamente, em cabras Saanen. Esses resultados confirmam que as reservas de gordura e a composição corporal podem ser preditas em cabras Saanen e em ovelhas Sarda lactantes com alta precisão usando equações de regressão múltipla combinando algumas medidas *in vivo*.

Palavras-chave: composição da carcaça, escore de condição corporal, medidas corporais, peso corporal, ultrassom

Indirect methods to estimate body composition of lactating Saanen goats and Sarda ewes

GENERAL ABSTRACT

The energetic efficiency of goats and sheep during alternate periods of undernutrition and recovery can be assessed only if the accompanying changes in body composition are known. Changes in body composition can be estimated based on variations in body chemical content (lipids, protein, water and minerals) or energetic content. This work aimed to compare pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves and to compare indirect methodologies to estimate the chemical body composition in lactating dairy goats and ewes. Saanen goats ($n = 26$; BW 56.4 ± 6.8 kg, mean $\pm$ SD) and Sarda ewes ($n = 26$; BW 46.8 ± 6.9 kg, mean $\pm$ SD) were used. Fifteen pre-slaughter measurement and four post-slaughter measurement values were used to estimate the weight of fat in the omental (OM), mesenteric (MES), perirenal (PR), organ (ORG), carcass (CARC), non-carcass components (NC) and total depots (TOT, calculated as the sum of CARC and NC). The pre-slaughter measurements were: withers height; rump height; rump length; pelvis width; chest depth; shoulder width; heart girth; body length; sternum height; body weight (BW); BCS assessed in the lumbar (BCS_l), sternal (BCS_s – in goats) and tail (BCS_t – in ewes) regions; fat thickness measured by ultrasound in the lumbar (FTUS_l), sternal (FTUS_s – in goats), tail (FTUS_t – in ewes) and perirenal (FTUS_{pr}) regions. The post-slaughter measurements were: hot carcass weight (HCW); empty body weight (EBW); fat thickness measured by digital caliper in the lumbar (FTDC_l), sternal (FTDC_s – in goats) and tail (FTDC_t – in ewes) regions. Linear and multiple regressions were fit to data collected. In lactating Saanen goats, the BW, BCS (from lumbar and sternal regions), all somatic measurements and fat thickness measured by ultrasound in the lumbar and sternal regions were not adequate to estimate the weight of total fat ($R^2 \leq 0.55$). The best pre-slaughter and post-slaughter estimators of OM, MES, PR, ORG, NC and TOT fat were FTUS_{pr} and EBW, respectively. Among pre- and post-slaughter measurements, BCS_l ($R^2 = 0.63$) and HCW ($R^2 = 0.82$) gave the most accurate predictions of CARC fat, respectively. Multiple regression using the pre-slaughter variables FTUS_{pr}, BW and BCS_l yielded estimates of TOT fat with an $R^2 = 0.92$. On the other hand, TOT fat predicted using the post-slaughter variables HCW and FTDC_s had an $R^2 = 0.83$. In Sarda ewes, the BCS_t and HCW gave the most accurate predictions of the total fat among variables pre- and post-slaughter respectively ($R^2 = 0.84$ and 0.92 , respectively). Multiple regressions predicted total fat from the pre-slaughter variables FTUS_{pr}, BCS_t, FTUS_l and BW with an R^2 value of 0.96 (RSD = 0.96). Goats presented lower BCS from lumbar region than sheep (2.64 vs 3.01 , respectively) accompanied also by lower FTUS_l (mean of 2.3 vs 5.3 mm, respectively). Non-carcass components from Saanen goats were 18% heavier than that from Sarda ewes. However, just little difference was observed when components were compared in relation to empty body weight. Sarda ewes showed significantly lower content of water and ash in carcass, non-carcass and empty body mass than Saanen goats. In contrast, when the components were expressed as proportions of total in carcass, protein, fat and energy were higher in ewes than in goats. These same patterns of results repeated when evaluating empty body composition. Among all somatic measurements taken, heart girth was the most correlated variable with empty body chemical composition. In goats, the FTUS_{pr} explained the largest amount of variation in total protein content ($R^2 = 0.67$), fat ($R^2 = 0.64$), energy ($R^2 = 0.65$), protein proportion ($R^2 = 0.68$), fat proportion ($R^2 = 0.64$) and energy proportion ($R^2 = 0.68$). In ewes, the BCS_t was the best predictor of protein, fat and energy amount and proportion explaining more than 80% of the variation. Multiple regression equations were

more accurate in ewes than in goats with R^2 varying from 0.69 to 0.97 for the amount of ash and energy, respectively in Sarda ewes and from 0.66 to 0.95 for ash and water, respectively in Saanen goats. These results confirm that fat reserves and body composition can be predicted in lactating Saanen goats and Sarda ewes with high precision using multiple regression equations combining *in vivo* measurements.

Keywords: body condition score, body weight, carcass composition, somatic measurements, ultrasound

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A alimentação é o componente mais dispendioso do sistema de produção animal, sendo o principal responsável pela eficiência produtiva. Para elevar os índices zootécnicos do rebanho, além dos investimentos com boa genética, infraestrutura, bem-estar e sanidade, torna-se necessário adotar práticas adequadas de manejo nutricional. Nutrir adequadamente um animal significa fornecer-lhe todos os nutrientes em quantidade e proporção adequadas para atender às suas necessidades, por meio de uma ração sem fatores tóxicos e com menor custo possível. Para alcançar esse objetivo, se faz necessário ter conhecimento da composição corporal e, também, das exigências nutricionais de cada espécie, raça, sexo, idade, entre outros.

Para a determinação da composição corporal são empregados dois métodos, o direto e o indireto. O método direto consiste na separação e dissecação de todas as partes do corpo do animal (músculo, gordura e ossos), sendo realizada a determinação dos constituintes físicos e químicos. Já os métodos indiretos podem ser divididos em estimativa *in vivo* e *post-mortem*. Com a metodologia *in vivo* é possível analisar a composição corporal do mesmo animal várias vezes durante a vida produtiva. Como há uma grande variação individual na composição química corporal, este método apresenta vantagens em relação ao abate seriado. A estimativa indireta da composição corporal com base em dados obtidos com animais abatidos tem sido a forma mais usada por pesquisadores de todo mundo. Essa estimativa pode ser realizada empregando-se uma série de parâmetros determinados. Entre os parâmetros mais utilizados destacam-se: 1) medidas corporais; 2) escore de condição corporal; 3) espessura de gordura subcutânea, esternal, caudal ou perirenal; 4) composição química e/ou física de determinados cortes da carcaça; 5) área de olho de lombo, dentre outras.

Pequenos ruminantes especializados na produção de leite apresentam características de composição corporal diferentes dos animais destinados à produção de carne. Os primeiros tem maior acúmulo de reservas corporais nas vísceras (omento e mesentério) enquanto os caprinos e ovinos de corte acumulam tecido adiposo em grande parte de modo subcutâneo. Dado essa marcante diferença, os métodos desenvolvidos para estimativa da composição química de uma raça/espécie especializada em carne nem sempre se aplica às raças leiteiras. Além disso, os animais leiteiros são caros, especialmente as fêmeas em lactação, o que limita a obtenção de amostras significativas para experimentação e análise da acurácia dos

diferentes métodos propostos em literatura que ainda requerem o abate ao término do experimento para confrontação dos resultados preditos dos animais vivos em contraste com a análise padrão, por meio do método direto. Desta forma, esta pesquisa foi realizada com os objetivos de comparar as metodologias pré e pós-abate para estimar as reservas de gordura e comparar metodologias indiretas para avaliar a composição química em cabras e ovelhas leiteiras em lactação.

Esse trabalho apresenta-se dividido em quatro capítulos: no primeiro encontra-se o referencial teórico sobre os temas abordados nos capítulos subsequentes, dando maior ênfase aos métodos de peso vivo, escore de condição corporal, medidas corporais e ultrassom como ferramentas de estimativa da composição corporal de caprinos e ovinos leiteiros; no segundo se discute algumas metodologias pré e pós-abate para estimativa das reservas de gordura de cabras Saanen em lactação; o terceiro refere-se também às metodologias pré e pós-abate para estimativa das reservas de gordura, porém de ovelhas da raça Sarda em lactação; e, no quarto e último capítulo, é abordado a estimativa da composição corporal de cabras Saanen e ovelhas Sarda em lactação.

CAPÍTULO 1

Referencial teórico

**Metodologias que podem ser facilmente aplicadas no campo para
estimativa da composição corporal de cabras e ovelhas leiteiras: revisão de
literatura**

RESUMO

A eficiência energética de cabras e ovelhas durante períodos alternativos de desnutrição e recuperação só pode ser avaliada se as mudanças de composição corporal forem conhecidas. As mudanças na composição corporal podem ser estimadas com base em variações na composição química corporal (lipídios, proteínas, água e minerais) ou do conteúdo energético. O método mais acurado para estimar a composição corporal é a análise química da carcaça e dos componentes não-carcaça após o abate. No entanto, faz-se necessário desenvolver um método prático e indireto para a estimativa da composição corporal para que a pesquisa não fique restrita apenas à Universidade e tenha praticidade aos produtores e agentes de extensão envolvidos em programas de desenvolvimento. Esta ferramenta deve apresentar um grau suficiente de acurácia e precisão para que as decisões de manejo nutricional sejam adequadas. Os métodos indiretos para a estimativa da composição corporal em animais vivos são numerosos, mas muitos deles são caros ou são muito difíceis de aplicar em condições de campo. Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de revisar metodologias indiretas que podem ser facilmente aplicadas nas fazendas para estimar a composição corporal de cabras e ovelhas. Relatou-se os principais achados de estudos que testaram o peso corporal, medidas corporais, escore de condição corporal, ultrassom e outras técnicas como indicadores de composição corporal com o objetivo de ajudar criadores de caprinos e ovinos a gerenciar adequadamente a nutrição de seus rebanhos. Em nossas recentes pesquisas foram observados resultados promissores com novas técnicas, como o uso de escore de condição corporal na região caudal e a espessura de gordura perirrenal usando ultrassom. Esses resultados, observados em cabras Saanen e ovelhas Sarda, mostram que novos experimentos devem ser conduzidos em outras raças.

Palavras-chave: composição da carcaça, escore de condição corporal, medidas corporais, peso corporal, ultrassom

ABSTRACT

The energetic efficiency of goats and sheep during alternate periods of undernutrition and recovery can be assessed only if the accompanying changes in body composition are known. Changes in body composition can be estimated based on variations in body chemical content (lipids, protein, water and minerals) or energetic content. The most accurate and precise method to estimate body composition is the chemical analysis of carcass and non-carcass after slaughter. However, it would be necessary to develop a practical and indirect method for the estimation of body composition by farmers and extension agents involved in development programmes. This tool must present a sufficient degree of precision and accuracy for an adequate decision. Indirect methods for the estimation of body composition in live animal are numerous, but many of them are expensive or are very difficult to apply in field conditions or both. Thus, the purpose of this work was to review indirect methodologies that can be easily applied in farms to estimate the body composition of goats and sheep. We reported main findings from studies that tested body weight, somatic measurements, body condition score, ultrasound and other techniques as indicators of body composition with the aim of helping goat and sheep farmers to properly manage the nutrition of their herds. Recently, promising results obtained with new techniques, such as the use of BCS in the tail region and perirenal fat thickness using ultrasound, on Saanen goats and Sarda sheep evidence that new experiments should be conducted in other breeds.

Keywords: body condition score, body weight, carcass composition, somatic measurements, ultrasound

INTRODUÇÃO

Durante muitos anos os estudos sobre a composição corporal em ruminantes se concentraram em aspectos relacionados à qualidade da carne e à quantidade de gordura na carcaça para aumentar a aceitabilidade do consumidor (Madruga et al., 2008; Costa et al., 2011), com pouca atenção ao significado biológico da gordura no corpo do animal (Russel et al., 1971). Os sistemas de produção de ruminantes baseiam-se, principalmente, no uso de pastagem (Morand-Fehr, 2005), caracterizado por mudanças sazonais marcadas na qualidade e disponibilidade de forragem (Eknæs et al., 2006; Ngwa et al., 2007a). Em alguns casos, os animais não são adequadamente suplementados com uma quantidade suficiente de ração ou são alimentados com dietas desequilibradas que não satisfazem seus requisitos, prejudicando a produtividade e reduzindo a rentabilidade da fazenda (Morand-Fehr, 2005). Em tais situações, as reservas de energia, especialmente da gordura corporal, são de importância considerável na determinação da produtividade animal e, em alguns casos, na sobrevivência (Russel et al., 1971).

Baixo nível de energia na dieta leva a uma baixa expressão do potencial genético do animal, com efeitos negativos na produção de leite ou carne e desempenho reprodutivo (Rhind et al., 2001). Por outro lado, quando os requisitos de energia são menores do que a entrada de energia, o excedente de energia é usado para a acumulação de reservas (Cannas et al., 2004). Em ovinos e caprinos, a deposição de gordura corporal varia sensivelmente com a raça e com a destinação da produção, se para carne ou leite (Wood et al., 1980; Ronchi et al., 1993; Oman et al., 2000). Vários estudos mostraram uma maior deposição de gordura subcutânea nas raças de carne em comparação com as raças de leite, que têm, por sua vez, uma maior deposição de gordura na cavidade visceral (Wood et al., 1980; Kempster, 1981; Butler-Hogg, 1984).

Estimar a quantidade e a distribuição da gordura corporal é muito importante para o ajuste da dieta, de modo que os requisitos de energia sejam satisfeitos. Assim, o conhecimento das reservas corporais de animais é essencial para o lucro adequado, especialmente em sistemas agrícolas extensivos ou semi-extensivos. No entanto, os métodos recentes desenvolvidos para estimar as reservas corporais *in vivo* são muito caros e a maioria deles é muito complexo para ser usada pelos produtores rurais (Eknæs et al., 2006; Scholz et al., 2015). Por estas razões, o objetivo deste trabalho foi revisar metodologias que poderiam ser facilmente aplicadas para estimar a composição corporal em cabras e ovelhas em

condições de campo. Além disso, objetivou-se relatar algumas técnicas que usamos em cabras leiteiras Saanen e ovelhas leiteiras Sarda.

1. Fontes de variações da composição corporal

1.1. Espécies e raças

A gordura é o tecido mais variável no peso corporal vazio (PCVZ) de ovinos e caprinos, e a raça é a principal causa de variação na composição corporal dessas espécies. Sob restrição alimentar, os animais mobilizam energia do tecido adiposo e, em alguns casos, dos músculos e órgãos para manter funções vitais. Os animais leiteiros, presumivelmente, têm pouca proteína muscular disponível para mobilização em comparação com as raças de carne (Ngwa et al., 2007a). A aferição da cobertura de gordura subcutânea é um preditor confiável do rendimento de carcaça em cordeiros de corte e, atualmente, é usada na tipificação e classificação de carcaças. No entanto, este método não é adequado para classificar as carcaças de cabras devido à escassez de gordura subcutânea (Dhanda et al., 1999). Além das diferenças entre as raças de carne e de leite, raças com a mesma aptidão podem ter diferentes quantidades e proporções de gordura (Ronchi et al., 1993; Soret et al., 1998; Oman et al., 2000).

1.2. Sexo e idade

Vários estudos mostraram que as fêmeas têm um desenvolvimento de tecido adiposo mais precoce ao do sexo masculino (Bénévent et al., 1971; McClelland et al., 1976; Mahgoub et al., 2004). Isto está associado a diferenças na eficiência da assimilação protéica e na composição do ganho de peso entre os sexos (Robelin e Thériez, 1981). Para o mesmo peso de carcaça, as fêmeas da raça ovina Mérinos d'Arles apresentaram maior percentual de gordura e menor proporção óssea e muscular do que os machos (Bénévent et al., 1971). Essas diferenças parecem estar relacionadas a um equilíbrio endócrino diferente, característico de cada sexo. Normalmente, os animais machos têm uma maior concentração de hormônio do crescimento (GH), o que induz uma lipólise intensa e síntese protéica, enquanto que as fêmeas apresentam maior síntese de glicerol (Sidhu et al., 1973). Em geral, a deposição de gordura corporal é mais precoce em fêmeas do que em machos castrados e mais cedo em machos castrados do que em machos inteiros (McClelland et al., 1976).

Em cabras Jebel Akhdar, Mahgoub et al. (2004) relataram que, à medida que o PCVZ aumentou, a gordura da carcaça e não-carcaça foi depositada a uma taxa mais rápida em fêmeas e, em menor grau, em machos castrados do que em machos inteiros. Além disso,

esses autores observaram que as proporções de gordura no corpo eram maiores em 28 kg do que em 11 e 18 kg, independentemente do sexo. A deposição de gordura normalmente começa com a gordura perirrenal, seguida de gordura intermuscular e subcutânea e, finalmente, pela gordura intramuscular. O aumento da quantidade de gordura corporal que ocorre após o nascimento é causado por hiperplasia e hipertrofia. Na fase adulta, os lipócitos intermusculares, perirrenais e mesentéricos, que se desenvolveram anteriormente, completaram seu desenvolvimento hiperplásico e tornaram-se depósitos gordurosos, enquanto que os depósitos subcutâneos e intramusculares continuam a produzir novos adipócitos, pois acumulam gordura (Oliveira et al., 2011).

1.3. *Dieta*

A ingestão de alimentos e a qualidade da dieta afetam a taxa de crescimento e a composição corporal do animal. Dietas ricas em energia levam a carcaças mais pesadas, com mais gordura, em comparação com dietas com baixo conteúdo energético (Cameron et al., 2001). Em cordeiros, Purroy et al. (1993) descobriram que dietas com alto teor de energia metabolizável aumentaram a deposição de gordura e, portanto, levaram a animais mais pesados em comparação com dietas com alto teor de proteína. Em cabras Alpinas em lactação, Ngwa et al. (2009) relataram que os níveis de gordura e energia foram maiores e os de minerais, proteínas e água foram menores para uma dieta com 40% de forragem e 60% de concentrado do que para uma dieta com 60% de forragem e 40% de concentrado. Além disso, a concentração de gordura foi maior em animais com seis meses de lactação do que em dois ou quatro meses de lactação para tecidos da carcaça e, em maior medida, em tecidos não-carcaça.

2. **Métodos para estimativa das reservas corporais**

Foram realizados numerosos estudos sobre a estimativa da composição corporal utilizando metodologias *in vivo* e *post-mortem*, com diferenças em sua utilidade, complexidade e precisão (Aumont et al., 1994; Bocquier et al., 1999). Scholz et al. (2015) analisaram o uso de técnicas avançadas para avaliar a composição corporal, como absorciometria de raios-X de energia dupla, tomografia computadorizada e ressonância magnética e ressaltou que esses métodos são difíceis e caros. Por esta razão, esta seção se concentra em métodos baratos e facilmente aplicados para estimar a composição corporal, que podem ser divididos em dois grupos: métodos diretos e indiretos.

2.1. Métodos diretos

O método mais preciso e confiável para estimar a composição corporal é a determinação direta da composição química. Este processo implica a destruição total de pelo menos metade de uma carcaça em preparação para análises laboratoriais (Silva et al., 2016). Tipicamente, a carcaça é moída, seca e analisada quimicamente. Esta análise também permite o cálculo da energia total contida no corpo do animal.

Hankins e Howe (1946) encontraram uma alta correlação entre a composição química da 9ª a 11ª costelas (rib 9-11) da carcaça de bovino e a composição química de todo o corpo, permitindo o desenvolvimento de equações e reduzindo o tempo e o custo da avaliação. Powell e Huffman (1968) também predisseram com sucesso a composição química dos animais usando a seção rib 9-11 ($R^2 = 0,94$ para a gordura e $R^2 = 0,96$ para a proteína bruta). Desde então, vários estudos usaram outras partes do corpo para estimar a composição corporal, com resultados satisfatórios (Lanna et al., 1995; Alleoni et al., 1997; De Campeneere et al., 1999). Dhanda et al. (1999) relataram correlações significativas entre a porcentagem de músculo, gordura e osso na maioria dos cortes primitivos (pescoço, flanco, costela, ombro e coxa) e usando apenas um lado da carcaça para os grupos genéticos Capretto e Chevon.

Embora os métodos diretos avaliem com precisão a composição do corpo animal, eles apresentam algumas desvantagens, como o custo excessivo devido à destruição do corpo animal, a necessidade de infraestrutura e ferramentas adequadas, reagentes para a análise que não são baratos e o tempo considerável necessário para a dissecação e análises químicas. No entanto, todos esses métodos representam o pilar fundamental em que se baseiam métodos indiretos (Colomer-Rocher et al., 1987) e, portanto, a necessidade de métodos eficientes e rápidos levaram ao desenvolvimento de vários procedimentos diretos.

2.2. Métodos indiretos

Os métodos indiretos são baseados em índices ou parte das medidas corporais para estimar a composição corporal e podem ser divididos em (1) avaliação subjetiva: avaliação visual subjetiva e método de pontuação da condição corporal (ECC); (2) Medições realizadas *in vivo* do corpo animal: peso corporal (PC), medidas somáticas, métodos de difusão do marcador, determinação do diâmetro do adipócito subcutâneo, isótopos radioativos, volume de glóbulos vermelhos e nível de metabólitos sanguíneos; (3) Medições realizadas *in vivo* em partes do corpo animal: ultrassom em tempo real, tomografia axial computadorizada e ressonância magnética nuclear. Alguns desses métodos requerem equipamentos caros e

sofisticados, enquanto outros podem ser facilmente aplicados no campo e, por esse motivo, são listados e discutidos abaixo.

2.2.1. *Peso vivo*

A avaliação do peso vivo (PV) para estimar a reserva energética corporal é muito simples e é um método de baixo custo, particularmente válido quando aplicado a animais do mesmo sexo, raça e recebendo uma dieta similar. Geralmente, o PV não reflete o estado nutricional do animal, devido ao fato de que as raças de ovelhas e cabras com estruturas ósseas grandes podem apresentar um peso maior em comparação com animais com uma pequena estrutura óssea com depósito de reserva de corpo diferente (Ndlovu et al. , 2007). Além disso, variações como o peso do alimento no trato digestivo, o peso do úbere e o peso do ventre gravídico também podem prejudicar o PV como indicador da composição corporal (Mendizabal et al., 2011).

Em cabras, nossos trabalhos mostraram que o PV obteve precisão moderada para estimar a quantidade de água no peso corporal vazio (PCVZ) das cabras Saanen em lactação ($R^2 = 0,66$) e era um índice razoável para estimar a quantidade de gordura no PCVZ ($R^2 = 0,55$) (dados ainda não publicados). Em contraste, Teixeira et al. (2008) e Mendizabal et al. (2010) relataram boa precisão para a estimativa de gordura total usando o PV em caprinos da raça Blanca Celtibérica ($R^2 = 0,79$ e $0,80$, respectivamente).

Na espécie ovina, nossos trabalhos sugerem que PV estima a quantidade de gordura no PCVZ com uma precisão de moderada a alta em ovelhas da raça Sarda ($R^2 = 0,72$) (dados ainda não publicados). Chavarria-Aguilar et al. (2016) relataram alta correlação entre o PV e a gordura corporal total ($r = 0,91$) em ovelhas Pelibuey. Por outro lado, Delfa et al. (1995) relataram que o PV sozinho representava 26% da variação da gordura total, enquanto que Mendizabal et al. (2003) relataram maior precisão trabalhando com cordeiros da raça Aragonesa ($R^2 = 0,81$). Frutos et al. (1997) trabalhando com ovelhas Churra relataram que o PV representava 64% e 62% da variação da gordura da carcaça e da não-carcaça, respectivamente. Em conclusão, este método não é preciso em todos os casos; no entanto, tem a vantagem de ser fácil de executar, de forma rápida e econômica.

2.2.2. *Medidas somáticas*

As medidas somáticas são abordagens indiretas que usam medidas de comprimento, altura, largura e circunferência de partes específicas do corpo para vários motivos, incluindo previsão de taxa de crescimento, melhoramento genético, estimativa do peso corporal,

conformação e características de carcaça. Alguns estudos avaliaram diferentes medidas somáticas, tais como o comprimento do corpo, a altura da cernelha, a profundidade do tórax e a circunferência torácica (CT), como preditor do peso corporal.

Entre todas as características de dimensão corporal avaliados em nossos trabalhos, a CT foi a medida mais relacionada ao peso corporal. Em ovelhas Sarda em lactação, observou-se que a relação entre CT e peso vivo era: $PV \text{ (kg)} = 1,3 \text{ CT (cm)} - 70,8$ ($R^2 = 0,69$), mostrando uma diferença média de 1,3 cm de CT por unidade (kg) de PV (dados não publicados), enquanto que Gaias (2012) trabalhando com ovelhas Sarda não lactantes de tamanho homogêneo, relatou que a relação entre CT e peso vivo foi: $PV \text{ (kg)} = 1,00 \text{ CT (cm)} - 44,94$ ($R^2 = 0,79$), mostrando uma diferença de circunferência torácica de 1,00 cm por unidade (kg) de PV. Em cabras Saanen em lactação, observou-se que a relação entre CT e peso corporal foi de: $PV \text{ (kg)} = 1,2 \text{ CT (cm)} - 57,7$ ($R^2 = 0,75$), mostrando uma alteração média do perímetro toeácico de 1,2 cm por unidade (kg) de PV. Slippers et al. (2000) relataram que o PV tem alta correlação com a CT em cabras Nguni ($R^2 > 0,88$). Por outro lado, McGregor (2017) observou uma correlação moderada ($R^2 = 0,60$) em cabras Angorá, com um aumento de 1 kg em PV por cada aumento de 1 cm na CT. No geral, a circunferência torácica parece ser a variável mais correlacionada dentre as medidas somáticas com o peso corporal, mas existem poucos trabalhos na literatura que estudam essas medidas correlacionando-as com as características de composição corporal.

Recentemente, Bautista-Díaz et al. (2017) relataram que a circunferência do abdômen representou 71% da variação da gordura corporal total e que a inclusão da largura do osso do quadril aumentou a precisão para 81% em ovelhas Pelibuey. Nas ovelhas Sarda, obteve-se 64% da variação da gordura da carcaça e 53% da variação da gordura não-carcaça explicadas pela circunferência torácica, enquanto que nas cabras Saanen esta variável explicou, de maneira muito menor, a variação da gordura na carcaça e nos componentes não-carcaça ($R^2 = 0,46$ e $0,37$, respectivamente) (dados ainda não publicados). A validação dos métodos de medidas somáticas para a estimativa de reservas corporais varia entre animais em crescimento ou maduros, devido às diferenças de crescimento nos tecidos corporais. Nos animais de crescimento precoce, os tecidos ósseos formam uma grande porção do peso em cordeiros e, portanto, o crescimento ósseo é o melhor preditor nesta fase. Na maturidade, o crescimento da gordura e dos músculos representa o melhor preditor em relação aos ossos (Dhanda et al., 1999).

2.2.3. *Escore de condição corporal*

O escore de condição corporal (ECC) é um método subjetivo amplamente usado em fazendas para estimar a quantidade de reservas do corpo do animal. Este método baseia-se na avaliação visual (em vacas) e tátil (em ovinos e caprinos) e envolve a atribuição de uma pontuação aos animais em relação à quantidade de reservas de tecido presentes em regiões anatômicas particulares do corpo. É rápido, prático e econômico e reflete as mudanças nas reservas de energia do animal. O método do ECC originalmente descrito em pequenos ruminantes baseia-se na palpação, comprimindo a cobertura de gordura e músculo na região lombar do animal. A seleção desta parcela baseia-se no fato de ser o último lugar onde a gordura subcutânea se deposita e o primeiro onde ocorre a mobilização de gordura (Russel et al., 1971; Teixeira et al., 1989); portanto, é possível seguir a tendência da composição corporal animal durante todo o ano. Em pequenos ruminantes, outras áreas do corpo foram incluídas para estimar a condição corporal, como a região esternal em cabras (Hervieu et al., 1991) e a base da cauda em ovelhas (Teixeira et al., 1989), mas o sistema do ECC mais utilizado em todo o mundo é baseado em uma escala de 0 a 5 desenvolvida por Russel et al. (1969) usando raças de ovelhas britânicas.

A distribuição da gordura corporal em cabras difere consideravelmente daquelas nas ovelhas (Mendizabal et al., 2011). Nas cabras da raça Saanen, observou-se que os depósitos de gordura subcutânea não são altamente visíveis na região dorsal (dados ainda não publicados). Na verdade, de acordo com Hervieu et al. (1991), grandes quantidades de gordura acumulada são depositadas na região esternal em cabras. Mendizabal et al. (2010) relataram que a precisão de estimar a gordura total em cabras Blanca Celtibérica, usando o ECC esternal, foi muito melhor ($R^2 = 0,90$) do que as obtidas usando o ECC lombar ($R^2 = 0,59$). Ngwa et al. (2007a) obtiveram valor de correlação de 86% entre o ECC e gordura da carcaça em caprinos Spanish mestiços com Boer, enquanto que em nosso recente estudo o ECC esternal não estimou as reservas de gordura de forma satisfatória ($R^2 < 0,55$) e o ECC lombar foi ainda pior ($R^2 = 0,45$ para gordura corporal total) (dados ainda não publicados). Essas diferenças podem ser atribuídas, pelo menos em parte, aos intervalos muito maiores de PV e ECC (33,0 a 80,5 kg e 0,75 a 4,25, respectivamente) avaliados por Mendizabal et al. (2010) em comparação com os obtidos no presente trabalho (43,6 a 69,4 kg e 1,75 a 3,00, respectivamente). Isso é plausível considerando as abordagens matemáticas e estatísticas utilizadas, porque o ajuste do modelo de regressão depende do banco de dados e de sua amplitude disponível. Assim, o modelo proposto poderia ter tido uma maior precisão com uma maior variabilidade das classes de ECC e dos pesos dos animais. Outra explicação

possível é que as cabras Saanen não depositam gordura na região lombar ou esternal proporcionalmente aos depósitos de gordura visceral.

Em ovelhas, dependendo da raça, a presença de lâ dificulta a atribuição do ECC. Na raça ovina Aragonesa, Mendizabal et al. (2003) relataram coeficiente de determinação de 0,73 para os depósitos de gordura total (soma de gorduras omental, mesentérica, perirrenal, subcutânea e intramuscular) usando o ECC lombar. Na raça Merino, Guerra et al. (1972) encontraram uma correlação de 0,77 entre o ECC e a gordura corporal, enquanto Russell et al. (1969) trabalhando com Scottish Blackface, Teixeira et al. (1989) com a raça Aragonesa e Sanson et al. (1993) em raças de ovelhas americanas, relataram valores de R^2 iguais ou superiores a 0,90 entre o ECC e a gordura corporal total. Em nosso trabalho com ovelhas da raça Sarda em lactação, observou-se que as equações de regressão para a predição dos pesos dos depósitos de gordura utilizando o ECC da cauda apresentavam valores de R^2 maiores que os ECC lombares, com exceção da gordura dos órgãos. O ECC mensurado na região caudal produziu o maior grau de precisão ($R^2 = 0,84$) na determinação do teor de gordura total. A precisão alcançada usando esta medida foi ligeiramente melhor do que a alcançada utilizando o método tradicional do escore de condição corporal (lombar, $R^2 = 0,80$). A razão para esses resultados foi que uma grande quantidade de gordura armazena-se na região da cauda nas ovelhas da raça Sarda (Gaias, 2012). Atti e Ben Hamouda (2004) observaram que, em cordeiros Bárbaros, a gordura da cauda estava altamente correlacionada com a gordura corporal total ($r = 0,91$) e concluíram que este depósito adiposo é uma importante fonte de energia para essas raças durante períodos de escassez de alimentos.

2.2.4. *Ultrassonografia*

Esta técnica é não invasiva, não destrutiva e não dolorosa. Usa um instrumento portátil capaz de dar imagens repetitivas, mas deve ser gerenciado por especialistas. O uso de ultrassom para estimar a composição da carcaça do corpo remonta aos anos 50, mas apenas a partir dos anos 80 é que surgiram dispositivos específicos para a varredura animal e vários autores começaram a usar essa metodologia. Hoje em dia o ultrassom em tempo real é utilizado em experimentos de ciência animal, tais como melhoramento genético, nutrição, produção de carne e reprodução; e também em condições de campo.

Vários estudos demonstraram que a ultrassonografia pode ser utilizado em pequenos ruminantes para estimar a espessura da gordura subcutânea e a quantidade de músculo com alta precisão em ovinos (Teixeira et al., 2006) e em cabras (Mendizabal et al., 2010). Härter et al. (2014) desenvolveram equações para prever depósitos de gordura abdominal em cabras

Saanen não lactantes mas gestantes, usando medidas de ultrassom da área do músculo *Longissimus* (LMA) e a espessura da gordura perirrenal (KFT). Os autores relataram alto coeficiente de determinação para gorduras não-carcaça e gordura corporal total ($R^2 = 0,77$ e $0,80$, respectivamente) quando se utilizam LMA e KFT associados ao PV. Em nosso recente trabalho, a medição da espessura de gordura perirrenal atingiu maior nível de precisão para estimar a gordura corporal total ($R^2 = 0,62$) em comparação com a região lombar ($R^2 = 0,32$) ou a região esternal ($R^2 = 0,51$) em cabras Saanen lactantes. A adição do PV e do ECC, em regressões múltiplas, melhorou substancialmente a precisão das estimativas da gordura corporal total (R^2 aumentando de $0,62$ para $0,92$). Nas ovelhas da raça Sarda em lactação, observou-se que o uso da espessura de gordura na região perirrenal representou 83% da variação da gordura total. Portanto, os resultados confirmaram que a espessura de gordura perirrenal é mais adequada que a lombar, a esternal ou a caudal para tomar medidas de espessura de gordura usando ultrassom em cabras e ovelhas leiteiras. No entanto, até o melhor de nosso conhecimento, há apenas um trabalho publicado na literatura que usou essa técnica em pequenos ruminantes (Härter et al., 2014).

Grill et al. (2015) estudaram o dispositivo de ultrassom para a profundidade do músculo traseiro e *Longissimus dorsi* lateralmente à coluna, na 10^a/11^a vértebra torácica (US1) e na 13^a vértebra torácica (US2), bem como nas 3^a/4^a (US3) vértebras lombares das seis principais raças de produção de cordeiros na Áustria: Merinoland, Tiroler Bergschaf (Sheekle Mountain Sheep), Suffolk, Jura, Texeland Schwarzköpfiges Fleischschaf (Blackheaded Meatsheep). Os autores concluíram que a comparação dos três locais de varredura anatômica não deram resultados definitivos. A região US1 parece ser favorável para estimar a profundidade muscular, para a predição de carne magra e em termos de repetibilidade, enquanto que as regiões US2 e US3 apresentaram pequenas vantagens na digitalização da profundidade da gordura, na predição da classificação EUROP e da gordura da carcaça.

Em cabras da raça Blanca Celtiberica, Teixeira et al. (2008) relataram que as melhores relações entre as medidas *in vivo* e de carcaça da espessura da gordura foram obtidas quando as medidas foram realizadas no esterno e o melhor ponto anatômico foi localizado entre a terceira e a quarta vértebra esternal ($r = 0,94$), enquanto que o melhor coeficiente de correlação para a profundidade muscular foram obtidos nas medidas realizadas entre a terceira e a quarta vértebras lombares ($r = 0,84$).

2.2.5. *Outros métodos*

Ao longo dos anos vários métodos foram desenvolvidos, com maior ou menor sucesso, como a medida do espaço de difusão de marcadores de água corporal como o óxido de deutério e a ureia (Bocquier et al., 1999; Ngwa et al., 2007b). Este método baseia-se nos dois pressupostos de que a composição corporal está relacionada ao teor de água e que a água corporal pode ser medida usando marcadores solúveis. Estes marcadores são injetados na veia jugular e, durante 24 a 48 horas algumas amostras de sangue são coletadas para observar qualquer alteração na concentração de marcadores dentro da água corpórea. Esta técnica apresenta desvantagens relacionadas à perda de marcadores através da urina, transpiração, síntese de metano e tecido, que não pode ser detectada. Como ponto positivo, trata-se de uma técnica relativamente simples, embora seu uso rotineiro na fazenda seja inviável, ficando restrito apenas a configurações experimentais. Outros métodos, como a tomografia computadorizada, a absorciometria de raios-X de energia dupla e a ressonância magnética são altamente intensivos em mão de obra e requerem equipamentos caros e, por estas razões, apenas foram testados em condições experimentais.

3. **Considerações finais**

Esta revisão destaca os principais métodos facilmente aplicados para estimar a composição corporal de ovinos e caprinos em condições de campo. Basicamente, os métodos diretos são mais precisos, mas exigem o abate de animais. Entre os métodos indiretos, que não precisam abater animais, o uso do peso corporal, o escore de condição corporal e a ultrassonografia são os mais confiáveis, enquanto que há poucos estudos na literatura usando medidas somáticas para predição da composição corporal de cabras e ovelhas. Por outro lado, pesquisas recentes com resultados promissores para novas técnicas, como o uso do escore de condição corporal na região da cauda em ovinos, e a espessura da gordura perirrenal usando o ultrassom evidenciam que novas experiências devem ser conduzidas em outras raças.

Referências bibliográficas

- Alleoni GF, Leme PR, Boin C, Nardon RF, Demarchi JJAD, Vieira PD and Tedeschi LO 1997. Avaliação da composição química e física dos cortes da costela para estimar a composição química corporal de novilhos nelore. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia* 26, 382-390.
- Atti N and Ben Hamouda M 2004. Relationships among carcass composition and tail measurements in fat-tailed Barbarine sheep. *Small Ruminant Research* 53, 151-155.
- Aumont G, Poisot F, Saminadin G, Borel H and Alexandre G 1994. Body condition score and adipose cell size determination for in vivo assessment of body composition and post-mortem predictors of carcass components of Creole goats. *Small Ruminant Research* 15, 77-85.
- Bautista-Díaz E, Salazar-Cuytun R, Chay-Canul AJ, Garcia Herrera RA, Piñeiro-Vázquez ÁT, Magaña Monforte JG, Tedeschi LO, Cruz-Hernández A and Gómez-Vázquez A 2017. Determination of carcass traits in Pelibuey ewes using biometric measurements. *Small Ruminant Research* 147, 115-119.
- Bénévent M, Bressot C and Paolantonacci S 1971. Croissance relative pondérale postnatale, dans les deux sexes, des principaux tissus et organes de l'agneau mérinos d'arles. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.* 11, 5-39.
- Bocquier F, Guillouet P, Barillet F and Chilliard Y 1999. Comparison of three methods for the in vivo estimation of body composition in dairy ewes. *Annales de zootechnie* 48, 297-308.
- Butler-Hogg BW 1984. The growth of Clun and Southdown sheep: body composition and the partitioning of total body fat. *Animal Science* 39, 405-411.
- Cameron MR, Luo J, Sahlou T, Hart SP, Coleman SW and Goetsch AL 2001. Growth and slaughter traits of Boer x Spanish, Boer x Angora, and Spanish goats consuming a concentrate-based diet. *Journal of Animal Science* 79, 1423-1430.
- Cannas A, Tedeschi LO, Fox DG, Pell AN and Van Soest PJ 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *Journal of Animal Science* 82, 149-169.
- Chavarría-Aguilar LM, García-Herrera RA, Salazar-Cuytun R, Chay-Canul AJ, Casanova-Lugo F, Piñeiro-Vázquez AT and Aguilar-Caballero AJ 2016. Relationship between body fat depots and body mass index in Pelibuey ewes. *Small Ruminant Research* 141, 124-126.

- Colomer-Rocher F, Morand-Fehr P and Kirton AH 1987. Standard methods and procedures for goat carcass evaluation, jointing and tissue separation. *Livestock Production Science* 17, 149-159.
- Costa RG, Santos NM, Sousa WH, Queiroga RCRE, Azevedo PS and Cartaxo FQ 2011. Qualidade física e sensorial da carne de cordeiros de três genótipos alimentados com rações formuladas com duas relações volumoso: concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40, 1781-1787.
- De Campeneere S, Fiems LO, Van de Voorde G, Vanacker JM, Boucque CV and Demeyer DI 1999. Estimation of chemical carcass composition from 8th rib characteristics with Belgian blue double-muscled bulls¹. *Meat Science* 51, 27-33.
- Delfa R, González C, Teixeira A, Gosálvez LF and Tor M 1995. Relationships between body fat depots, carcass composition, live weight and body condition scores in Blanca Celtibérica goats. In *Body condition of sheep and goats: Methodological aspects and applications* (ed. A Purroy), pp. 109-119.
- Dhanda JS, Taylor DG, McCosker JE and Murray PJ 1999. The influence of goat genotype on the production of Capretto and Chevon carcasses. 3. Dissected carcass composition. *Meat Science* 52, 369-374.
- Eknæs M, Kolstad K, Volden H and Hove K 2006. Changes in body reserves and milk quality throughout lactation in dairy goats. *Small Ruminant Research* 63, 1-11.
- Frutos P, Mantecón AR and Giráldez FJ 1997. Relationship of body condition score and live weight with body composition in mature Churra ewes. *Animal Science* 64, 447-452.
- Gaias G 2012. Body condition score and body composition of Sarda dairy ewes. *Università degli studi di Sassari*.
- Grill L, Ringdorfer F, Baumung R and Fuerst-Waltl B 2015. Evaluation of ultrasound scanning to predict carcass composition of Austrian meat sheep. *Small Ruminant Research* 123, 260-268.
- Guerra JC, Thwaites CJ and Edey TN 1972. Assessment of the proportion of chemical fat in the bodies of live sheep. *The Journal of Agricultural Science* 78, 147-149.
- Hankins OG and Howe PE 1946. Estimation of the composition of beef carcasses and cuts. (Technical Bulletin - USDA, 926), Washington, DC, p. 1-19.
- Härter CJ, Silva HGO, Lima LD, Castagnino DS, Rivera AR, Neto OB, Gomes RA, Canola JC, Resende KT and Teixeira IAMA 2014. Ultrasonographic measurements of kidney fat thickness and Longissimus muscle area in predicting body composition of pregnant goats. *Animal Production Science* 54, 1481-1485.

- Hervieu J, Morand-Fehr P, Schmidely P, Fedele V and Delfa R 1992. Mesures anatomiques permettant d'expliquer les variations des notes sternales, lombaires et caudales utilisées pour estimer l'état corporel des chèvres laitières. In *Etat corporel des brebis et chèvres* (ed. A Purroy), pp. 43-56, Zaragoza : CIHEAM.
- Kempster AJ 1981. Fat partition and distribution in the carcasses of cattle, sheep and pigs: A review. *Meat Science* 5, 83-98.
- Lanna DPD, Boin C, Alleoni GF and Leme PR 1995. Estimation of carcass and empty body composition of zebu bulls using the composition of rib cuts. *Scientia Agricola* 52, 189-197.
- Madruga MS, Torres TS, Carvalho FF, Queiroga RC, Narain N, Garrutti D, Souza Neto MA, Mattos CW and Costa RG 2008. Meat quality of Moxotó and Canindé goats as affected by two levels of feeding. *Meat Science* 80, 1019-1023.
- Mahgoub O, Kadim IT, Al-Saqry NM and Al-Busaidi RM 2004. Effects of body weight and sex on carcass tissue distribution in goats. *Meat Science* 67, 577-585.
- McClelland TH, Bonaiti B and Taylor CS 1976. Breed differences in body composition of equally mature sheep. *Animal Science* 23, 281-293.
- McGregor BA 2017. Relationships between live weight, body condition, dimensional and ultrasound scanning measurements and carcass attributes in adult Angora goats. *Small Ruminant Research* 147, 8-17.
- Mendizabal JA, Delfa R, Arana A and Purroy A 2010. A comparison of different pre and post-slaughter measurements for estimating fat reserves in Spanish Blanca Celtibérica goats. *Canadian Journal of Animal Science* 90, 437-444.
- Mendizabal JA, Delfa R, Arana A and Purroy A 2011. Body condition score and fat mobilization as management tools for goats on native pastures. *Small Ruminant Research* 98, 121-127.
- Mendizabal JA, Delfa R, Arana A, Eguinoa P, González C, Treacher T and Purroy A 2003. Estimating fat reserves in Rasa Aragonesa ewes: A comparison of different methods. *Canadian Journal of Animal Science* 83, 695-701.
- Morand-Fehr P 2005. Recent developments in goat nutrition and application: A review. *Small Ruminant Research* 60, 25-43.
- Ndlovu T, Chimonyo M, Okoh AI, Muchenje V, Dzama K and Raats JG 2007. Assessing the nutritional status of beef cattle: current practices and future prospects. *African Journal of Biotechnology* 6, 2727-2734.

- Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Tovar-Luna I, Sahlu T, Ferrell CL and Goetsch AL 2007a. Effect of initial body condition of Boer $\times$ Spanish yearling goat wethers and level of nutrient intake on body composition. *Small Ruminant Research* 73, 13-26.
- Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Tovar-Luna I, Sahlu T, Ferrell CL and Goetsch AL 2007b. Urea space and body condition score to predict body composition of meat goats. *Small Ruminant Research* 73, 27-36.
- Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Wang Z, Tesfai K, Sahlu T, Ferrell CL and Goetsch AL 2009. Effects of stage of lactation and dietary forage level on body composition of Alpine dairy goats. *Journal of Dairy Science* 92, 3374-3385.
- Oliveira IM, Paulino PVR, Marcondes MI, Valadares Filho SC, Detmann E, Cavali J, Duarte MS and Mezzomo R 2011. Pattern of tissue deposition, gain and body composition of Nellore, F1 Simmental $\times$ Nellore and F1 Angus $\times$ Nellore steers fed at maintenance or ad libitum with two levels of concentrate in the diet. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40, 2886-2893.
- Powell WE and Huffman DL 1968. An Evaluation of Quantitative Estimates of Beef Carcass Composition. *Journal of Animal Science* 27, 1554-1558.
- Purroy A, Echaide H, Muñoz F, Arana A and Mendizabal JA 1993. The effect of protein level and source of legume seeds on the growth and fattening of lambs. *Livestock Production Science* 34, 93-100.
- Rhind S, Rae M and Brooks A 2001. Effects of nutrition and environmental factors on the fetal programming of the reproductive axis. *Reproduction* 122, 205-214.
- Robelin J and Thériez M 1981. Fixation de protéines chez les ruminants: évolution en fonction du poids des animaux et variations selon la race, le sexe ou le niveau des apports alimentaires. *Reproduction Nutrition Development* 21, 335-353.
- Ronchi B, Bernabucci U and Bertoni G 1993. Valutazione comparata del metodo body condition score (BCS) nelle razze ovine Sarda e Lacune. In XLVII Congress S.I.S.VET, Italy, pp. 1985-1989.
- Russel AJF, Doney JM and Gunn RG 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *The Journal of Agricultural Science* 72, 451-454.
- Russel AJF, Doney JM and Gunn RG 1971. The distribution of chemical fat in the bodies of scottish blackface ewes. *Animal Science* 13, 503-509.

- Sanson DW, West TR, Tatman WR, Riley ML, Judkins MB and Moss GE 1993. Relationship of body composition of mature ewes with condition score and body weight. *Journal of Animal Science* 71, 1112-1116.
- Scholz AM, Bünger L, Kongsro J, Baulain U and Mitchell AD 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal* 9, 1250-1264.
- Sidhu KS, Emery RS, Parr AF and Merkel RA 1973. Fat mobilizing lipase in relation to fatness in lambs. *Journal of Animal Science* 36, 658-662.
- Silva SR, Afonso J, Guedes CM, Gomes MJ, Santos VA, Azevedo JMT and Dias-da-Silva A 2016. Ewe whole body composition predicted in vivo by real-time ultrasonography and image analysis. *Small Ruminant Research* 136, 173-178.
- Slippers SC, Letty BA and De Villiers JF 2000. Prediction of the body weight of Nguni goats. *South African Journal of Animal Science* 30, 127-128.
- Soret B, Mendizabal JA, Arana A, Purroy A and Eguinoa P 1998. Breed effects on cellularity and lipogenic enzymes in growing Spanish lambs. *Small Ruminant Research* 29, 103-112.
- Teixeira A, Delfa R and Colomer-Rocher F 1989. Relationships between fat depots and body condition score or tail fatness in the Rasa Aragonesa breed. *Animal Science* 49, 275-280.
- Teixeira A, Joy M and Delfa R 2008. In vivo estimation of goat carcass composition and body fat partition by real-time ultrasonography. *Journal of Animal Science* 86, 2369-2376.
- Teixeira A, Matos S, Rodrigues S, Delfa R and Cadavez V 2006. In vivo estimation of lamb carcass composition by real-time ultrasonography. *Meat Science* 74, 289-295.
- Wood JD, MacFie HJH, Pomeroy RW and Twinn DJ 1980. Carcass composition in four sheep breeds: the importance of type of breed and stage of maturity. *Animal Science* 30, 135-152.

CAPÍTULO 2

Metodologias pré e pós-abate para estimativa das reservas de gordura de cabras Saanen em lactação

RESUMO

Com o presente trabalho, objetivou-se comparar as metodologias pré e pós-abate para estimar as reservas de gordura em cabras leiteiras. Vinte e seis cabras Saanen em lactação variando de 43,6 a 69,4 kg de peso vivo (PV) e de 1,84 a 2,96 de escore de condição corporal (ECC; escala de 0 a 5) foram utilizadas. Quinze medidas pré-abate e quatro medições pós-abate foram utilizadas para estimar o peso de gordura Omental (OM), mesentérico (MES), perirrenal (PR), órgão (ORG), carcaça (CARC), componentes não carcaça (CNC) e total (TOT, calculado como a soma de CARC e CNC). As medidas pré-abate foram: altura da cernelha; altura do quadril; comprimento da garupa; largura da garupa; profundidade do tórax; largura dos ombros; circunferência torácica; comprimento corporal; altura do esterno; peso corporal (PV); escore de condição corporal avaliado na região lombar (ECC_l) e esternal (ECC_e); espessura de gordura medida por ultrassom na região lombar (EGLU), esternal (EGEU) e perirrenal (EGPU). As medidas pós-abate foram: peso de carcaça quente (PCQ); peso de corpo vazio (PCVZ); espessura de gordura medida por paquímetro digital na região lombar (EGLP) e esternal (EGEP). Foram realizadas análises de regressões lineares e múltiplas. Peso vivo, ECC (das regiões lombar e esternal), todas as medidas corporais e espessuras de gordura medidas por ultrassom nas regiões lombar e esternal não foram adequadas para estimar o peso da gordura TOT em cabras Saanen em lactação ($R^2 \leq 0,55$). Os melhores estimadores pré-abate e pós-abate dos depósitos de gordura OM, MES, PR, ORG, CNC e TOT foram o EGPU e o PCVZ, respectivamente. Entre as medidas pré e pós-abate, o ECC lombar ($R^2 = 0,63$) e o PCQ ($R^2 = 0,82$) apresentaram, respectivamente, as melhores predições da gordura CARC. A regressão múltipla utilizando as variáveis pré-abate EGPU, PV e ECC lombar produziu estimativas de gordura TOT com $R^2 = 0,92$. Por outro lado, a gordura TOT predita usando as variáveis pós-abate PCQ e EGEP apresentou $R^2 = 0,83$. Esses resultados confirmam que as reservas de gordura corporal podem ser preditas em cabras Saanen em lactação com alta precisão utilizando equações de regressão múltipla combinando medidas *in vivo*.

Palavras-chave: cabras, depósitos de gordura, equação de predição, escore de condição corporal, medidas corporais, ultrassom

ABSTRACT

This work aimed to compare pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves in dairy goats. Twenty-six lactating Saanen goats ranging from 43.6 to 69.4 kg of body weight (BW) and from 1.84 to 2.96 of body condition score (BCS; 0 – 5 range) were used. Fifteen pre-slaughter measurement and four post-slaughter measurement values were used to estimate the weight of fat in the omental (OM), mesenteric (MES), perirenal (PR), organ (ORG), carcass (CARC), non-carcass components (NC) and total (TOT, calculated as the sum of CARC and NC) depots in goats. The pre-slaughter measurements were: withers height; rump height; rump length; pelvis width; chest depth; shoulder width; heart girth; body length; sternum height; body weight (BW); BCS assessed in the lumbar (BCS_l) and sternal (BCS_s) regions; fat thickness measured by ultrasound in the lumbar (FTUS_l), sternal (FTUS_s) and perirenal (FTUS_{pr}) regions. The post-slaughter measurements were: hot carcass weight (HCW); empty body weight (EBW); fat thickness measured by digital caliper in the lumbar (FTDC_l) and sternal (FTDC_s) regions. Linear and multiple regressions were fit to data collected. BW, BCS (from lumbar and sternal regions), all somatic measurements and fat thickness measured by ultrasound in the lumbar and sternal regions were not adequate to estimate the weight of total fat in lactating Saanen goats ($R^2 \leq 0.55$). The best pre-slaughter and post-slaughter estimators of OM, MES, PR, ORG, NC and TOT fat were FTUS_{pr} and EBW, respectively. Among pre- and post-slaughter measurements, BCS_l ($R^2 = 0.63$) and HCW ($R^2 = 0.82$) gave the most accurate predictions of CARC fat, respectively. Multiple regression using the pre-slaughter variables FTUS_{pr}, BW and BCS_l yielded estimates of TOT fat with an $R^2 = 0.92$ (RSD = 1.14 kg). On the other hand, TOT fat predicted using the post-slaughter variables HCW and FTDC_s had an $R^2 = 0.83$ (RSD = 1.41 kg). These results confirm that fat reserves can be predicted in lactating Saanen goats with high precision using multiple regression equations combining *in vivo* measurements.

Keywords: body condition score, body measurements, fat depots, goats, prediction equation, ultrasound

1. Introdução

Na maioria dos sistemas de produção de cabras em condições difíceis, a capacidade do animal para reter e mobilizar reservas do corpo é de considerável importância na determinação da produtividade e sobrevivência dos animais. Essa relevância deve-se ao fato de que o estado nutricional das cabras pode variar consideravelmente ao longo do ano (Eknæs et al., 2006), devido a mudanças na quantidade e qualidade dos nutrientes da dieta (Ngwa et al., 2009) e do estado fisiológico do animal (Cannas et al., 2004). A determinação exata e precisa do estado nutricional em cabras em lactação é importante para evitar o esgotamento da energia armazenada e para minimizar a mobilização de proteínas teciduais aumentando, assim, a produção de leite (Ngwa et al., 2009).

O estado nutricional dos animais pode ser estimado por métodos diretos e indiretos. O abate comparativo é o método direto mais preciso, mas é caro, porque pelo menos metade da carcaça é perdida (Silva et al., 2015), é destrutivo, laborioso e não permite o uso do mesmo animal mais de uma vez (Akdag et al., 2015). Portanto, os métodos indiretos são preferíveis porque a maioria deles não é complexo e pode ser aplicado em animais vivos (Scholz et al., 2015).

Ao longo dos anos, os pesquisadores desenvolveram muitos métodos indiretos para estimar o estado nutricional, como o peso corporal (PC) e as medidas somáticas (Bautista-Díaz et al., 2017; Cam et al., 2010), o escore de condição corporal (ECC, Hervieu et al., 1991; Russel et al., 1969), espaço de ureia (Ngwa et al., 2007), diâmetro de adipócitos (Mendizabal et al., 2010), ultrassonografia em tempo real (Teixeira et al., 2008), tomografia computadorizada (Eknæs et al., 2006), absorciometria de raios-X de energia dupla e ressonância magnética (Scholz et al., 2015). Alguns desses métodos são muito caros e difíceis de usar em muitos animais da fazenda de modo rotineiro. Outros, como ECC e as medidas somáticas, basicamente não têm custo e podem ser feitos em condições experimentais e de campo.

O método do ECC foi desenvolvido por Russel et al. (1969) para cordeiros de corte, que acumulam gordura na região subcutânea, o que pode não ser apropriado para cabras leiteiras, que depositam gordura corporal principalmente como gordura visceral (Colomer-Rocher et al., 1992; Eknæs et al., 2006). Em cabras Alpinas em lactação, Ngwa et al. (2009) observaram que a quantidade de gordura em componentes não-carcaça (gordura visceral e renal) é quase o dobro do que na carcaça e uma quantidade considerável de gordura interna é mobilizada no início da lactação. Härter et al. (2014) desenvolveram equações para predição

dos depósitos de gordura abdominal em cabras Saanen não lactantes e gestantes usando medidas de ultrassom da área do músculo *Longissimus* (LMA) e a espessura da gordura perirrenal (KFT). Os autores relataram alto coeficiente de determinação para gorduras não-carcasas e gordura corporal total ($R^2 = 0,77$ e $0,80$, respectivamente) quando se utilizam LMA e KFT associados ao peso corporal. No entanto, não existem estudos comparando diferentes metodologias pré e pós-abate para estimar reservas de gordura em cabras Saanen em lactação. Assim, este trabalho foi conduzido com objetivo de (i) estudar a relação entre ECC e medidas somáticas com o PC e a gordura corporal, (ii) comparar metodologias pré e pós-abate como preditores para estimar os depósitos de gordura e, (iii) desenvolver equações que poderiam ser usadas como indicadores do estado nutricional em cabras Saanen em lactação.

2. Material e métodos

2.1. Animais

O estudo foi realizado utilizando 26 cabras adultas da raça Saanen em lactação, selecionadas aleatoriamente do rebanho experimental da fazenda Agris Research de Bonassai, em Olmedo (Noroeste da Sardenha, Itália, $40^{\circ} 40' 16.215''$ N, $8^{\circ} 22' 0.392''$ E, 32 m a.s.l.). Os animais foram escolhidos de um grupo maior alimentado com uma dieta de alto teor de amido, homogêneo para data de parto, idade (6 a 7 anos) e produção leiteira. As cabras estavam clinicamente saudáveis e tinham peso corporal médio (PC) de $56,4 \pm 6,8$ kg. Os animais foram ordenhados duas vezes por dia e tiveram livre acesso a alimentação e água até o abate. Os cuidados e uso dos animais seguiram a legislação nacional italiana e os regulamentos de ética (DL. N° 116, 27/01/1992).

2.2. Mensurações pré-abate

2.2.1. Medidas somáticas e escore de condição corporal

As seguintes medidas somáticas, com base em Cam et al. (2010), foram feitas em todas as cabras 16 horas antes do abate: altura da cernelha (AC), a distância entre o topo da cernelha ao chão; altura do quadril (AQ), distância do topo do quadril ao chão; comprimento da garupa (CG), distância entre a parte cranial ilíaca e a caudal isquiática; largura da garupa (LG) distância entre as partes laterais das tuberosidades ilíacas; profundidade do tórax (PT), distância entre a cernelha e o esterno; largura dos ombros (LO), distância horizontal entre os processos no ombro esquerdo e direito; circunferência torácica (CT), a menor circunferência torácica do animal, logo atrás da perna dianteira; comprimento do corpo (CC), a distância

entre a parte cranial do úmero e a tuberosidade isquiática; e a altura do esterno (AE), a distância entre o esterno e o chão. As medições de AC, AQ, PT, CC e AE foram tomadas com uma barra métrica Lydtin (tubo de metal de 80 a 230 cm de comprimento). A LG e a LO foram medidos com um arco de espessura, e CG e CT com um medidor linear.

O peso corporal (PC) foi medido com uma balança eletrônica imediatamente após o abate (o sangue foi coletado e pesado). Dois profissionais experientes avaliaram o ECC na região lombar e esternal usando o método proposto por Hervieu et al. (1991) (escala de referência 0 a 5 pontos). Em ambos os casos, os intervalos do ECC eram de 0,25 unidades. O ECC foi avaliado no momento da seleção dos animais e no final do experimento, pouco antes do abate.

2.2.2. Mensurações da espessura da gordura com ultrassom

A espessura da gordura foi mensurada simultaneamente com as medidas anteriores, utilizando um aparelho de ultrassom em tempo real MyLab One (Esaote S.p.A., Genova, Itália). A tricotomia foi realizada na área a ser medida e foi utilizado gel como agente de acoplamento para melhorar a qualidade das imagens. As imagens de ultrassom foram tiradas duas vezes em três locais anatômicos diferentes: (1) espessura de gordura lombar (EGLU), medida na área do músculo *Longissimus* ao redor da 13ª vértebra torácica (última costela), usando uma sonda de ultrassom SL3323 VET (matriz de 13–6 Mhz e 40 mm de comprimento; Esaote S.p.A., Genova, Itália); (2) espessura de gordura perirrenal (EGPU), medida atrás da 13ª costela no lado direito do corpo usando uma sonda de ultrassom SV3513 VET (matriz de 10–5 Mhz e 50 mm de comprimento, Esaote S.p.A., Genova, Itália), de acordo com Härter et al. (2014); e (3) espessura de gordura esternal (EGEU), medida usando uma sonda de ultrassom SL3323 VET (matriz de 13–6 Mhz e 40 mm de comprimento; Esaote S.p.A., Genova, Itália) posicionada perpendicularmente à 3ª vértebra do esterno. As imagens foram obtidas com uma sonda linear (transdutor) de 6 Mhz e conexão acústica de silicone (standoff) para medições EGLU e EGEU e um transdutor convexo de 8 Mhz para medições EGPU. As imagens foram armazenadas em um computador e, posteriormente, analisadas com o software MyLab Desk™/Desk (Esaote S.p.A., Genova, Itália) para obter as medidas de espessura de gordura.

2.3. Mensurações pós-abate

2.3.1. Procedimentos de abate, carcaça quente e peso de corpo vazio

Os animais foram abatidos sob anestesia geral e exsanguinados a partir da veia jugular nas instalações do Hospital do Departamento Veterinário da Università degli studi di Sassari (Sassari, Sardenha, Itália). Os pesos do sangue, cabeça, pele, pés, cauda, vísceras vazias (rúmen-retículo, omaso, abomaso, intestino delgado e intestino grosso), mesenterio, gordura interna, fígado, coração, rins, baço, pulmões, língua, esôfago, traqueia, sistema reprodutivo e peso de carcaça quente (PCQ) foram registrados. Os compartimentos do trato digestivo foram isolados, pesados, esvaziados e pesados novamente. O peso de corpo vazio (PCVZ) foi calculado pela diferença do peso vivo e o conteúdo do trato gastrointestinal, bexiga e vesícula biliar. O tecido adiposo que envolve o trato digestivo, gordura omental (OM) e gordura mesentérica (MES) foram removidos juntamente com qualquer tecido conjuntivo associado e pesado. A gordura perirrenal (PR) foi removida dos rins e pesada. A gordura de órgãos do coração, fígado e pulmão foi removida de cada órgão e pesada em conjunto (ORG).

2.3.2. Medidas na carcaça

As carcaças foram armazenadas a 4° C durante 24 horas em uma câmara fria. Em seguida, as carcaças foram divididas na espinha dorsal com uma serra elétrica em duas metades (direita e esquerda). A metade direita de cada carcaça foi cortada nas vértebras torácicas 12 e 13 nos mesmos pontos anatômicos onde as medidas foram tomadas no animal vivo usando ultrassom. A espessura da gordura lombar foi medida usando um paquímetro digital (EGLP). Da mesma forma, um corte transversal foi feito na terceira vértebra do esterno, e a gordura esternal foi então medida usando um paquímetro digital (EGEP).

2.3.3. Conteúdo de gordura na carcaça e nos componentes não-carcaça

O lado esquerdo de cada carcaça foi congelado até a determinação subsequente da composição química, enquanto que todos os componentes não-carcaça (trato digestivo, pernas, pés, trato reprodutivo e glândula mamária), incluindo cabeça e pele, foram armazenados em sacos de polietileno separados a -20° C até a preparação para a análise. Todos os componentes congelados (carcaça e não-carcaça) foram cortados em pedaços de 5 a 6 cm³, enquanto ainda congelados, e depois picados e moídos usando um moedor de carne (TC 42 Golia HP 10 HS, La Felsinea SR, Padova, Itália). Depois de misturar o material com um misturador mecânico (ME 30, La Felsinea SR, Padova, Itália), as amostras foram colhidas em três repetições. As amostras foram pesadas, congeladas em um ultra-freezer a -80° C e posteriormente analisadas por matéria seca via liofilização (Lyolab 3000, Jouan Nordic, Allerød, Dinamarca). Em seguida, as amostras foram trituradas novamente em um moedor

(Knifetec Mill 1095, Foss, Höganäs, Suécia) e analisadas quanto à gordura. A gordura da carcaça (CARC) e da não-carcaça (NC) foi determinada pela extração contínua das amostras com éter de petróleo por 6 horas usando o método AOAC 920.39 (AOAC International, 2005).

2.4. Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas usando variável linear única com o procedimento GLM do software SAS (versão 9.2, SAS System Inc., Cary, NC, EUA) para os pesos de gordura nos diferentes depósitos como variáveis dependentes (y) e PC, ECC lombar, ECC esternal, medidas somáticas, EGLU, EGEU, EGPU, PCQ, PCVZ, EGLP e EGEP como variáveis independentes (x). As variáveis incluídas nas regressões múltiplas foram selecionadas usando o procedimento REG com o método STEPWISE do SAS. Uma vez que o ultrassom não é tão barato e requer mais tempo do que o ECC, PC e medidas somáticas para serem usadas em condições de campo, foram desenvolvidas equações simplificadas adicionais sem o uso do ultrassom também usando o procedimento REG com o método STEPWISE do SAS.

3. Resultados

3.1. Mensurações pré-abate

3.1.1. Medidas somáticas

A circunferência torácica (CT) variou de 86 a 104 cm, com uma média de 94 cm (Tabela 1). Entre todas as medidas somáticas, apenas a circunferência torácica apresentou coeficientes de regressão significativamente diferentes de zero ($P < 0,05$) em todos os depósitos de gordura analisados. A relação entre a CT e o peso corporal foi de $PC \text{ (kg)} = 1,2 \text{ CT (cm)} - 57,7$ ($R^2 = 0,75$), mostrando uma alteração média de CT de 1,2 cm por unidade (kg) de PC (Figura 1).

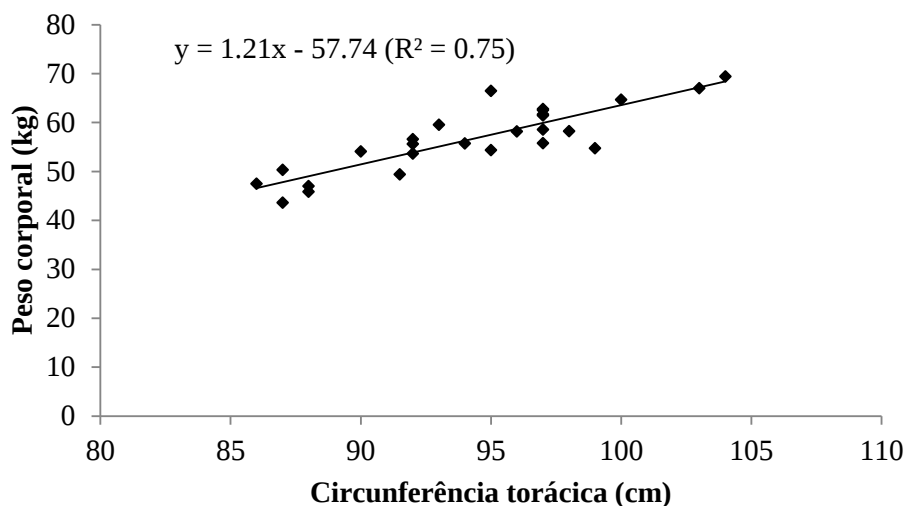


Fig. 1. *Relação entre a circunferência torácica e o peso corporal em cabras Saanen lactantes*

3.1.2. *Peso corporal*

O peso corporal no dia do abate variou de 44 a 69 kg, com uma média de 56 kg (Tabela 1). As regressões entre o peso de gordura em cada um dos diferentes depósitos e o PC (Tabela 2) apresentaram coeficientes de determinação (R^2) que variaram entre 0,21 para o depósito de gordura nos órgãos (ORG) e 0,58 para o depósito de gordura na carcaça. O coeficiente de determinação para a relação entre o peso total de gordura (TOT, soma de gordura nos componentes carcaça e não-carcaça) e PC foi de 0,55 (Tabela 2).

3.1.3. *Escore de condição corporal*

O escore de condição corporal avaliado na região lombar ou esternal obteve média de 2,6, mas o ECC esternal detectou um menor nível de gordura comparado ao ECC lombar (1,75 versus 1,84, respectivamente) (Tabela 1). As equações de regressão para a predição dos pesos dos depósitos de gordura usando ambos ECC, da região lombar e esternal, apresentaram pouca precisão. Os valores de R^2 para o ECC lombar variaram entre 0,10 para gordura dos órgãos e 0,63 para gordura de carcaça, e aqueles para ECC esternal variaram entre 0,07 para gordura dos órgãos e 0,54 para gordura de carcaça (Tabela 2). A relação entre PC e ECC lombar e esternal em cabras Saanen em lactação proporcionou R^2 baixo (Figura 2), mas as equações para predição do PC usando o ECC diferiram significativamente. Para ECC lombar, a equação foi $PC\ (kg) = 12,29\ ECC + 24,20$ ($R^2 = 0,22$) e para ECC esternal, a equação foi $PC\ (kg) = 14,12\ ECC + 19,36$ ($R^2 = 0,32$).

Tabela 1. Medidas somáticas, peso corporal, escore de condição corporal (ECC) medido na região lombar e esternal, peso da carcaça quente, peso de corpo vazio, espessura da gordura lombar, esternal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGEU e EGPU, respectivamente), espessura da gordura lombar e esternal medida por paquímetro digital (EGLP, EGEP, respectivamente) e peso dos depósitos de gordura em cabras Saanen.

	Média	Mínimo	Máximo	DP
Medidas somáticas (cm)				
Altura da cernelha	70,9	65,0	77,0	3,4
Altura do quadril	73,6	69,0	82,0	3,3
Comprimento da garupa	21,6	17,5	28,0	3,0
Largura da garupa	18,7	16,0	25,0	1,9
Profundidade do tórax	35,1	29,0	39,0	2,1
Largura dos ombros	18,1	13,5	24,0	2,5
Circunferência torácica	94,2	86,0	104,0	4,8
Comprimento do corpo	74,7	68,0	90,0	4,7
Altura do esterno	35,3	28,0	44,0	3,9
Peso corporal (kg)	56,4	43,6	69,4	6,8
ECC lombar (escala 0 – 5)	2,64	1,84	2,96	0,3
ECC esternal (escala 0 –5)	2,64	1,75	3,00	0,3
Peso da carcaça quente (kg)	24,3	18,1	30,1	3,4
Peso de corpo vazio (kg)	47,6	36,1	59,9	6,8
EGLU (mm)	2,27	1,08	3,50	0,6
EGLP (mm)	2,13	1,47	3,60	0,5
EGEU (mm)	22,68	9,70	27,90	4,5
EGEP (mm)	22,10	9,79	29,82	4,7
EGPU (cm)	1,21	0,44	2,34	0,1
Peso dos depósitos de gordura (kg)				
Omental	1,83	0,30	4,38	1,3
Mesentérica	0,94	0,46	1,54	0,3
Perirrenal	0,72	0,07	2,02	0,6
Órgãos (coração, fígado e pulmão)	0,22	0,08	1,06	0,2
Gordura total (kg)				
Carcaça	4,61	1,33	6,58	1,3
Não-carcaça	5,56	2,16	9,38	2,1
Carcaça e não-carcaça	10,17	3,49	15,93	3,2

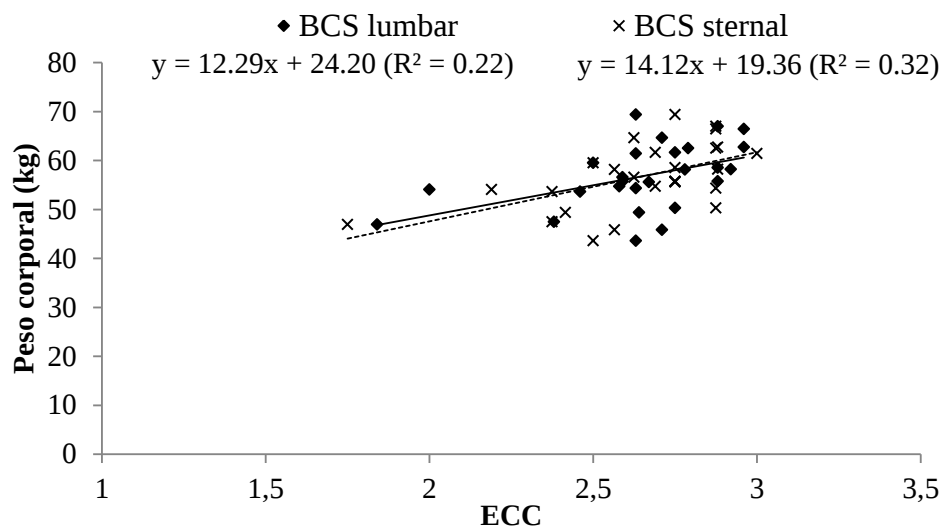


Fig. 2. Relação entre o escore de condição corporal lombar e esternal e o peso corporal em cabras Saanen.

3.1.4. Ultrassonografia

A espessura da gordura na região lombar medida com ultrassom variou de 1,1 a 3,5 mm, com média de 2,3 mm (DP = 0,6). A gordura na região esternal foi muito mais espessa, variando de 9,7 a 27,9 mm, com uma média de 22,7 mm (DP = 4,5). A gordura perirrenal também foi alta, variando de 44 a 234 mm, com uma média de 121 mm (DP = 53) (Tabela 1). Os coeficientes de determinação das equações foram ligeiramente inferiores usando EGLU, variando entre 0,10 para gordura de órgãos e 0,33 para gordura não-carcaça, do que usando a EGEU, variando de 0,05 para gordura de órgãos e 0,55 para gordura de carcaça. No entanto, o coeficiente de determinação mais alto foi encontrado usando EGPU, com valores variando entre 0,05 para gordura de órgãos e 0,86 para gordura perirrenal (Tabela 3).

Tabela 2. Equações de regressão^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de circunferência torácica, peso corporal, escore de condição corporal lombar e esternal^c (variável x) de cabras Saanen em lactação.

	Intercepto $\pm$ DP	$b \pm$ DP	R^2	DPM	Valor de P
Circunferência torácica					
OM	$-9,26 \pm 4,58$	$0,12 \pm 0,05$	0,20	1,17	0,023
MES	$-2,96 \pm 1,06$	$0,04 \pm 0,01$	0,36	0,27	0,001
PR	$-3,83 \pm 2,17$	$0,05 \pm 0,02$	0,16	0,56	0,046
ORG	$-1,47 \pm 0,67$	$0,02 \pm 0,01$	0,21	0,17	0,019
CARC	$-12,49 \pm 3,82$	$0,18 \pm 0,04$	0,46	0,98	0,001
NC	$-19,27 \pm 6,58$	$0,26 \pm 0,07$	0,37	1,68	0,001
TOT	$-31,76 \pm 9,95$	$0,44 \pm 0,10$	0,43	2,55	0,001
Peso corporal					
OM	$-3,82 \pm 1,87$	$0,10 \pm 0,03$	0,28	1,11	0,005
MES	$-0,86 \pm 0,43$	$0,03 \pm 0,01$	0,43	0,26	0,001
PR	$-1,89 \pm 0,86$	$0,05 \pm 0,01$	0,28	0,51	0,005
ORG	$-0,49 \pm 0,29$	$0,01 \pm 0,005$	0,21	0,17	0,020
CARC	$-3,65 \pm 1,45$	$0,15 \pm 0,02$	0,58	0,86	<0,001
NC	$-6,55 \pm 2,57$	$0,21 \pm 0,04$	0,49	1,52	<0,001
TOT	$-10,20 \pm 3,80$	$0,36 \pm 0,07$	0,55	2,25	<0,001
ECC lombar (escala 0 – 5)					
OM	$-3,95 \pm 2,38$	$2,21 \pm 0,89$	0,20	1,17	0,022
MES	$-0,42 \pm 0,63$	$0,52 \pm 0,24$	0,17	0,31	0,038
PR	$-1,73 \pm 1,12$	$0,93 \pm 0,42$	0,17	0,55	0,037
ORG	$-0,38 \pm 0,37$	$0,23 \pm 0,14$	0,10	0,18	0,116
CARC	$-5,79 \pm 1,64$	$3,94 \pm 0,62$	0,63	0,81	<0,001
NC	$-6,30 \pm 3,57$	$4,50 \pm 1,34$	0,32	1,76	0,003
TOT	$-12,08 \pm 5,07$	$8,44 \pm 1,91$	0,45	2,50	0,001
ECC esternal (escala 0 – 5)					
OM	$-3,08 \pm 2,37$	$1,87 \pm 0,89$	0,16	1,20	0,047
MES	$-0,49 \pm 0,60$	$0,55 \pm 0,22$	0,20	0,30	0,023
PR	$-1,45 \pm 1,10$	$0,83 \pm 0,42$	0,14	0,56	0,057
ORG	$-0,28 \pm 0,37$	$0,19 \pm 0,14$	0,07	0,19	0,183
CARC	$-4,76 \pm 1,76$	$3,55 \pm 0,66$	0,54	0,90	<0,001
NC	$-4,95 \pm 3,59$	$3,99 \pm 1,35$	0,27	1,82	0,007
TOT	$-9,71 \pm 5,21$	$7,54 \pm 1,96$	0,38	2,64	0,001

^a $y = a + bx$.

^bOM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^cTOT, total; TOT = CARC + NC.

Tabela 3. Equações de regressão^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total^c das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de espessura da gordura lombar, esternal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGEU e EGPU, respectivamente) (variável x) de cabras Saanen.

	Intercepto $\pm$ DP	$b \pm$ DP	R^2	DPM	Valor de P
EGLU					
OM	$-0,46 \pm 0,92$	$1,04 \pm 0,39$	0,23	1,16	0,012
MES	$0,37 \pm 0,24$	$0,27 \pm 0,10$	0,23	0,30	0,012
PR	$-0,38 \pm 0,42$	$0,50 \pm 0,18$	0,25	0,53	0,008
ORG	$-0,003 \pm 0,14$	$0,10 \pm 0,06$	0,10	0,18	0,120
CARC	$2,07 \pm 0,92$	$1,13 \pm 0,39$	0,27	1,16	0,007
NC	$1,10 \pm 1,40$	$2,01 \pm 0,59$	0,33	1,76	0,002
TOT	$3,16 \pm 2,23$	$3,14 \pm 0,95$	0,32	2,81	0,002
EGEU					
OM	$-1,81 \pm 1,05$	$0,16 \pm 0,05$	0,35	1,06	0,001
MES	$0,17 \pm 0,29$	$0,03 \pm 0,01$	0,24	0,29	0,011
PR	$-1,01 \pm 0,48$	$0,08 \pm 0,02$	0,37	0,48	0,001
ORG	$0,02 \pm 0,19$	$0,01 \pm 0,01$	0,05	0,19	0,278
CARC	$-0,04 \pm 0,88$	$0,21 \pm 0,04$	0,55	0,89	<0,001
NC	$-1,11 \pm 1,57$	$0,30 \pm 0,07$	0,44	1,59	0,001
TOT	$-1,15 \pm 2,33$	$0,51 \pm 0,10$	0,51	2,36	<0,001
EGPU					
OM	$-0,53 \pm 0,26$	$2,23 \pm 0,22$	0,81	0,57	<0,001
MES	$0,48 \pm 0,11$	$0,45 \pm 0,09$	0,49	0,24	<0,001
PR	$-0,40 \pm 0,10$	$1,06 \pm 0,09$	0,86	0,22	<0,001
ORG	$0,14 \pm 0,09$	$0,08 \pm 0,07$	0,05	0,19	0,283
CARC	$2,88 \pm 0,46$	$1,64 \pm 0,49$	0,42	1,01	0,001
NC	$1,94 \pm 0,51$	$3,44 \pm 0,43$	0,73	1,11	<0,001
TOT	$4,82 \pm 0,93$	$5,07 \pm 0,78$	0,63	2,03	<0,001

^a $y = a + bx$.

^b OM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^c TOT, total; TOT = CARC + NC.

3.1.5. Regressões múltiplas

Para aumentar a precisão da equação de predição dos depósitos de gordura usando apenas uma variável independente (Tabelas 2 – 4), foram desenvolvidas regressões múltiplas (Tabela 5). A inclusão da circunferência torácica na regressão usando EGPU para predição da gordura omental melhorou o R^2 de 0,79 para 0,85 e, ao prever a gordura mesentérica, melhorou o R^2 de 0,46 para 0,62. O peso da gordura perirrenal foi melhor predito por uma equação que incluía a EGPU e o PC, aumentando o valor do R^2 de 0,84 para 0,88, em comparação com a EGPU sozinho.

Tabela 4. Equações de regressão^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total^c das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pós-abate de peso da carcaça quente, peso de corpo vazio, espessura da gordura lombar e esternal medida por paquímetro digital (EGLP, EGEP, respectivamente) (variável x) em cabras Saanen em lactação.

	Intercepto $\pm$ DP	$b \pm$ DP	R^2	DPM	Valor de P
Peso da carcaça quente					
OM	$-4,00 \pm 1,39$	$0,24 \pm 0,06$	0,43	0,99	0,001
MES	$-0,81 \pm 0,31$	$0,07 \pm 0,01$	0,58	0,22	<0,001
PR	$-1,95 \pm 0,65$	$0,11 \pm 0,03$	0,42	0,46	0,001
ORG	$-0,32 \pm 0,25$	$0,02 \pm 0,01$	0,17	0,18	0,037
CARC	$-3,55 \pm 0,80$	$0,34 \pm 0,03$	0,82	0,57	<0,001
NC	$-5,89 \pm 1,83$	$0,47 \pm 0,07$	0,63	1,30	<0,001
TOT	$-9,44 \pm 2,43$	$0,81 \pm 0,10$	0,74	1,73	<0,001
Peso de corpo vazio					
OM	$-4,30 \pm 1,34$	$0,13 \pm 0,03$	0,47	0,95	0,001
MES	$-0,86 \pm 0,30$	$0,04 \pm 0,01$	0,61	0,21	<0,001
PR	$-2,08 \pm 0,63$	$0,06 \pm 0,01$	0,46	0,44	0,001
ORG	$-0,42 \pm 0,24$	$0,01 \pm 0,01$	0,23	0,17	0,012
CARC	$-3,20 \pm 0,95$	$0,16 \pm 0,02$	0,74	0,67	<0,001
NC	$-6,44 \pm 1,69$	$0,25 \pm 0,03$	0,68	1,20	<0,001
TOT	$-9,64 \pm 2,40$	$0,42 \pm 0,05$	0,74	1,70	<0,001
EGLP					
OM	$1,52 \pm 1,12$	$0,16 \pm 0,51$	0,01	1,31	0,760
MES	$0,75 \pm 0,29$	$0,10 \pm 0,13$	0,02	0,33	0,473
PR	$0,72 \pm 0,52$	$0,01 \pm 0,24$	0,01	0,61	0,976
ORG	$-0,10 \pm 0,15$	$0,15 \pm 0,07$	0,17	0,18	0,036
CARC	$3,42 \pm 1,11$	$0,56 \pm 0,51$	0,05	1,29	0,279
NC	$4,65 \pm 1,82$	$0,45 \pm 0,83$	0,01	2,12	0,591
TOT	$8,07 \pm 2,86$	$1,02 \pm 1,31$	0,02	3,32	0,444
EGEP					
OM	$-1,97 \pm 1,03$	$0,17 \pm 0,04$	0,37	1,03	0,001
MES	$0,09 \pm 0,29$	$0,04 \pm 0,01$	0,28	0,29	0,005
PR	$-1,09 \pm 0,47$	$0,08 \pm 0,02$	0,40	0,47	0,001
ORG	$-0,08 \pm 0,18$	$0,01 \pm 0,01$	0,11	0,18	0,099
CARC	$-0,34 \pm 0,82$	$0,22 \pm 0,04$	0,61	0,82	<0,001
NC	$-1,55 \pm 1,50$	$0,32 \pm 0,07$	0,50	1,51	<0,001
TOT	$-1,89 \pm 2,20$	$0,54 \pm 0,10$	0,57	2,21	<0,001

^a $y = a + bx$.

^b OM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^c TOT, total; TOT = CARC + NC.

O peso da gordura da carcaça foi melhor predito por uma equação com três variáveis, EGPU, PC e ECC lombar ($R^2 = 0,92$, DPM = 0,46 kg). Da mesma forma, o peso de gordura

não-carcaça foi melhor predito por uma equação com três variáveis, EGPU, circunferência torácica e ECC lombar ($R^2 = 0,91$, DPM = 0,71 kg). A melhor equação para prever o peso total da gordura incluiu EGPU, PC e ECC lombar ($R^2 = 0,92$, DPM = 1,14 kg).

Tabela 5. Equações de regressão múltipla^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total^c das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de circunferência torácica (CT), peso corporal (PC), escore de condição corporal lombar e esternal (ECC lombar e ECC esternal, respectivamente), gordura lombar, esternal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGEU e EGPU, respectivamente) (variável x) em cabras Saanen.

Etapa	Variável dependente	Variável independente	Intercepto $\pm$ DP ^d	$b \pm$ DP	R^2	DPM
1	OM	EGPU	$-7,77 \pm 2,85$	$2,10 \pm 0,27$	0,79	0,65
2		CT		$0,08 \pm 0,03$	0,85	0,57
1	MES	EGPU	$-2,43 \pm 1,13$	$0,35 \pm 0,11$	0,46	0,26
2		CT		$0,03 \pm 0,01$	0,62	0,23
1	PR	EGPU	$-1,66 \pm 0,50$	$0,97 \pm 0,11$	0,84	0,26
2		PC		$0,02 \pm 0,01$	0,88	0,23
1	ORG	EGLU	$-0,21 \pm 0,15$	$0,07 \pm 0,03$	0,09	0,19
2		PC		$0,004 \pm 0,003$	0,40	0,07
1	CARC	EGPU	$-7,63 \pm 1,14$	$0,80 \pm 0,23$	0,47	1,09
2		PC		$0,09 \pm 0,02$	0,79	0,70
3		ECC lombar		$2,25 \pm 0,47$	0,92	0,46
1	NC	EGPU	$-18,21 \pm 3,57$	$2,59 \pm 0,36$	0,70	1,25
2		CT		$0,19 \pm 0,04$	0,89	0,76
3		ECC lombar		$1,32 \pm 0,75$	0,91	0,71
1	TOT	EGPU	$-15,80 \pm 2,85$	$3,22 \pm 0,58$	0,62	2,28
2		PC		$0,22 \pm 0,05$	0,86	1,44
3		ECC lombar		$3,79 \pm 1,18$	0,92	1,14

^a Todas as regressões foram significativas a $P < 0.05$.

^b OM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^c TOT, gordura total; TOT = CARC + NC.

^d O intercepto é o mesmo dentro de cada grupo de equações de predição de uma mesma variável dependente.

3.2. Mensurações pós abate

3.2.1. Peso da carcaça quente

O peso da carcaça quente variou entre 18,1 e 30,1 kg com uma média de 24,3 kg (DP = 3,4 kg) (Tabela 1), correspondendo a uma porcentagem média de rendimento ($100 \times \text{PCQ} / \text{PC}$) de $42,7 \pm 3,0$ (dados não apresentados). Os valores de R^2 para equações com PCQ

variaram de 0,17 para a gordura de órgãos para 0,82 para a gordura da carcaça, com um valor de 0,74 para a gordura total (Tabela 4).

3.2.2. *Peso de corpo vazio*

O peso corporal vazio médio foi de 47,6 kg, variando entre 36,1 a 59,9 kg (Tabela 1). Os valores de R^2 para equações com PCVZ variaram de 0,23 para gordura dos órgãos (DPM = 0,17 kg) para 0,74 para gordura da carcaça (DPM = 0,67 kg) e gordura total (DPM = 1,70 kg) (Tabela 4).

3.2.3. *Medições com paquímetro digital*

A profundidade média da gordura medida pelo paquímetro digital na região lombar e esternal foi de 2,1 mm (intervalo de 1,5 a 3,6 mm) e 22,1 mm (intervalo de 9,8 a 29,8 mm), respectivamente (Tabela 1). Os coeficientes de determinação das equações utilizando EGLP como preditor foram extremamente baixos (variando entre 0,01 e 0,17) e não foram significativos ($P > 0,05$, exceto ORG). Por outro lado, as predições utilizando a EGEP apresentaram valores de R^2 entre 0,11 para gordura dos órgãos (DPM = 0,18 kg) e 0,61 para gordura da carcaça (DPM = 0,82 kg) (Tabela 4).

3.2.4. *Regressões múltiplas*

A inclusão de EGEP na equação usando PCVZ para predição do peso da gordura omental resultou em uma melhora na precisão (o valor de R^2 aumentou de 0,47 para 0,52, Tabela 6). Em contraste, a predição do peso da gordura mesentérica, onde o PCVZ foi o melhor preditor único, não foi melhorada pela adição de qualquer outra variável pós-abate. A adição da EGEP, em combinação com o PCVZ, aumentou o valor de R^2 de 0,46 a 0,53 na equação de predição do peso da gordura perirrenal e de 0,68 para 0,74 para gordura dos componentes não-carcaça. Para a predição de gordura dos órgãos, a equação obtida teve um coeficiente de determinação muito baixo ($R^2 = 0,32$) com o uso do PCVZ e da EGLP. Finalmente, a adição da EGEP com o PCQ aumentou a precisão de 0,74 para 0,83 para prever o peso total da gordura (Tabela 6).

Tabela 6. Equações de regressão múltipla^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total^c das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pós-abate de peso da carcaça quente (PCQ), peso de corpo vazio (PCVZ), espessura da gordura lombar e esternal medida por paquímetro digital (EGLP, EGEP, respectivamente) (variável x) em cabras Saanen.

Etapa	Variável dependente	Variável independente	Intercepto $\pm$ DP ^d	$b \pm$ DP	R^2	DPM
1	OM	PCVZ	$-4,46 \pm 1,31$	$0,09 \pm 0,03$	0,47	0,95
2		EGEP		$0,08 \pm 0,05$	0,52	0,92
1	MES	PCVZ	$-0,86 \pm 0,30$	$0,04 \pm 0,01$	0,61	0,21
1	PR	PCVZ	$-2,16 \pm 0,60$	$0,04 \pm 0,02$	0,46	0,44
2		EGEP		$0,04 \pm 0,02$	0,53	0,43
1	ORG	PCVZ	$-0,54 \pm 0,24$	$0,01 \pm 0,005$	0,23	0,17
2		EGLP		$0,11 \pm 0,07$	0,32	0,16
1	CARC	PCQ	$-3,83 \pm 0,55$	$0,36 \pm 0,07$	0,82	0,57
2		EGEP		$0,12 \pm 0,02$	0,91	0,40
3		PCVZ		$-0,06 \pm 0,04$	0,92	0,38
1	NC	PCVZ	$-6,70 \pm 1,58$	$0,19 \pm 0,04$	0,68	1,20
2		EGEP		$0,14 \pm 0,06$	0,74	1,12
1	TOT	PCQ	$-10,44 \pm 2,00$	$0,60 \pm 0,10$	0,74	1,73
2		EGEP		$0,27 \pm 0,08$	0,83	1,41

^a Todas as regressões foram significativas a $P < 0,05$.

^b OM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^c TOT, gordura total; TOT = CARC + NC.

^d O intercepto é o mesmo dentro de cada grupo de equações de predição de uma mesma variável dependente.

4. Discussão

Entre todas as medidas somáticas avaliadas, a circunferência torácica (CT) foi a mais relacionada com o peso corporal. Ao estimar o PC usando a CT, observou-se que cada alteração de kg do PC correspondeu a uma mudança de 1,2 centímetros da CT, o que explicou 75% da variância em cabras Saanen em lactação (Figura 1). Em um trabalho recente, McGregor (2017) observou uma correlação moderada ($R^2 = 0,60$) nas cabras Angorá, com um aumento de 1 kg no peso vivo para cada aumento de 1 cm no perímetro torácico, que foi muito semelhante ao presente trabalho. Slippers et al. (2000) relataram que o peso corporal estava altamente correlacionado com circunferência torácica em cabras Nguni ($R^2 > 0,88$). Em contraste com o observado para CT, o ECC não foi um bom preditor para estimar o peso corporal (Figura 2), provavelmente devido à correlação moderada entre PC e ECC lombar ($r = 0,50$) e ECC esternal ($r = 0,56$). McGregor (2017) relatou uma correlação de 66%

entre PC e ECC lombar, corroborando que é difícil estimar o PC utilizando o ECC em caprinos. Embora o nível de precisão obtido ao usar PC para predição dos depósitos de gordura, como gordura de órgãos e gordura omental, não foi alto ($R^2 = 0,21$ e $0,28$, respectivamente), uma maior acurácia foi alcançada na estimativa do conteúdo de gordura da carcaça e gordura total ($R^2 = 0,58$ e $0,55$, respectivamente).

Ao usar o método do ECC lombar, Russel et al. (1969), em ovelhas Scottish Blackface e Teixeira et al. (1989), em ovelhas Aragonesa, obtiveram valores de R^2 próximos de $0,90$ para ECC como preditor da quantidade de gordura corporal. No entanto, a distribuição da gordura corporal em cabras difere sensivelmente daquelas nas ovelhas (Colomer-Rocher et al., 1987). Os dados do presente estudo em caprinos Saanen confirmaram que os depósitos de gordura subcutânea não são altamente visíveis na região dorsal dessa espécie. De acordo com Hervieu et al. (1991), grandes quantidades de gordura acumulada são depositadas na região esternal em cabras. Embora Mendizabal et al. (2010) tenham relatado que a precisão para estimar a gordura total nas cabras espanholas Blanca Celtibérica utilizando o ECC esternal foi muito melhor ($R^2 = 0,90$) do que as obtidas usando o ECC lombar ($R^2 = 0,59$), isso não se repetiu no presente estudo, onde o ECC esternal também não estimou as reservas de gordura satisfatoriamente ($R^2 < 0,55$). Além disso, em uma mesma região, ambas as medidas obtidas com ultrassom e com paquímetro digital, falharam em estimar as reservas de gordura. Essas diferenças podem ser atribuídas, pelo menos em parte, aos intervalos muito maiores de PC e ECC ($33,0$ a $80,5$ kg e $0,75$ a $4,25$, respectivamente) avaliados por Mendizabal et al. (2010) em comparação com os obtidos no presente trabalho ($43,6$ a $69,4$ kg e $1,75$ a $3,00$, respectivamente). Isso é plausível considerando as abordagens matemáticas e estatísticas utilizadas, porque os ajustes dos modelos de regressão dependem do alcance do conjunto de dados. Assim, o modelo proposto poderia ter tido uma maior precisão com uma maior variabilidade do PC e das classes de ECC. Outra explicação possível é que as cabras Saanen não depositam gordura na região lombar ou esternal proporcionalmente aos depósitos de gordura visceral.

Entre todas as medidas somáticas realizadas, apenas a circunferência torácica apresentou correlação significativa com todos os depósitos de gordura. No entanto, os coeficientes de determinação das equações com CT foram consistentemente baixos, com valores variando entre $0,16$ para gordura dos órgãos e $0,46$ para gordura da carcaça. Diferentemente, em ovelhas Pelibuey, Bautista-Díaz et al. (2017) observaram que a circunferência abdominal foi a melhor medida somática para estimar os pesos de gordura da carcaça ($R^2 = 0,73$), gordura visceral ($R^2 = 0,64$) e gordura corporal total ($R^2 = 0,71$). De fato,

esses resultados confirmam que as ovelhas, especialmente as raças de carne, apresentam maior deposição de gordura na região subcutânea, enquanto as raças de cabras leiteiras depositam uma grande parte da gordura na cavidade interna visceral (Colomer-Rocher et al., 1992).

Ao estimar os depósitos de gordura usando ultrassom, a medida da espessura de gordura perirrenal atingiu níveis mais altos de precisão (valores de R^2 entre 0,05 e 0,86) em comparação com a região lombar (valores de R^2 de 0,10 a 0,33) ou a região esternal (valores de R^2 de 0,05 a 0,55). Esses resultados confirmam que a espessura de gordura perirrenal medida com ultrassom pode estimar adequadamente as reservas de gordura em cabras Saanen em lactação (exceto a gordura ORG). De fato, em um estudo anterior realizado com cabras Saanen não lactantes e gestantes, Härter et al. (2014) descobriram que a gordura abdominal era a principal reserva de energia e que a espessura de gordura perirrenal medida por ultrassom estava significativamente correlacionada com o PC e a gordura perirrenal, omental e não-carcaça.

Considerando as medidas pós-abate avaliadas neste estudo, o peso da carcaça quente e o peso de corpo vazio foram os melhores preditores da quantidade de gordura total armazenada pelas cabras ($R^2 = 0,74$ para ambos). O uso do PCQ ou do PCVZ remove o grande efeito que as diferenças nos conteúdos gastrointestinais, que variaram de 5,6 a 12,7 kg, têm sobre o peso vivo. Do mesmo modo, Mendizabal et al. (2010) ressaltaram que o PCVZ e, especialmente, o PCQ, foram os melhores preditores pós-abate dos pesos dos depósitos de gordura nas cabras espanholas Blanca Celtibérica.

A espessura de gordura lombar medida por um paquímetro digital foi o pior preditor dos pesos dos depósitos de gordura individuais, com valores de R^2 inferiores a 0,2, provavelmente porque a camada muito fina de gordura perdeu a firmeza depois do corte do músculo o que, portanto, dificultou as medidas. A espessura de gordura do esterno medida por um paquímetro digital também não foi um bom preditor de depósitos de gordura, embora os valores de R^2 fossem maiores (intervalo de 0,11 a 0,61) em comparação com a região lombar. Em cabras espanholas Blanca Celtibérica, Delfa et al. (1995) dissecaram a região lombar e esternal e descobriram que a porcentagem de gordura lombar era de apenas 15% em comparação com 41% da gordura na região esternal. Portanto, evidencia-se que as escalas de ECC propostas por Hervieu et al. (1991), para cabras Alpinas e Saanen, precisam ser reavaliadas.

O método do ECC, baseado em palpções do corpo, é difícil de ser adotado em cabras leiteiras devido à falta de tecido adiposo subcutâneo nesta espécie. Em primeiro lugar, seria

necessário avaliar se existe uma correlação entre a gordura localizada na região lombar ou esternal e a gordura total dos animais. Se os resultados mostrassem alta correlação, isso significaria que os métodos do ECC podem ser usados para prever a gordura corporal de cabras leiteiras, embora alguns ajustes ainda possam ser necessários. No entanto, se os estudos mostrassem que a espessura da gordura localizada na região lombar e esternal não teria alta correlação com a gordura total, principalmente localizada na região visceral, então novos métodos deverão ser desenvolvidos. Hervieu et al. (1991) confirmaram que existe uma correlação significativa entre os escores dados pelo ECC e suas respectivas frações de gordura (nas regiões lombar e esternal). No entanto, os autores não avaliaram se esta correlação também é alta com a composição corporal do animal como um todo.

Com base nas diferentes regressões das medidas pré-abate testadas para cada depósito de gordura, a EGPU produziu as estimativas mais precisas da gordura corporal em cabras Saanen em lactação, com exceção da estimativa do depósito de gordura nos órgãos, e a adição do PC e do ECC lombar melhoraram substancialmente a precisão das estimativas da gordura corporal total (R^2 aumentou de 0,62 para 0,92). Hipotetizou-se que há uma grande variação de gordura corporal em um dado ECC (baixa precisão). No entanto, a estimativa da gordura na carcaça e gordura total poderiam ser melhoradas se o PC e o ECC lombar fossem adicionados ao EGPU, como visto na Tabela 5. Estes resultados sugerem que as cabras eram de tamanhos diferentes (grandes e pequenos) e possivelmente em alguns casos com ECC similar. Além disso, o PC foi um indicador discreto da gordura da carcaça e gordura total e foi um indicador moderadamente preciso para a gordura mesentérica; já o ECC lombar foi um bom preditor de gordura da carcaça e a EGPU predisse com alta precisão as gorduras omental, perirrenal e não-carcaça. Portanto, a adição dessas três variáveis (PC, ECC lombar e EGPU) parece ser complementar na predição da gordura total.

Por outro lado, com base na análise de regressão múltipla usando medidas pós-abate, o PCVZ foi a primeira variável e proporcionou as melhores previsões de gordura OM, MES, PR, ORG e NC, enquanto o PCQ foi a primeira variável na gordura da CARC e TOT. A adição de EGEP como segunda variável foi útil ao estimar as reservas de gordura em OM, PR, NC e gordura TOT (R^2 aumentando de 0,74 a 0,83). Estes resultados concordam com os obtidos por Mendizabal et al. (2010), que relataram que o PCQ e o PCVZ eram as variáveis pós-abate mais utilizadas para predição dos depósitos de gordura nas cabras espanholas da raça Blanca Celtibérica, confirmando a importância dessas medidas.

Considerando os principais resultados obtidos com a análise de regressão múltipla, as equações recomendadas a serem utilizadas a nível de campo, quando o ultrassom não está disponível, podem ser resumidas em:

- (1) OM: $4,79 + 0,13 \times PC + 1,57 \times ECC_1 - 0,16 \times AC - 0,15 \times CG$ ($R^2 = 0,55$)
- (2) MES: $1,57 + 0,05 \times PC - 0,04 \times AC$ ($R^2 = 0,56$)
- (3) PR: $2,79 + 0,08 \times PC - 0,07 \times AC - 0,09 \times LG$ ($R^2 = 0,48$)
- (4) ORG: $1,21 + 0,02 \times PC - 0,06 \times PT$ ($R^2 = 0,60$)
- (5) CARC: $-3,31 + 0,12 \times PC + 3,19 \times ECC_1 - 0,07 \times AQ - 0,12 \times LO$ ($R^2 = 0,87$)
- (6) NC: $1,65 + 0,25 \times PC + 2,61 \times ECC_1 - 0,16 \times AC - 0,31 \times LG$ ($R^2 = 0,69$)
- (7) TOT: $-4,21 + 0,36 \times PC + 6,12 \times ECC_1 - 0,21 \times AC - 0,38 \times LO$ ($R^2 = 0,79$)

5. Conclusões

A espessura de gordura medida com ultrassom na região perirrenal é a melhor medida pré-abate para estimar as reservas de gordura em cabras Saanen em lactação, enquanto o peso do corpo vazio e o peso da carcaça quente são os melhores preditores pós-abate para estimar as reservas de gordura. O escore de condição corporal poderia ser uma ferramenta útil, mas necessita ser reavaliado para estimar os depósitos de gordura de maneira adequada em caprinos leiteiros. A melhor variável para a predição do conteúdo de gordura na carcaça e gordura total foi o peso da carcaça quente, mas as metodologias capazes de estimar os pesos das reservas energéticas em animais vivos são preferíveis por razões práticas e econômicas.

Referências bibliográficas

- AOAC International. 2005. Official Methods of Analysis, 18th ed. Assoc. of Offic. Anal. Chem. Int., Gaithersburg, MD.
- Akdag, F., Teke, B., Meral, Y., Arslan, S., Ugurlu, M., 2015. Prediction of carcass composition by ultrasonic measurement and the effect of region and age on ultrasonic measurements. *Small Rumin. Res.* 133, 82–87.
- Bautista-Díaz, E., Salazar-Cuytun, R., Chay-Canul, A.J., Garcia Herrera, R.A., Piñeiro-Vázquez, Á.T., Magaña Monforte, J.G., Tedeschi, L.O., Cruz-Hernández, A., Gómez-Vázquez, A., 2017. Determination of carcass traits in Pelibuey ewes using biometric measurements. *Small Rumin. Res.* 147, 115–119.
- Cam, M.A., Olfaz, M., Soydan, E., 2010. Possibilities of using morphometrics characteristics as a tool for body weight prediction in Turkish hair goats (Kilkeci). *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 5, 52–59.

- Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell, A.N., Van Soest, P.J., 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82, 149–69.
- Colomer-Rocher, F., Kirton, A.H., Mercer, G.J.K., Duganzich, D.M., 1992. Carcass composition of New Zealand Saanen goats slaughtered at different weights. *Small Rumin. Res.* 7, 161–173.
- Colomer-Rocher, F., Morand-Fehr, P., Kirton, A.H., 1987. Standard methods and procedures for goat carcass evaluation, jointing and tissue separation. *Livest. Prod. Sci.* 17, 149–159.
- Delfa, R., González, C., Teixeira, A., Gosálvez, L.F., Tor, M., 1995. Relationships between body fat depots, carcass composition, live weight and body condition scores in Blanca Celtibérica goats, in: Purroy, A. (Ed.), *Body Condition of Sheep and Goats: Methodological Aspects and Applications*. CIHEAM, Zaragoza, pp. 109–119.
- Eknæs, M., Kolstad, K., Volden, H., Hove, K., 2006. Changes in body reserves and milk quality throughout lactation in dairy goats. *Small Rumin. Res.* 63, 1–11.
- Härter, C.J., Silva, H.G.O., Lima, L.D., Castagnino, D.S., Rivera, A.R., Neto, O.B., Gomes, R.A., Canola, J.C., Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A., 2014. Ultrasonographic measurements of kidney fat thickness and *Longissimus* muscle area in predicting body composition of pregnant goats. *Anim. Prod. Sci.* 54, 1481–1485.
- Hervieu, J., Morand-Fehr, P., Schmidely, P., Fedele, V., Delfa, R., 1991. Mesures anatomiques permettant d'expliquer les variations des notes sternales, lombaires et caudales utilisées pour estimer l'état corporel des chèvres laitières. In: Purroy, A. (Ed.), *Etat Corporel des Brebis et Chèvres*. CIHEAM, Zaragoza, pp. 43–56.
- McGregor, B.A., 2017. Relationships between live weight, body condition, dimensional and ultrasound scanning measurements and carcass attributes in adult Angora goats. *Small Rumin. Res.* 147, 8–17.
- Mendizabal, J.A., Delfa, R., Arana, A., Purroy, A., 2010. A comparison of different pre- and post-slaughter measurements for estimating fat reserves in Spanish *Blanca Celtibérica* goats. *Can. J. Anim. Sci.* 90, 437–444.
- Ngwa, A.T., Dawson, L.J., Puchala, R., Detweiler, G., Merkel, R.C., Wang, Z., Tesfai, K., Sahlu, T., Ferrell, C.L., Goetsch, A.L., 2009. Effects of stage of lactation and dietary forage level on body composition of Alpine dairy goats. *J. Dairy Sci.* 92, 3374–3385.

- Ngwa, A.T., Dawson, L.J., Puchala, R., Detweiler, G., Merkel, R.C., Tovar-Luna, I., Sahl, T., Ferrell, C.L., Goetsch, A.L., 2007. Urea space and body condition score to predict body composition of meat goats. *Small Rumin. Res.* 73, 27–36.
- Russel, A.J.F., Doney, J.M., Gunn, R.G., 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 72, 451–454.
- Scholz, A.M., Bünger, L., Kongsro, J., Baulain, U., Mitchell, A.D., 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal* 9, 1250–1264.
- Silva, T.S., Chizzotti, M.L., Busato, K.C., Rodrigues, R.T.S., da Silva, I.F., Queiroz, M.A.Á., 2015. Indirect methods for predicting body composition of Boer crossbreds and indigenous goats from the Brazilian semiarid. *Trop. Anim. Health Prod.* 47, 1217–1220.
- Slippers, S.C., Letty, B.A., de Villiers, J.F., 2000. Prediction of the body weight of Nguni goats. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 30 (Suppl. 1), 127–128.
- Teixeira, A., Delfa, R., Colomer-Rocher, F., 1989. Relationships between fat depots and body condition score or tail fatness in the Rasa Aragonesa breed. *Anim. Sci.* 49, 275–280.
- Teixeira, A., Joy, M., Delfa, R., 2008. In vivo estimation of goat carcass composition and body fat partition by real-time ultrasonography. *J. Anim. Sci.* 86, 2369–2376.

CAPÍTULO 3

**Metodologias pré e pós-abate para estimativa das reservas de gordura de
ovelhas Sarda em lactação**

RESUMO

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de comparar as metodologias pré e pós-abate para estimar as reservas de gordura em ovelhas. Vinte e seis ovelhas Sarda em lactação, variando de 31,4 a 58,2 kg de peso vivo (PV) e de 1,88 a 3,75 de escore de condição corporal (ECC) foram utilizadas. Quinze medidas pré-abate e quatro medições pós-abate foram utilizadas para estimar o peso de gordura Omental (OM), mesentérico (MES), perirrenal (PR), órgãos (ORG), carcaça (CARC), componentes não carcaça (CNC) e total (TOT, calculado como a soma de CARC e CNC). As medidas pré-abate foram: altura da cernelha; altura do quadril; comprimento da garupa; largura da garupa; profundidade do tórax; largura dos ombros; circunferência torácica; comprimento corporal; altura do esterno; peso vivo (PV); escore de condição corporal avaliado na região lombar (ECC_l) e caudal (ECC_c); espessura de gordura medida por ultrassom na região lombar (EGLU), caudal (EGCU) e perirrenal (EGPU). As medidas pós-abate foram: peso de carcaça quente (PCQ); peso de corpo vazio (PCVZ); espessura de gordura medida por paquímetro digital na região lombar (EGLP) e caudal (EGCP). Foram realizadas análises de regressões lineares e múltiplas. O ECC_c e PCQ forneceram as previsões mais precisas da gordura TOT entre as variáveis pré e pós-abate, respectivamente ($R^2 = 0,84$ e $0,92$, respectivamente). As equações de regressões múltiplas predisseram a gordura total das variáveis pré-abate EGPU, ECC_c, EGLU e o PV com um valor de $R^2 = 0,96$, o que confirma que as reservas de gordura podem ser previstas em ovelhas Sarda em lactação com alta precisão usando medidas *in vivo*.

Palavras-chave: equação de predição, escore de condição corporal, medidas corporais, ovelhas, tecido adiposo, ultrassom

ABSTRACT

This work aimed to compare pre and post slaughter methodologies to estimate fat reserves in ewes. Twenty-six lactating Sarda ewes ranging from 31.4 to 58.2 kg of BW and from 1.88 to 3.75 BCS were used. Fifteen pre-slaughter measurements, withers height (WH); sternum height (SH); shoulder width (SW); heart girth (HG); height of rump (HR); depth of chest (DC); pelvis width (PW); body length (BL); BCS assessed in the lumbar region (conventional method, BCS_l) and in the tail region (BCS_t), and fat thickness, measured by ultrasound, in the lumbar ($FTUS_l$), perirenal ($FTUS_{pr}$) and tail regions ($FTUS_t$), and four post-slaughter measurements, hot carcass weight (HCW), empty body weight (EBW), and fat thickness, measured by digital caliper, in the lumbar region ($FTDC_l$) and tail region ($FTDC_t$) were used to predict the weight of fat in the omental (OM), mesenteric (MES), perirenal (PR), organs (ORG), carcass (CARC), non-carcass components (NC) and total (as the sum of CARC and NC, TOT) depots of ewes. BCS_t and HCW gave the most accurate predictions of the total fat among variables pre and post slaughter respectively ($R^2 = 0.84$ and 0.92 , $RSD = 1.66$ and 1.21 kg, respectively). Multiple regressions predicted total fat from the pre-slaughter variables $FTUS_{pr}$, BCS_t , $FTUS_l$ and BW with an R^2 value of 0.96 ($RSD = 0.96$), which confirms that fat reserves can be predicted in lactating Sarda ewes with high precision using *in vivo* measures.

Keywords: body condition score, body measurements, fat tissue, prediction equation, sheep, ultrasound

1. Introdução

Em ovelhas adultas, as gorduras corporais e, em menor grau, as proteínas do corpo variam durante o ciclo de produção dependendo do equilíbrio energético dos animais. Essas variações fazem parte da adaptação dos animais à disponibilidade de nutrientes, mas também são afetadas por vários fatores genéticos e ambientais, os quais induzem diferenças nos requerimentos nutricionais dos animais (Berg e Butterfield, 1976). De fato, as variações nas reservas de gordura são usadas para estimar a energia disponibilizada ou o custo da acumulação de energia durante períodos de ganho de reservas corporais (INRA, 1989; Cannas et al., 2004). Além disso, as reservas corporais afetam o desempenho reprodutivo (Kenyon et al., 2011) e o produtivo, como o ganho compensatório (Kamalzadeh et al., 1998) ou a produção de leite durante períodos de balanço energético negativo (Cannas et al., 2004).

Por estas razões, a avaliação do status de reserva do corpo é de suma importância. Isto é particularmente verdadeiro para as ovelhas leiteiras, uma vez que a sua alta produção de leite e o fato de serem frequentemente alimentados em pastagens e, portanto, são marcadamente sujeitas aos efeitos da disponibilidade de alimentos e aos fatores ambientais, tornam particularmente fortes as variações de reserva do seu corpo. Na experimentação científica, o método mais usado para obter a composição corporal é o abate do animal, com a moagem de todos os constituintes do corpo e, em seguida, análise no laboratório. Este método, no entanto, é destrutivo, dispendioso, muito demorado e, claro, não permite a avaliação das reservas corporais ao longo do tempo no mesmo animal. Para reduzir custos e mão de obra, algumas metodologias pós-abate, como o peso da carcaça quente, o diâmetro dos adipocitos (Mendizabal et al., 2003), a espessura da gordura com o uso do paquímetro (Delfa et al., 1992) foram aplicadas com sucesso para estimar a composição corporal total.

A predição das reservas corporais e, especialmente, do teor de gordura em animais vivos pode ser feita com métodos subjetivos e objetivos (Scholz et al., 2015). Os métodos subjetivos são aqueles baseados na avaliação visual e tátil das reservas corporais e fazem a base do escore de condição corporal (ECC). Eles são muito fáceis de serem aplicados, mas dependem da experiência do avaliador. A escala de ECC mais utilizada para ovinos foi desenvolvida para animais de corte, por Russel et al. (1969). Os métodos objetivos são caracterizados pela determinação da composição corporal em animais vivos com base em medidas objetivas. Muitos deles foram propostos para ovelhas, como o método da gordura caudal (Teixeira et al., 1989), a medição de ultrassom em tempo real na região lombar (Delfa et al., 1992), a avaliação da água corporal utilizando a técnica de diluição de óxido de

deutério (Bocquier et al., 1999), tamanho de células adiposas (Mendizabal et al., 2003), dentre outros.

Em ovelhas leiteiras, os depósitos de gordura visceral estão altamente correlacionados com a composição corporal (Ronchi et al., 1993). Sabe-se que as raças leiteiras apresentam uma maior deposição de gordura na cavidade interna visceral, em vez da gordura subcutânea, comparando com as raças de corte (Kempster, 1981). Por esta razão, a aplicação direta para ovelhas leiteiras dos métodos desenvolvidos para ovinos de carne de lã não é viável. Para o nosso melhor conhecimento, há escassez de estudos comparando diferentes metodologias subjetivas e objetivas para avaliar a gordura corporal nas ovelhas leiteiras. Assim, o presente trabalho foi realizado para: (i) estudar a relação entre o escore da condição corporal e as medidas somáticas com o peso corporal e a gordura corporal, (ii) comparar metodologias pré e pós-abate como preditores para estimar os depósitos de gordura e (iii) desenvolver equações que possam ser úteis como indicador do estado nutricional de ovelhas Sarda em lactação.

2. Material e Métodos

2.1. Animais

O estudo foi realizado utilizando 26 ovelhas da raça Sarda, adultas e em lactação (variando de 2 a 6 lactações) do rebanho experimental pertencente à fazenda de pesquisa Agris de Bonassai (NW Sardenha, Itália). As ovelhas eram clinicamente saudáveis e tinham peso corporal (PC) médio de $46,8 \pm 6,9$ kg. Os animais foram ordenhados duas vezes ao dia e tiveram acesso à alimentação e à água livremente até o abate e seus cuidados e uso seguiram as leis e regulamentos de ética nacionais italianas (DL. Nº 116, 27/01/1992).

2.2. Mensurações pré-abate

2.2.1. Medidas somáticas e escore de condição corporal

As seguintes medidas somáticas, com base em Cam et al. (2010), foram feitas em todas as cabras 16 horas antes do abate: altura da cernelha (AC), a distância entre o topo da cernelha ao chão; altura do quadril (AQ), distância do topo do quadril ao chão; comprimento da garupa (CG), distância entre a parte cranial ilíaca e a caudal isquiática; largura da garupa (LG), distância entre as partes laterais das tuberosidades ilíacas; profundidade do tórax (PT), distância entre a cernelha e o esterno; largura dos ombros (LO), distância horizontal entre os processos no ombro esquerdo e direito; circunferência torácica (CT), a menor circunferência torácica do animal, logo atrás da perna dianteira; comprimento do corpo (CC), a distância entre a parte cranial do úmero e a tuberosidade isquiática; e a altura do esterno (AE), a

distância entre o esterno e o chão. As medições de AC, AQ, PT, CC e AE foram tomadas com uma barra métrica Lydtin (tubo de metal de 80 a 230 cm de comprimento). A LG e a LO foram medidos com um arco de espessura, e CG e CT com um medidor linear.

O peso corporal (PC) foi medido com uma balança eletrônica imediatamente após o abate (o sangue foi coletado e pesado). O escore de condição corporal (ECC) lombar foi avaliado por dois profissionais experientes com uso da escala de referência (0 a 5 pontuação) e técnica proposta por Russel et al. (1969), com intervalos de 0,25 unidades. O ECC foi avaliado no momento da seleção das ovelhas e no final do experimento, pouco antes do abate. Ao mesmo tempo, a deposição de gordura caudal foi avaliada pelos mesmos dois avaliadores especialistas usando a técnica de Teixeira et al. (1989) (escala de 1 a 3 graus) adaptada em uma escala de cinco pontos, com intervalos de 0,25 unidades, definidos como:

- Grau 1: todas as vértebras da cauda podem ser sentidas facilmente e não há cobertura de gordura.
- Grau 2: os processos espinhosos e transversais das vértebras da cauda são proeminentes, mas suaves e há pouca cobertura de gordura.
- Grau 3: os processos espinhosos e transversais têm apenas uma pequena elevação, são suaves e arredondados. O processo individual pode ser sentido apenas com pressão firme e há cobertura de gordura moderada.
- Grau 4: os processos espinhosos só podem ser detectados com alta pressão. O processo transversal da vértebra da cauda não pode ser sentido e há uma cobertura grossa de gordura.
- Grau 5: os processos espinhosos e transversais não podem ser sentidos mesmo com pressão firme. A cauda é repleta de uma capa de gordura muito grossa.

2.2.2. Ultrassonografia

A espessura da gordura foi mensurada simultaneamente com as medidas anteriores, utilizando um aparelho de ultrassom em tempo real MyLab One (Esaote S.p.A., Genova, Itália). A tricotomia foi realizada na área a ser medida e foi utilizado gel como agente de acoplamento para melhorar a qualidade das imagens. As imagens de ultrassom foram tiradas duas vezes em três locais anatômicos diferentes: (1) espessura de gordura lombar (EGLU), medida na área do músculo *Longissimus* ao redor da 13ª vértebra torácica (última costela), usando uma sonda de ultrassom SL3323 VET (matriz de 13–6 Mhz e 40 mm de comprimento; Esaote S.p.A., Genova, Itália); (2) espessura de gordura perirrenal (EGPU),

medida atrás da 13^a costela no lado direito do corpo usando uma sonda de ultrassom SV3513 VET (matriz de 10–5 Mhz e 50 mm de comprimento, Esaote S.p.A., Genova, Itália), de acordo com Härter et al. (2014); e (3) espessura da gordura caudal (EGCU) medida com a sonda ultrassonográfica SL3323 VET (matriz de 13–6 Mhz e 40 mm de comprimento) posicionada perpendicularmente à 2^a vértebra coccígea. As imagens foram obtidas com uma sonda linear (transdutor) de 6 Mhz e conexão acústica de silicone (standoff) para medições EGLU e EGCU e um transdutor convexo de 8 Mhz para medições EGPU. As imagens foram armazenadas em um computador e, posteriormente, analisadas com o programa MyLab Desk™/Desk (Esaote S.p.A. Genova, Itália) para obter as medidas de espessura de gordura.

2.3. Mensurações pós-abate

2.3.1. Procedimentos de abate, carcaça quente e peso de corpo vazio

As ovelhas foram abatidas sob anestesia geral e exsanguinadas a partir da veia jugular nas instalações do Hospital do Departamento Veterinário da Università degli studi di Sassari (Sassari, Sardenha, Itália). Os pesos do sangue, cabeça, pele, pés, cauda, vísceras vazias (rúmen-retículo, omaso, abomaso, intestino delgado e intestino grosso), mesenterio, gordura interna, fígado, coração, rins, baço, pulmões, língua, esôfago, traqueia, sistema reprodutivo e peso de carcaça quente (PCQ) foram registrados. Os compartimentos do trato digestivo foram isolados, pesados, esvaziados e pesados novamente. O peso de corpo vazio (PCVZ) foi calculado pela diferença do peso vivo e o conteúdo do trato gastrointestinal, bexiga e vesícula biliar. O tecido adiposo que envolve o trato digestivo, gordura omental (OM) e gordura mesentérica (MES) foram removidos juntamente com qualquer tecido conjuntivo associado e pesado. A gordura perirrenal (PR) foi removida dos rins e pesada. A gordura de órgãos do coração, fígado e pulmão foi removida de cada órgão e pesada em conjunto (ORG).

2.3.2. Medidas na carcaça

As carcaças foram armazenadas a 4° C durante 24 horas em uma câmara fria. Em seguida, as carcaças foram divididas na espinha dorsal com uma serra elétrica em duas metades (direita e esquerda). A metade direita de cada carcaça foi cortada nas vértebras torácicas 12 e 13 nos mesmos pontos anatômicos onde as medidas foram tomadas no animal vivo usando ultrassom. A espessura da gordura lombar foi medida usando um paquímetro digital (EGLP). Da mesma forma, um corte transversal foi feito na segunda vértebra coccígea, e a gordura caudal foi então medida usando um paquímetro digital (EGCP).

2.3.3. *Conteúdo de gordura na carcaça e nos componentes não-carcaça*

O lado esquerdo de cada carcaça foi congelado até a determinação subsequente da composição química, enquanto que todos os componentes não-carcaça (trato digestivo, pernas, pés, trato reprodutivo e glândula mamária), incluindo cabeça e pele, foram armazenados em sacos de polietileno separados a -20°C até a preparação para a análise. Todos os componentes congelados (carcaça e não-carcaça) foram cortados em pedaços de 5 a 6 cm^3 , enquanto ainda congelados, e depois picados e moídos usando um moedor de carne (TC 42 Golia HP 10 HS, La Felsinea SR, Padova, Itália). Depois de misturar o material com um misturador mecânico (ME 30, La Felsinea SR, Padova, Itália), as amostras foram colhidas em três repetições. As amostras foram pesadas, congeladas em um ultra-freezer a -80°C e posteriormente analisadas por matéria seca via liofilização (Lyolab 3000, Jouan Nordic, Allerød, Dinamarca). Em seguida, as amostras foram trituradas novamente em um moedor (Knifetec Mill 1095, Foss, Höganäs, Suécia) e analisadas quanto à gordura. A gordura da carcaça (CARC) e dos componentes não-carcaça (NC) foi determinada pela extração contínua das amostras com éter de petróleo por 6 horas usando o método AOAC 920.39 (AOAC International, 2005).

2.4. *Análises estatísticas*

As análises estatísticas foram realizadas usando variável linear única com o procedimento GLM do software SAS (versão 9.2, SAS System Inc., Cary, NC, EUA) para os pesos de gordura nos diferentes depósitos como variáveis dependentes (y) e PC, ECC lombar, ECC esternal, medidas somáticas, EGLU, EGCU, EGPU, PCQ, PCVZ, EGLP e EGCP como variáveis independentes (x). As variáveis incluídas nas regressões múltiplas foram selecionadas usando o procedimento REG com o método STEPWISE do SAS. Uma vez que o ultrassom não é tão barato e requer mais tempo do que o ECC, PC e medidas somáticas para serem usadas em condições de campo, foram desenvolvidas equações simplificadas adicionais sem o uso do ultrassom também usando o procedimento REG com o método STEPWISE do SAS.

3. **Resultados**

3.1. *Mensurações pré-abate*

3.1.1. *Medidas somáticas*

A circunferência torácica (CT) variou de 78 a 98 cm, com uma média de 91 cm (Tabela 1). Entre todas as medidas somáticas, apenas a CT apresentou coeficientes de

regressão significativamente diferentes de zero para todos os depósitos de gordura ($P < 0,05$). A relação entre circunferência torácica e peso corporal foi de $PC \text{ (kg)} = 1,3 \text{ CT (cm)} - 70,8$ ($R^2 = 0,69$), mostrando uma diferença média de CT de 1,3 cm por unidade (kg) de PC (Figura 1).

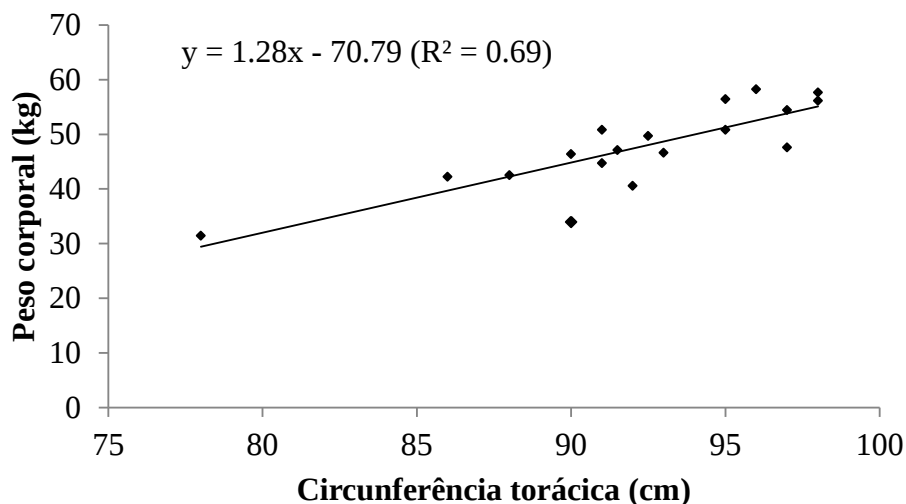


Fig. 1. Relação entre a circunferência torácica e o peso corporal em ovelhas Sarda lactantes.

3.1.2. *Peso corporal*

Os pesos corporais após o abate (somado com sangue das exsanguinações) variaram de 31,4 a 58,2 kg, com uma média de 46,8 kg (Tabela 1). As regressões entre o peso de gordura em cada um dos diferentes depósitos de gordura e o PC (Tabela 2) apresentaram coeficientes de determinação (R^2) que variaram entre 0,46 para o depósito perirrenal e 0,77 para o depósito de gordura na carcaça. A acurácia na determinação do peso total de gordura (soma de gordura na carcaça e componentes não-carcaça) usando o PC foi moderadamente alta ($R^2 = 0,72$).

3.1.3. *Escore de condição corporal*

O ECC avaliado no ponto lombar ou na cauda teve média de 3,0, mas o ECC caudal detectou menor teor de gordura do que ECC lombar (1,29 vs 1,88, respectivamente) (Tabela 1). As equações de regressão para a predição dos pesos dos depósitos de gordura usando o ECC caudal apresentaram valores de R^2 maiores do que os ECC lombares, com exceção da gordura dos órgãos. Os valores de R^2 para ECC da cauda variaram entre 0,59 e 0,86 para órgãos e gorduras da carcaça e entre 0,63 e 0,82 para o mesentério e gordura de carcaça para o ECC lombar (Tabela 2). A relação entre o escore da condição corporal e o peso corporal em

ovelhas Sarda em lactação proporcionou R^2 similares para os acessos via região lombar e caudal (Figura 2). No entanto, as equações para predição do PC usando o ECC diferiram significativamente. Para o ECC lombar, a equação foi $PC\ (kg) = 13,58\ ECC + 5,86$ ($R^2 = 0,70$) e para o ECC caudal a equação foi $PC\ (kg) = 10,72\ ECC + 14,67$ ($R^2 = 0,71$).

Tabela 1. Medidas somáticas, peso corporal, escore de condição corporal (ECC) medido na região lombar e caudal, peso da carcaça quente, peso de corpo vazio, espessura da gordura lombar, caudal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGCU e EGPU, respectivamente), espessura da gordura lombar e caudal medida por paquímetro digital (EGLP, EGCP, respectivamente) e peso dos depósitos de gordura de ovelhas Sarda.

	Média	Mínimo	Máximo	DP
Medidas somáticas (cm)				
Altura da cernelha	62,8	58,0	68,0	2,5
Altura do quadril	67,2	60,0	74,0	3,4
Comprimento da garupa	18,8	15,0	24,0	2,2
Largura da garupa	19,4	15,0	26,0	2,5
Profundidade do tórax	30,7	25,0	34,0	1,8
Largura dos ombros	19,3	16,5	24,0	2,1
Circunferência torácica	90,9	78,0	98,0	4,5
Comprimento do corpo	65,7	56,0	75,0	4,9
Altura do esterno	30,7	25,0	40,0	3,8
Peso corporal (kg)	46,8	31,4	58,2	6,9
ECC lombar (escala 0 – 5)	3,01	1,88	3,75	0,4
ECC caudal (escala 1 – 5)	3,00	1,29	3,69	0,5
Peso da carcaça quente (kg)	20,3	10,1	27,2	4,6
Peso de corpo vazio (kg)	40,2	24,0	53,4	7,6
EGLU (mm)	5,3	1,4	10,1	3,0
EGLP (mm)	5,6	1,0	13,4	3,4
EGCU (mm)	9,4	2,4	19,4	4,8
EGCP (mm)	10,5	2,6	19,0	4,6
EGPU (mm)	11,2	2,6	20,1	4,4
Peso dos depósitos de gordura (kg)				
Omental	2,0	0,1	4,5	1,2
Mesentérica	0,7	0,1	1,3	0,3
Perirrenal	1,1	0,1	2,9	0,8
Órgãos (coração, fígado e pulmão)	0,2	0,0	0,4	0,1
Gordura total (kg)				
Carcaça	5,4	1,1	8,9	2,1
Não-carcaça	5,5	2,0	9,0	2,1
Carcaça e não-carcaça	10,9	3,1	17,2	4,1

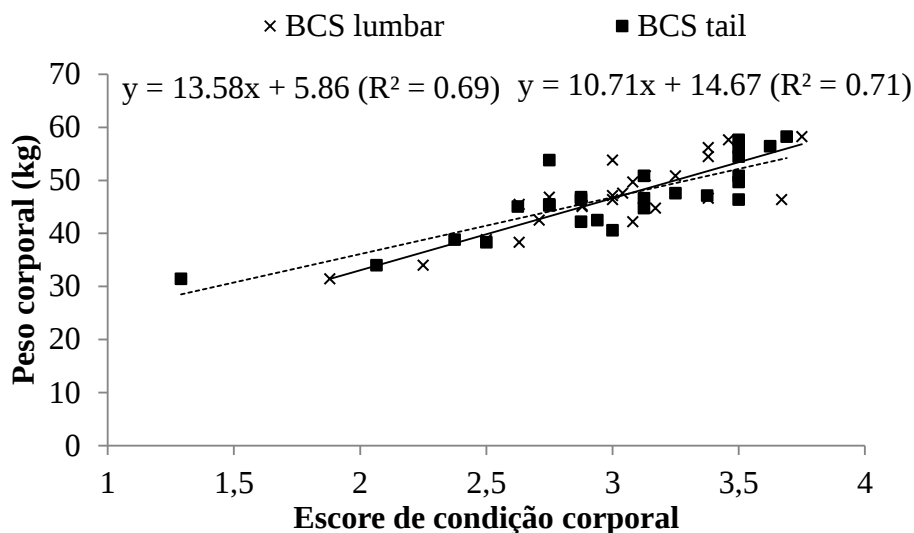


Fig. 2. Relação entre o escore de condição corporal lombar e caudal e o peso corporal em ovelhas Sarda em lactação.

3.1.4. Ultrassonografia

A espessura da gordura na região lombar medida com ultrassom variou de 1,4 a 10,1 mm, com uma média de 5,3 mm. Na cauda, a gordura apresentou camada mais espessa, variando de 2,4 a 19,4 mm, com uma média de 9,4 mm. A gordura perirrenal foi ainda maior, variando de 2,6 a 20,1 mm, com uma média de 11,2 mm (Tabela 1). Os coeficientes de determinação das equações, usando espessura de gordura na região lombar foram ligeiramente inferiores, com valores variando entre 0,33 para gordura de órgãos e 0,61 para carcaça e para gordura total (soma de componentes de carcaça e não carcaça), do que quando a espessura de gordura caudal foi utilizada, o que resultou em valores variando de 0,41 para a gordura dos órgãos e 0,71 para a gordura perirrenal. No entanto, melhorou-se o R^2 usando espessura de gordura na região perirrenal com valores entre 0,67 para gordura de órgãos e 0,83 para gordura total (Tabela 3).

Tabela 2. Equações de regressão^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de circunferência torácica, peso corporal, escore de condição corporal lombar e caudal^c (variável x) em ovelhas Sarda em lactação.

	Intercepto $\pm$ DP	$b \pm$ DP	R^2	DPM
<i>Peso corporal</i>				
OM	$-4,50 \pm 1,12$	$0,14 \pm 0,02$	0,59	0,82
MES	$-1,00 \pm 0,29$	$0,04 \pm 0,01$	0,58	0,21
PR	$-2,82 \pm 0,86$	$0,08 \pm 0,02$	0,46	0,63
ORG	$-0,34 \pm 0,12$	$0,01 \pm 0,003$	0,47	0,09
CARC	$-7,02 \pm 1,40$	$0,26 \pm 0,03$	0,77	1,02
NC	$-5,73 \pm 1,88$	$0,24 \pm 0,04$	0,60	1,38
TOT	$-12,74 \pm 3,05$	$0,50 \pm 0,06$	0,72	2,24
<i>ECC lombar (escala 0 - 5)</i>				
OM	$-5,12 \pm 1,09$	$2,36 \pm 0,36$	0,64	0,77
MES	$-1,14 \pm 0,29$	$0,60 \pm 0,09$	0,63	0,20
PR	$-3,70 \pm 0,74$	$1,58 \pm 0,24$	0,64	0,52
ORG	$-0,48 \pm 0,10$	$0,23 \pm 0,03$	0,66	0,07
CARC	$-8,07 \pm 1,28$	$4,46 \pm 0,42$	0,82	0,90
NC	$-7,15 \pm 1,72$	$4,19 \pm 0,57$	0,70	1,20
TOT	$-15,22 \pm 2,72$	$8,65 \pm 0,89$	0,80	1,90
<i>ECC caudal (escala 1 - 5)</i>				
OM	$-3,79 \pm 0,78$	$1,93 \pm 0,26$	0,70	0,70
MES	$-0,80 \pm 0,21$	$0,49 \pm 0,07$	0,68	0,19
PR	$-2,73 \pm 0,55$	$1,26 \pm 0,18$	0,67	0,50
ORG	$-0,29 \pm 0,09$	$0,17 \pm 0,03$	0,59	0,08
CARC	$-5,32 \pm 0,89$	$3,56 \pm 0,29$	0,86	0,80
NC	$-4,70 \pm 1,22$	$3,40 \pm 0,40$	0,75	1,09
TOT	$-10,02 \pm 1,86$	$6,96 \pm 0,61$	0,84	1,66
<i>Circunferência torácica (cm)</i>				
OM	$-17,26 \pm 3,29$	$0,21 \pm 0,04$	0,59	0,82
MES	$-3,58 \pm 1,00$	$0,05 \pm 0,01$	0,43	0,25
PR	$-11,16 \pm 2,38$	$0,13 \pm 0,03$	0,52	0,59
ORG	$-1,24 \pm 0,40$	$0,02 \pm 0,004$	0,35	0,10
CARC	$-28,17 \pm 5,13$	$0,37 \pm 0,06$	0,64	1,28
NC	$-25,76 \pm 6,00$	$0,34 \pm 0,07$	0,53	1,50
TOT	$-53,93 \pm 10,5$	$0,71 \pm 0,11$	0,61	2,62

^a $y = a + bx$. Todas as equações de regressão foram significativas ($P < 0,05$).

^bOM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^cTOT, total; TOT = CARC + NC.

Tabela 3. Equações de regressão^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total^c das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de espessura da gordura lombar, caudal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGCU e EGPU, respectivamente) (variável x) em ovelhas Sarda em lactação.

	Intercepto $\pm$ DP	$b \pm$ DP	R^2	DPM
<i>EGLU</i>				
OM	$-0,32 \pm 0,33$	$0,31 \pm 0,05$	0,58	0,83
MES	$0,29 \pm 0,10$	$0,07 \pm 0,02$	0,46	0,24
PR	$-0,01 \pm 0,24$	$0,20 \pm 0,04$	0,53	0,59
ORG	$0,10 \pm 0,04$	$0,02 \pm 0,01$	0,33	0,10
CARC	$2,51 \pm 0,54$	$0,54 \pm 0,09$	0,61	1,34
NC	$2,68 \pm 0,58$	$0,53 \pm 0,10$	0,56	1,45
TOT	$5,18 \pm 1,05$	$1,07 \pm 0,17$	0,61	2,62
<i>EGCU</i>				
OM	$0,10 \pm 0,36$	$0,20 \pm 0,03$	0,59	0,82
MES	$0,18 \pm 0,09$	$0,05 \pm 0,01$	0,62	0,20
PR	$-0,33 \pm 0,20$	$0,15 \pm 0,02$	0,71	0,47
ORG	$0,07 \pm 0,04$	$0,02 \pm 0,004$	0,41	0,10
CARC	$2,06 \pm 0,55$	$0,35 \pm 0,05$	0,65	1,26
NC	$2,17 \pm 0,58$	$0,35 \pm 0,05$	0,63	1,33
TOT	$4,23 \pm 1,06$	$0,70 \pm 0,10$	0,67	2,42
<i>EGPU</i>				
OM	$-0,63 \pm 0,30$	$2,54 \pm 0,26$	0,81	0,56
MES	$0,05 \pm 0,09$	$0,62 \pm 0,08$	0,74	0,17
PR	$-0,65 \pm 0,20$	$1,68 \pm 0,17$	0,81	0,37
ORG	$0,002 \pm 0,04$	$0,21 \pm 0,03$	0,67	0,07
CARC	$1,15 \pm 0,56$	$4,10 \pm 0,49$	0,76	1,06
NC	$1,06 \pm 0,52$	$4,31 \pm 0,45$	0,81	0,98
TOT	$2,21 \pm 0,94$	$8,41 \pm 0,82$	0,83	1,79

^a $y = a + bx$. Todas as equações de regressão foram significativas ($P < 0,05$).

^b OM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^c TOT, total; TOT = CARC + NC.

3.1.5. Regressões múltiplas

A inclusão de EGPU com EGLU na regressão para predição da gordura omental melhorou o R^2 de 0,81 a 0,87. A introdução do EGPU, além do ECC caudal, melhorou a predição do peso de gordura mesentérica, aumentando o valor de R^2 de 0,74 a 0,79. O peso da gordura perirrenal foi melhor predito por uma equação que incluiu a EGPU e a EGLU, aumentando o valor de R^2 de 0,81 a 0,84. A predição do peso de gordura dos órgãos não foi melhorada pela adição de qualquer outra variável pré-abate ao ECC lombar (Tabela 5).

Tabela 4. Equações de regressão^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total^c das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pós-abate de peso da carcaça quente, peso de corpo vazio, espessura da gordura lombar e caudal medida por paquímetro digital (EGLP, EGCP, respectivamente) (variável x) em ovelhas Sarda em lactação.

	Intercepto $\pm$ DP	$b \pm$ DP	R^2	DPM
<i>Peso da carcaça quente</i>				
OM	$-2,85 \pm 0,57$	$0,24 \pm 0,03$	0,76	0,63
MES	$-0,59 \pm 0,14$	$0,06 \pm 0,01$	0,77	0,16
PR	$-2,06 \pm 0,43$	$0,15 \pm 0,02$	0,69	0,48
ORG	$-0,20 \pm 0,07$	$0,02 \pm 0,003$	0,61	0,08
CARC	$-3,74 \pm 0,38$	$0,45 \pm 0,02$	0,96	0,42
NC	$-2,97 \pm 0,91$	$0,42 \pm 0,04$	0,79	1,00
TOT	$-6,71 \pm 1,10$	$0,87 \pm 0,05$	0,92	1,21
<i>Peso de corpo vazio</i>				
OM	$-3,77 \pm 0,69$	$0,14 \pm 0,02$	0,75	0,64
MES	$-0,81 \pm 0,18$	$0,04 \pm 0,004$	0,75	0,16
PR	$-2,57 \pm 0,54$	$0,09 \pm 0,01$	0,66	0,50
ORG	$-0,27 \pm 0,09$	$0,01 \pm 0,002$	0,57	0,08
CARC	$-5,12 \pm 0,75$	$0,26 \pm 0,02$	0,89	0,70
NC	$-4,59 \pm 1,08$	$0,25 \pm 0,03$	0,79	1,00
TOT	$-9,71 \pm 1,56$	$0,51 \pm 0,04$	0,88	1,44
<i>EGLU</i>				
OM	$0,43 \pm 1,12$	$0,16 \pm 0,51$	0,56	0,85
MES	$0,24 \pm 0,07$	$0,08 \pm 0,01$	0,68	0,19
PR	$-0,06 \pm 0,20$	$0,20 \pm 0,03$	0,64	0,52
ORG	$0,08 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,01$	0,51	0,09
CARC	$2,43 \pm 0,44$	$0,52 \pm 0,07$	0,72	1,14
NC	$2,68 \pm 0,51$	$0,50 \pm 0,08$	0,63	1,33
TOT	$5,10 \pm 0,88$	$1,02 \pm 0,13$	0,70	2,29
<i>EGCU</i>				
OM	$-0,01 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,05$	0,47	1,14
MES	$0,08 \pm 0,06$	$0,06 \pm 0,01$	0,63	0,28
PR	$-0,42 \pm 0,13$	$0,14 \pm 0,03$	0,57	0,76
ORG	$0,05 \pm 0,02$	$0,02 \pm 0,005$	0,38	0,11
CARC	$1,61 \pm 0,58$	$0,36 \pm 0,08$	0,60	1,74
NC	$1,80 \pm 0,45$	$0,35 \pm 0,08$	0,55	1,87
TOT	$3,41 \pm 1,56$	$0,71 \pm 0,15$	0,58	3,49

^a $y = a + bx$. Todas as equações de regressão foram significativas ($P < 0,05$).

^b OM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^c TOT, total; TOT = CARC + NC.

O peso da gordura da carcaça foi melhor predito por uma equação com três variáveis, embora a maior parte da melhoria ocorreu quando o PC foi incluído com a EGLU. Da mesma

forma, o peso de gordura dos componentes não-carcaça foi melhor predito por uma equação com três variáveis mas, neste caso, a maior parte da melhora ocorreu quando a EGPU foi incluída com a EGLU. A melhor equação para predição do peso total da gordura incluiu quatro variáveis, EGPU, ECC caudal, EGLU e PC ($R^2 = 0,96$) (Tabela 5).

Tabela 5. Equações de regressão múltipla^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total^c das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pré-abate de circunferência torácica (CT), peso corporal (PC), escore de condição corporal lombar e caudal (ECC lombar e ECC caudal, respectivamente), gordura lombar, caudal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGCU e EGPU, respectivamente) (variável x) em ovelhas Sarda em lactação.

Etapa	Variável dependente	Variável independente	Intercepto $\pm$ DP ^d	$b \pm$ DP	R^2	DPM
1	OM	EGPU	$-0,80 \pm 0,25$	$1,99 \pm 0,27$	0,81	0,56
2		EGLU		$0,13 \pm 0,04$	0,87	0,47
1	MES	EGPU	$-0,38 \pm 0,22$	$0,38 \pm 0,13$	0,74	0,17
2		ECC caudal		$0,23 \pm 0,10$	0,79	0,16
1	PR	EGPU	$-0,74 \pm 0,19$	$1,41 \pm 0,20$	0,81	0,37
2		EGLU		$0,07 \pm 0,03$	0,84	0,35
1	ORG	ECC lombar	$-0,48 \pm 0,10$	$0,23 \pm 0,03$	0,66	0,07
1	CARC	PC	$-4,82 \pm 0,67$	$0,78 \pm 0,23$	0,77	1,02
2		EGLU		$0,17 \pm 0,02$	0,94	0,67
3		EGCU		$0,14 \pm 0,03$	0,96	0,46
1	NC	EGPU	$-1,29 \pm 1,30$	$2,78 \pm 0,61$	0,81	0,98
2		EGLU		$0,19 \pm 0,07$	0,86	0,85
3		PC		$0,06 \pm 0,04$	0,88	0,81
1	TOT	EGPU	$-6,10 \pm 1,63$	$3,74 \pm 0,81$	0,83	1,79
2		ECC caudal		$1,38 \pm 0,89$	0,91	1,30
3		EGLU		$0,35 \pm 0,09$	0,94	1,12
4		PC		$0,15 \pm 0,05$	0,96	0,96

^a Todas as regressões foram significativas a $P < 0,05$.

^b OM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^c TOT, gordura total; TOT = CARC + NC.

^d O intercepto é o mesmo dentro de cada grupo de equações de predição de uma mesma variável dependente

3.2. Mensurações pós abate

3.2.1. Peso da carcaça quente

O peso da carcaça quente variou entre 10,1 e 27,2 kg, com média de 20,3 kg, correspondendo a um rendimento de carcaça ($100 \times \text{PCQ/PC}$) de $42,8 \pm 2,4$ (Tabela 1). Os

valores de R^2 para equações utilizando o PCQ variaram de 0,61 para gordura de órgãos a 0,96 para gordura da carcaça, com um valor de 0,92 para predição de gordura total (Tabela 4).

3.2.2. *Peso de corpo vazio*

O peso de corpo vazio médio foi de 40,2 kg, com uma variação entre 24,0 a 53,4 kg (Tabela 1). Os valores de R^2 para equações com o PCVZ variaram de 0,57 para gordura de órgãos para 0,89 para gordura da carcaça, com um valor de 0,88 para predição de gordura total (Tabela 4).

3.2.3. *Medições com paquímetro digital*

A espessura média da gordura medida pelo paquímetro digital na região lombar e caudal foi de 5,6 mm (intervalo de 1,0 a 13,4 mm) e 10,5 mm (intervalo de 2,6 a 19,0 mm), respectivamente (Tabela 1). Os coeficientes de determinação das equações usando EGLP como preditor variaram entre 0,51 para gordura de órgãos e 0,72 para gordura da carcaça e foram mais precisos do que as predições usando EGCP, onde os valores do R^2 variaram entre 0,38 para gordura de órgãos e 0,63 para gordura mesentérica (Tabela 4).

3.2.4. *Regressões múltiplas*

A predição do peso da gordura omental e dos órgãos, onde o PCQ foi o melhor preditor único, não foi melhorada pela adição de qualquer outra variável pós-abate. A inclusão do PCQ com a EGLP na equação de predição do peso da gordura mesentérica resultou em uma melhora na precisão (o valor de R^2 aumentou de 0,77 para 0,81). A adição do PCQ com a EGLP aumentou o valor de R^2 de 0,69 a 0,74 na equação da gordura perirrenal. O peso da gordura da carcaça foi melhor predito por uma equação com três variáveis, embora a adição de PCVZ e EGCP tenha representado uma melhoria muito menor na precisão. Para prever o peso de gordura não-carcaça, a equação desenvolvida utilizou apenas o PCQ como variável com um valor R^2 de 0,79. Por fim, para a estimativa do peso total de gordura, a inclusão do PCQ com a EGLP aumentou ligeiramente a precisão da predição e explicou 0,93 da variação (Tabela 6).

Tabela 6. Equações de regressão múltipla^a, coeficiente de determinação (R^2), valores de desvio padrão da média (DPM) para estimar os pesos dos diferentes depósitos de gordura^b (kg) e o peso total^c das gorduras da carcaça e dos componentes não-carcaça (variável y) baseado em medidas pós-abate de peso da carcaça quente (PCQ), peso de corpo vazio (PCVZ), espessura da gordura lombar e caudal medida por paquímetro digital (EGLP, EGCP, respectivamente) (variável x) em ovelhas Sarda em lactação.

Etapa	Variável dependente	Variável independente	Intercepto $\pm$ DP ^d	$b \pm$ DP	R^2	DPM
1	OM	PCQ	$-2,85 \pm 0,57$	$0,24 \pm 0,03$	0,76	0,63
1	MES	PCQ	$-0,38 \pm 0,17$	$0,04 \pm 0,01$	0,77	0,16
2		EGLP		$0,03 \pm 0,01$	0,81	0,15
1	PR	PCQ	$-1,46 \pm 0,50$	$0,10 \pm 0,03$	0,69	0,48
2		EGLP		$0,09 \pm 0,04$	0,74	0,45
1	ORG	PCQ	$-0,20 \pm 0,07$	$0,02 \pm 0,003$	0,61	0,08
1	CARC	PCQ	$-2,59 \pm 0,47$	$0,70 \pm 0,08$	0,96	0,42
2		PCVZ		$-0,17 \pm 0,05$	0,97	0,36
3		EGLP		$0,03 \pm 0,02$	0,98	0,34
1	NC	PCQ	$-2,97 \pm 0,91$	$0,42 \pm 0,04$	0,79	1,00
1	TOT	PCQ	$-5,20 \pm 1,27$	$0,73 \pm 0,08$	0,92	1,21
2		EGLP		$0,23 \pm 0,11$	0,93	1,13

^a Todas as regressões foram significativas a $P < 0.05$.

^b OM, omental; MES, mesentérico; PR, perirrenal; ORG, órgãos (coração, fígado e pulmões); CARC, carcaça; NC, não-carcaça.

^c TOT, gordura total; TOT = CARC + NC.

^d O intercepto é o mesmo dentro de cada grupo de equações de predição de uma mesma variável dependente.

4. Discussão

A circunferência torácica foi a medidade somática mais relacionada ao peso corporal e aos depósitos de gordura. Para estimar o peso vivo usando esta medida, observou-se que o PC mudou uma unidade (kg) para cada alteração de 1,3 centímetros na CT (Figura 1). Orji e Steinbach (1981) estudaram a correlação entre algumas medidas somáticas, como circunferência torácica, altura no cernelha, comprimento do corpo e comprimento dos membros anteriores em ovelhas nigerianas Dwarf, na qual eles relataram que a circunferência torácica estava quase perfeitamente correlacionada com o PC. Entre todas as medidas somáticas realizadas, apenas a circunferência cardíaca apresentou correlação significativa com todos os depósitos de gordura. No entanto, os coeficientes de determinação das equações com CT foram consistentemente mais baixos, com valores entre 0,35 para gordura de órgãos e 0,64 para gordura da carcaça, do que quando o PC, ECC lombar ou caudal foram usados. De acordo com a equação de regressão entre PC e ECC lombar (Figura 2), o PC de ovelhas

Sarda em lactação mudou em 13,6 kg por cada mudança de unidade no ECC. Este valor é 1,8 kg maior do que a mudança em PC por unidade de ECC encontrada em ovelhas Awassi (Treacher e Filo, 1995), 2,3 kg maior do que a mudança encontrada em ovelhas escocesas Blackface (Russel et al., 1969) e 6,3 kg acima da mudança encontrada nas ovelhas australianas Merinos (Guerra et al., 1972).

Usando o ECC caudal, com uma nova escala neste estudo, o PC mudou 10,7 kg para cada mudança de unidade no ECC. Teixeira et al. (1989) propuseram a deposição de gordura da cauda que emprega uma faixa de 1 a 3 pontos com intervalos de 0,50 unidades. No entanto, esses autores não apresentaram dados comparando a mudança em PC por unidade de pontuação da gordura da cauda. Para o ECC lombar, esses autores observaram que nas ovelhas da raça Aragonesa a mudança no PC por unidade de alteração no escore de condição foi de 11,3 kg. O nível de precisão obtido ao usar PC para predizer os pesos dos depósitos de gordura não foi alto, com valores de R^2 entre 0,46 e 0,59 para os depósitos perirrenais e omental, respectivamente. No entanto, para a estimativa do conteúdo de gordura da carcaça, não-carcaça e gordura total, o PC apresentou melhores estimativas (valores de $R^2 = 0,77, 0,60$ e $0,72$, respectivamente), adicionando precisão em equações de regressão múltipla para essas variáveis.

A comparação de métodos, utilizando modelos de regressão empregados para estimar as reservas de gordura, mostrou que o ECC caudal produziu o maior grau de precisão ($R^2 = 0,84$) para determinar o teor de gordura total. A precisão alcançada usando esta medida foi ligeiramente melhor do que a alcançada utilizando o método tradicional do escore de condição corporal (ECC lombar, $R^2 = 0,80$). A razão para esses resultados foi que uma grande quantidade de gordura é armazenada na região da cauda nas ovelhas da raça Sarda (Gaias, 2012). Atti e Ben Hamouda (2004) descobriram que, em cordeiros Bárbaros, a gordura da cauda estava altamente correlacionada com a gordura corporal total ($r = 0,91$). Este depósito adiposo é uma importante fonte de energia para essas raças durante períodos de falta de alimentos.

As estimativas de todos os depósitos de gordura e o teor total de gordura utilizando as medidas de ultrassonografia da espessura de gordura perirrenal atingiram níveis mais altos de precisão, com valores de R^2 entre 0,67 para gordura de órgãos e 0,83 para gordura total, do que as estimativas calculadas com a região lombar (valores R^2 variando de 0,33 para gordura de órgãos para 0,61 para gordura de carcaça) e também superiores às estimativas calculadas com a região caudal (valores de R^2 variando de 0,41 para a gordura dos órgãos a 0,71 para a gordura perirrenal). Pelo melhor dos nossos conhecimentos, o presente trabalho é o primeiro

estudo que usa a espessura de gordura perirrenal como ferramenta para prever os depósitos de gorduras em ovinos. Em um estudo anterior realizado com cabras Saanen, Härter et al. (2014) observaram que em cabras leiteiras, a gordura abdominal é a principal reserva de energia. Estes mesmos pesquisadores encontraram uma correlação significativa entre a espessura de gordura perirrenal medida por ultrassom e o PC, gordura renal, omental e não-carcaça. Portanto, os resultados do presente estudo confirmam que a espessura de gordura perirrenal é mais adequada que a lombar ou a caudal para tomar medidas de espessura de gordura usando ultrassom.

Ao considerar as medidas que podem ser tomadas após o abate, é claro que o uso do peso de carcaça quente (PCQ) e peso corporal vazio (PCVZ) resultam em uma melhoria considerável na estimativa das reservas de gordura, em comparação com o peso corporal. O uso do PCQ ou PCVZ removem o grande efeito que as diferenças nos conteúdos gastrointestinais exercem sobre o PC (neste experimento, o peso do conteúdo gastrointestinal variou de 4,0 a 10,6 kg). Mendizabal et al. (2003) também observaram que PCQ e PCVZ foram os melhores preditores pós-abate dos pesos de depósitos de gordura nas ovelhas da raça Aragonesa.

A espessura de gordura lombar medida por um paquímetro digital foi um preditor razoável dos pesos dos depósitos de gordura individuais, com valores de R^2 entre 0,51 para gordura de órgãos e 0,72 para gordura da carcaça (Tabela 4). No entanto, estes valores são superiores aos obtidos com ultrassom. Em contraste, a espessura da gordura da cauda medida pelo paquímetro digital foi menos associada aos depósitos de gordura total ($R^2 = 0,58$) do que a espessura da gordura da cauda medida por ultrassom ($R^2 = 0,67$) e também menor que a espessura de gordura lombar subcutânea usando o paquímetro ($R^2 = 0,70$). A gordura macia que cobre a cauda sofreu uma ligeira deformação no momento do corte, o que provavelmente comprometeu os valores obtidos. Outra opção para explicar esses resultados é que a cauda poderia atingir o limite biológico para depositar gordura antes da região lombar, ou seja, as ovelhas podem continuar acumulando gordura no corpo, mas essa acumulação não é seguida por um aumento na gordura da cauda, como mostrado no trabalho de Gaías (2012) em ovelhas Sarda não gestantes e não lactantes, com uma tendência curvilínea em formato de plateau entre a gordura caudal e gordura corporal total.

Na análise de regressões múltiplas, o peso de carcaça quente foi incluído como a primeira variável em todos os depósitos de gordura. Em alguns casos, como na gordura omental, gordura dos órgãos e na gordura da carcaça, o PCQ foi a única variável utilizada (Tabela 6). Estes resultados concordam com os obtidos por Mendizabal et al. (2003), os

quais observaram que o peso da carcaça quente constitui-se na a variável pós-abate mais utilizada para predizer os depósitos de gordura nas ovelhas da raça Aragonesa, confirmando a importância dessa medida simples de ser utilizada na estimativa dos depósitos de gordura.

Um limite desse trabalho é representado pelo fato de que o único parâmetro usado para a avaliação do modelo é o coeficiente de determinação, enquanto que outros parâmetros podem ser usados para avaliar os melhores preditores (Tedeschi et al., 2006), mas também consiste no indicador mais utilizado para equações de regressão empíricas. Outras abordagens estatísticas podem ser usadas para mostrar a contribuição de cada parâmetro para explicar a variabilidade das reservas corporais. Em particular, a análise multivariada pode ressaltar um ponto de vista diferente e revelar relações importantes entre os preditores e a composição corporal, além de superar a multicolinearidade entre preditores múltiplos. Por outro lado, o estudo atual foi planejado para obtenção de um método rápido e simples para ser usado no campo. Nesse sentido, uma abordagem multivariada exigirá um número muito maior de medidas e pontuações de animais que aumentarão significativamente o tempo requerido em condições de campo, enquanto a regressão única demonstrou estimativas de alta precisão de vários parâmetros.

Considerando os principais resultados obtidos com a análise de regressão, as equações recomendadas a serem utilizadas a nível de campo, quando o ultrassom não está disponível, podem ser resumidas em:

- (8) OM: $1,22 + 0,97 \times ECC_c - 0,10 \times CC + 0,10 \times PC$ ($R^2 = 0,84$)
- (9) MES: $-1,14 + 0,42 \times ECC_c + 0,03 \times AC - 0,04 \times AE$ ($R^2 = 0,82$)
- (10) PR: $0,87 + 1,15 \times ECC_c - 0,09 \times LO - 0,05 \times AE$ ($R^2 = 0,81$)
- (11) ORG: $-0,35 + 0,25 \times ECC_l - 0,03 \times CG + 0,02 \times LG$ ($R^2 = 0,78$)
- (12) CARC: $-2,78 + 2,11 \times ECC_c - 0,12 \times AE + 0,12 \times PC$ ($R^2 = 0,93$)
- (13) NC: $4,31 + 1,91 \times ECC_c - 0,18 \times CC + 0,15 \times PC$ ($R^2 = 0,89$)
- (14) TOT: $-2,07 + 4,38 \times ECC_c - 0,30 \times LO + 0,19 \times PC$ ($R^2 = 0,93$)

5. Conclusões

O ECC caudal é uma ferramenta útil para estimar os depósitos de gordura em ovelhas Sarda em lactação, apresentando resultados melhores que os obtidos pelo ECC convencional (mensurado na região lombar). Em relação ao uso de ultrassom, as melhores estimativas foram observadas quando a medição foi realizada na região perirrenal. A melhor variável para predizer o conteúdo de gordura na carcaça e gordura total foi o peso da carcaça quente

com alta precisão ($r^2 = 0,96$ e $0,92$, respectivamente). No entanto, as metodologias capazes de estimar os pesos das reservas de gordura em animais vivos são preferíveis e, neste sentido, novas metodologias como o ECC caudal e a espessura de gordura perirrenal com uso de ultrassom se confirmaram como estimadores precisos das reservas de gordura em ovelhas leiteiras da raça Sarda.

Referências bibliográficas

- AOAC International. 2005. Official Methods of Analysis, 18th ed. Assoc. of Offic. Anal. Chem. Int., Gaithersburg, MD.
- Atti, N., Ben Hamouda, M., 2004. Relationships among carcass composition and tail measurements in fat-tailed Barbarine sheep. *Small Rumin. Res.* 53, 151–155.
- Berg, R.T., Butterfield, R.M., 1966. Muscle: bone ratio and fat percentage as measures of beef carcass composition. *Anim. Sci.* 8, 1–11.
- Bocquier, F., Guillouet, P., Barillet, F., Chilliard, Y., 1999. Comparison of three methods for the in vivo estimation of body composition in dairy ewes. *Annales de Zootechnie* 48, 297–308.
- Cam, M.A., Olfaz, M., Soydan, E., 2010. Possibilities of using morphometrics characteristics as a tool for body weight prediction in Turkish hair goats (Kilkeci). *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 5, 52–59.
- Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell, A.N., Van Soest, P.J., 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82, 149–169.
- Delfa, R., Blasco, I., Colomer-Rocher, F., Teixeira, A., 1992. Ultrasonic estimates of fat thickness, C measurement and *longissimus dorsi* depth in Rasa Aragonesa ewes with same body condition score, in: Purroy, A. (Ed.), *Etat corporel des brebis et chèvres*. CIHEAM, Zaragoza, 25–30.
- Gaias, G., 2012. Body condition score and body composition of Sarda dairy ewes. Thesis (Animal Science Doctorate). Università degli studi di Sassari, Sassari, Italy.
- Guerra, J.C., Thwaites, C.J., Edey, T.N., 1972. Assessment of the proportion of chemical fat in the bodies of live sheep. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 78, 147–149.
- Härter, C.J., Silva, H.G.O., Lima, L.D., Castagnino, D.S., Rivera, A.R., Neto, O.B., Gomes, R.A., Canola, J.C., Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A., 2014. Ultrasonographic measurements of kidney fat thickness and *Longissimus* muscle area in predicting body composition of pregnant goats. *Anim. Prod. Sci.* 54, 1481–1485.

- INRA, 1989. Ruminant nutrition. Recommended allowances and feed tables. R. Jarrige, ed. INRA, Paris.
- Kamalzadeh, A., Koops, W.J., van Bruchem, J., Tamminga, S., Zwart, D., 1998. Feed quality restriction and compensatory growth in growing sheep: development of body organs. *Small Rumin. Res.* 29, 71–82.
- Kempster, A.J., 1981. Fat partition and distribution in the carcasses of cattle, sheep and pigs: A review. *Meat Sci.* 5, 83–98.
- Kenyon, P.R., Morel, P.C.H., Morris, S.T., 2004. Effect of liveweight and condition score of ewes at mating, and shearing mid-pregnancy, on birthweights and growth rates of twin lambs to weaning. *N. Z. Vet. J.* 52, 145–149.
- Mendizabal, J.A., Delfa, R., Arana, A., Eguinoa, P., González, C., Treacher, T., Purroy, A., 2003. Estimating fat reserves in Rasa Aragonesa ewes: A comparison of different methods. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 695–701.
- Orji, B.I., Steinbach, J., 1981. Post-weaning growth and development of Nigerian Dwarf sheep. *Trop. Anim. Health Prod.* 13, 101–106.
- Ronchi, B., Bernabucci, U., and Bertoni, G. 1993. Valutazione comparata del metodo body condition score (BCS) nelle razze ovine Sarda e Lacune. *Proc. XLVII congress S.I.S.VET (Italy)*, 88: 1985–1989.
- Scholz, A.M., Bünger, L., Kongsro, J., Baulain, U., Mitchell, A.D., 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal* 9, 1250–64.
- Russel, A.J.F., Doney, J.M., Gunn, R.G., 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 72, 451–454.
- Tedeschi, L.O., 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems* 89, 225–247.
- Teixeira, A., Delfa, R., Colomer-Rocher, F., 1989. Relationships between fat depots and body condition score or tail fatness in the Rasa Aragonesa breed. *Anim. Sci.* 49, 275–280.
- Treacher, T., Filo, S., 1995. Relationships between fat depots and body condition score or live weight in Awassi ewes, in: Purroy, A. (Ed.), *Body condition of sheep and goats: Methodological aspects and applications*, CIHEAM, Zaragoza, 13–17.

CAPÍTULO 4

Estimativa da composição corporal de cabras Saanen e ovelhas Sarda em lactação

RESUMO

O objetivo deste estudo foi comparar metodologias indiretas para estimar a composição corporal química de cabras e ovelhas leiteiras em lactação. Foram utilizadas cabras Saanen ($n = 26$; PV $56,4 \pm 6,8$ kg, média $\pm$ DP) e ovelhas Sarda ($n = 26$; PV $46,8 \pm 6,9$ kg, média $\pm$ DP). Foram utilizadas 18 medidas *in vivo* para estimar a quantidade e a proporção de água, proteína, gordura e energia dos componentes vazios do corpo. As medidas tomadas pré-abate foram: altura da cernelha; altura do quadril; comprimento da garupa; largura da garupa; profundidade do tórax; largura dos ombros; circunferência torácica; comprimento corporal; altura do esterno; peso corporal (PV); escore de condição corporal avaliado na região lombar (ECC_l), esternal (ECC_e - cabras) e caudal (ECC_c - ovelhas); espessura de gordura medida por ultrassom na região lombar (EGLU), esternal (EGEU – cabras), caudal (EGCU – ovelhas) e perirenal (EGPU). As medidas pós-abate foram: peso de carcaça quente (PCQ); peso de corpo vazio (PCVZ); espessura de gordura medida por paquímetro digital na região lombar (EGLP), esternal (EGEP - cabras) e caudal (EGCP – ovelhas). Foram realizadas análises de regressões lineares e múltiplas. As cabras apresentaram ECC inferior da região lombar do que as ovelhas (2,64 vs 3,01, respectivamente), acompanhada também de EGLU menor (média de 2,3 vs 5,3 mm, respectivamente). Os componentes não-carcaça das cabras Saanen foram 18% mais pesados do que os das ovelhas Sarda. No entanto, apenas uma pequena diferença foi observada quando os componentes foram comparados em relação ao PCVZ. As ovelhas Sarda mostraram um conteúdo significativamente menor de água e minerais na carcaça, nos CNC e no PCVZ do que as cabras Saanen. Em contraste, quando os componentes foram expressos como proporções do total na carcaça, o teor de proteína, gordura e energia foram maiores nas ovelhas do que nas cabras. Entre todas as medidas corporais realizadas, a circunferência torácica foi a variável mais correlacionada com a composição química do corpo vazio. Em cabras, a EGPU explicou a maior quantidade de variação no peso total de proteína ($R^2 = 0,67$), gordura ($R^2 = 0,64$), energia ($R^2 = 0,65$) e nas proporções de proteína ($R^2 = 0,68$), gordura ($R^2 = 0,64$) e energia ($R^2 = 0,68$). Nas ovelhas, o ECC caudal foi o melhor preditor das quantidades e das proporções de proteína, gordura e energia, explicando mais de 80% destas variações. As equações de regressão múltipla foram mais precisas em ovelhas do que nas cabras em termos de coeficiente de determinação, variando de 0,69 a 0,97 para a quantidade de minerais e energia, respectivamente, nas ovelhas Sarda e de 0,66 a 0,95 para minerais e água, respectivamente, em cabras Saanen. Esses resultados confirmam que a

composição corporal pode ser predita em cabras Saanen e nas ovelhas Sarda lactantes com alta precisão utilizando equações de regressão múltipla.

Palavras-chave: cabras, escore de condição corporal, medidas corporais, ovelhas, ultrassom

ABSTRACT

The aim of this study was to compare indirect methodologies to estimate the chemical body composition in lactating dairy goats and ewes. Saanen goats ($n = 26$; BW 56.4 ± 6.8 kg, mean $\pm$ SD) and Sarda ewes ($n = 26$; BW 46.8 ± 6.9 kg, mean $\pm$ SD) were used. Eighteen *in vivo* measurements were used to estimate the amount and proportion of water, protein, fat and energy of empty body components. The measurements were: withers height; sternum height; shoulder width; heart girth; height of rump; depth of chest; pelvis width; body length; BCS assessed in the lumbar, sternal (in goats) and tail (BCS_t – in ewes) regions; fat thickness measured by ultrasound in the lumbar, sternal (in goats), tail (in ewes) and perirenal (FTUS_{pr}) regions. Linear and multiple regressions were fit to data collected. Goats presented lower BCS from lumbar region than sheep (2.64 vs 3.01, respectively) accompanied also by lower FTUS_l (mean of 2.3 vs 5.3 mm, respectively). Non-carcass components from Saanen goats were 18% heavier than that from Sarda ewes. However, just little difference was observed when components were compared in relation to empty body weight. Sarda ewes showed significantly ($P < 0.05$) lower content of water and ash in carcass, non-carcass and empty body mass than Saanen goats. In contrast, when the components were expressed as proportions of total in carcass, protein, fat and energy were higher in ewes than in goats ($P < 0.05$). These same patterns of results repeated when evaluating empty body composition. Among all somatic measurements taken, heart girth was the most correlated variable with empty body chemical composition. In goats, the FTUS_{pr} explained the largest amount of variation in total protein content ($R^2 = 0.67$), fat ($R^2 = 0.64$), energy ($R^2 = 0.65$), protein proportion ($R^2 = 0.68$), fat proportion ($R^2 = 0.64$) and energy proportion ($R^2 = 0.68$). In ewes, the BCS_t was the best predictor of protein, fat and energy amount and proportion explaining more than 80% of the variation. Multiple regression equations were more accurate in ewes than in goats with R^2 varying from 0.69 to 0.97 for the amount of ash and energy, respectively in Sarda ewes and from 0.66 to 0.95 for ash and water, respectively in Saanen goats. These results confirm that body composition can be predicted in lactating Saanen goats and Sarda ewes with high precision using multiple regression equations.

Keywords: body condition score, somatic measurements, goats, sheep, ultrasound

1. Introdução

A determinação da composição corporal é uma das maiores dificuldades quando se trabalha com animais em lactação. Os métodos utilizados para avaliar a composição corporal podem ser classificados como métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos envolvem o abate, a separação e a dissecação de todas as partes do corpo do animal para determinar sua composição física e química (Scholz et al., 2015), enquanto que os métodos indiretos envolvem a predição da composição corporal com base em parâmetros *in vivo* (Bautista-Díaz et al., 2017). Além disso, os métodos diretos são caros, devido ao alto valor de mercado de animais em lactação e perda de pelo menos metade da carcaça (Mendizabal et al., 2011), extremamente laborioso e demorado, exigindo um grande número de pessoas e análises de laboratório (Silva et al., 2005). Por estas razões, métodos indiretos são normalmente preferíveis para estimar a composição corporal.

Entre os métodos indiretos, o escore de condição corporal (ECC) é amplamente utilizado na produção pecuária para estimar o estado nutricional dos animais. No entanto, este método foi desenvolvido por Russel et al. (1969) usando raças de ovelhas de corte e, de acordo com Mendizabal et al. (2011), a distribuição da gordura corporal dos animais leiteiros difere consideravelmente das raças de carne. De fato, Frutos et al. (1995) relataram que ovelhas Churra (raça leiteira) apresentavam maior porcentagem de gordura interna do que as ovelhas Merino (raça de carne). Ao comparar duas raças de ovelhas leiteiras, Ronchi et al. (1993) observaram que as ovelhas Sarda com um ECC igual a 2,0 apresentaram a mesma quantidade de gordura visceral do que as ovelhas Lacaune com ECC igual a 3,0, concluindo que existem grandes diferenças na deposição de gordura entre essas duas raças, com tendência para a raça Sarda acumular mais gordura visceral. Estes resultados corroboram com os de Wood et al. (1980) e Butler-Hogg (1984), que relataram diferenças significativas entre raças de ovelhas da mesma aptidão produtiva.

Uma dicotomia semelhante de partição de gordura entre os depósitos de gordura visceral e de carcaça foi observada em caprinos também. Oman et al. (2000) encontraram diferenças entre raças de cabras na forma como a gordura é depositada, sugerindo que a falha em incluir todos os depósitos intra-abdominais levaria a uma subestimação da composição corporal. Na verdade, Aumont et al. (1994) relataram precisão moderada na estimativa do tecido adiposo total em cabras Crioulas usando o escore da condição corporal ($R^2 = 0,56$). Recentemente, em ovelhas Pelibuey, Bautista-Díaz et al. (2017) relataram alta precisão de equações para prever a composição corporal usando outro método indireto, as medidas somáticas. No entanto, os autores também apontaram que os modelos gerados para essa raça

de carne não devem ser considerados para animais de outras raças, sexo e condições fisiológicas.

Nas últimas décadas, os recentes avanços tecnológicos permitiram o uso de técnicas de ultrassom, um método alternativo, para estimar a composição da carcaça (Silva et al., 2005). Teixeira et al. (2006) relataram que características de carcaça e depósitos de gordura corporal em machos Churra Galega Bragançana (raça ovina de carne) podem ser estimados usando ultrassonografia de forma satisfatória. No entanto, a determinação da espessura da gordura subcutânea e, especialmente, dos depósitos viscerais é muito difícil de realizar em cabras (Aumont et al., 1994) e ovelhas (Mendizabal et al., 2003) de aptidão leiteira. Härter et al. (2014) usou a espessura de gordura perirrenal medida por ultrassom como uma ferramenta para estimar os depósitos de gordura em cabras Saanen não lactantes e gestantes, e relatou alta precisão ao estimar a composição corporal usando além da espessura de gordura renal, o peso corporal e a área do músculo *Longissimus dorsi*.

No geral, vários métodos foram desenvolvidos para avaliar a composição química corporal em pequenos ruminantes, mas poucas informações existem comparando duas espécies de raças leiteiras e métodos que podem ser facilmente aplicados para estimar a composição corporal. Assim, este trabalho foi conduzido com o objetivo de comparar metodologias *in vivo* como preditores da composição corporal e desenvolver equações que poderiam ser usadas para estimar a composição química em cabras Saanen e ovelhas Sarda em lactação.

2. Material e métodos

2.1 Animais

O estudo foi realizado utilizando 26 cabras Saanen e 26 ovelhas Sarda em lactação (de 2 a 6 lactações), selecionadas aleatoriamente do rebanho experimental da fazenda de pesquisa Agris de Bonassai, em Olmedo (Noroeste da Sardenha, Itália, 40°40'16.215" N, 8°22'0.392" E, 32 m acima do mar). Os animais foram escolhidos de um grupo maior alimentado com uma dieta de alto teor de amido, homogêneo para data de parto, idade (6 a 7 anos) e produção leiteira. As cabras e as ovelhas eram clinicamente saudáveis e tinham um peso corporal médio (PC) de $56,4 \pm 6,8$ kg e $46,8 \pm 6,9$ kg, respectivamente. Os animais foram ordenhados duas vezes por dia e tiveram acesso *ad libitum* para alimentação e água até o abate. Os cuidados e uso dos animais seguiram a legislação nacional italiana e os regulamentos de ética (DL. N° 116, 27/01/1992).

1.2 Medidas somáticas, peso corporal e escore de condição corporal

As seguintes medidas somáticas, com base em Cam et al. (2010), foram feitas em todos os animais 16 horas antes do abate: altura da cernelha (AC), altura do quadril (AQ), comprimento da garupa (CG), largura da garupa (LG), profundidade do tórax (PT), largura dos ombros (LO), circunferência torácica (CT), comprimento do corpo (CC), e a altura do esterno (AE). As medições de AC, AQ, PT, CC e AE foram tomadas com uma barra métrica Lydtin (tubo de metal de 80 a 230 cm de comprimento). A LG e a LO foram medidos com um arco de espessura, e CG e CT com um medidor linear. O peso corporal (PC) foi medido com uma balança eletrônica imediatamente após o abate (o sangue foi coletado e pesado).

Dois profissionais experientes avaliaram o ECC no final do estudo, pouco antes do abate, na região lombar para ambas as espécies, usando a escala de referência (0 a 5) proposta por Russel et al. (1969); na região esternal para cabras usando a escala de referência (0 a 5) proposta Hervieu et al. (1992) e na região caudal usando a técnica desenvolvida por Teixeira et al. (1989) (escala de 1 a 3) adaptada a uma escala de cinco pontos, definida como segue:

- Grau 1: todas as vértebras da cauda podem ser sentidas facilmente e não há cobertura de gordura.
- Grau 2: os processos espinhosos e transversais das vértebras da cauda são proeminentes, mas suaves e há pouca cobertura de gordura.
- Grau 3: os processos espinhosos e transversais têm apenas uma pequena elevação, são suaves e arredondados. O processo individual pode ser sentido apenas com pressão firme e há cobertura de gordura moderada.
- Grau 4: os processos espinhosos só podem ser detectados com alta pressão. O processo transversal da vértebra da cauda não pode ser sentido e há uma cobertura grossa de gordura.
- Grau 5: os processos espinhosos e transversais não podem ser sentidos mesmo com pressão firme. A cauda é repleta de uma capa de gordura muito grossa.

Em todos os casos do escore de condição corporal (realizados na região lombar, esternal e caudal), os intervalos de escore foram de 0,25 unidades.

2.3 Ultrassonografia

A espessura da gordura foi mensurada simultaneamente com as medidas anteriores, utilizando um aparelho de ultrassom em tempo real MyLab One (Esaote S.p.A., Genova, Itália). A tricotomia foi realizada na área a ser medida e foi utilizado gel como agente de

acoplamento para melhorar a qualidade das imagens. As imagens de ultrassom foram tiradas duas vezes em cinco locais anatômicos diferentes: (1) espessura da gordura lombar (EGLU), medida na área do músculo *Longissimus* ao redor da 13ª vértebra torácica (última costela); (2) espessura de gordura esternal (EGEU) em cabras, medida usando uma sonda de ultrassom posicionada perpendicularmente à 3ª vértebra do esterno; (3) espessura da gordura caudal (EGCU) nas ovelhas, medida usando um transdutor posicionado perpendicularmente à 2ª vértebra coccígea; (4) espessura de gordura perirrenal (EGPU), medida atrás da 13ª costela no lado direito do corpo, de acordo com Härter et al. (2014); e (5) área do músculo *Longissimus* (AML), determinada entre a 12ª e a 13ª costela no lado direito do corpo usando um ultrassom colocado perpendicularmente ao músculo *Longissimus dorsi*. A AML foi calculada utilizando a seguinte equação: $AML (cm^2) = [(A/2 \times B/2) \times \pi]$, de acordo com Costa et al. (2012), onde A é o comprimento máximo do músculo *Longissimus* (cm), B é a profundidade máxima do músculo *Longissimus* (cm) e π é uma constante matemática (3.14159).

As imagens foram obtidas com uma sonda linear SL3323 VET (matriz de 13–6 Mhz e 40 mm de comprimento, Esaote SpA, Genova, Itália) de 7,5 Mhz e um acessório acústico de silicone (standoff) para EGLU, EGEU, EGCU e AML, e com uma sonda convexa SV3513 VET (matriz de 10–5 Mhz e 50 mm de comprimento, Esaote SpA, Genova, Itália) de 5 Mhz para medições da EGPU. As imagens foram armazenadas em um computador e, posteriormente, analisadas com o software MyLab Desk™/Desk (Esaote S.p.A., Genova, Itália) para obter as medidas de espessura de gordura e a AML.

2.4 Procedimentos de abate e análises laboratoriais

As cabras e as ovelhas foram abatidas sob anestesia geral e exsanguinadas pela veia jugular nas instalações do Hospital do Departamento Veterinário da Università degli studi di Sassari (Sassari, Sardenha, Itália). Os pesos do sangue, cabeça, pele, pés, cauda, vísceras vazias (rúmen-retículo, omaso, abomaso, intestino delgado e intestino grosso), mesentério, gordura interna, fígado, coração, rins, baço, pulmões, língua, esôfago, traquéia e sistema reprodutivo e carcaça quente foram registrados. Os compartimentos do trato digestivo foram isolados, pesados, esvaziados e pesados novamente. O peso corporal vazio (PCVZ) foi calculado pela diferença do peso vivo e o conteúdo do trato gastrointestinal, bexiga e vesícula biliar.

O lado esquerdo de cada carcaça e todos os componentes não-carcaça (trato digestivo, órgãos, trato reprodutivo, glândula mamária, cabeça, pés, lã e pele) foram mantidos em sacos de polietileno separados, congelados a $-20^{\circ} C$ até a preparação para análise. Todos os

componentes congelados (carcaça e não carcaça) foram cortados em pedaços de 5–6 cm³ enquanto ainda estavam congelados e depois picados e triturados em um moinho (TC 42 Golia HP 10 HS, La Felsinea S.R., Padova, Itália). Depois de misturar o material com um misturador mecânico (ME 30, La Felsinea S.R., Padova, Itália), foram retiradas três amostras replicadas de aproximadamente 200 g. As amostras foram pesadas, congeladas a –80° C por um ultra-freezer e posteriormente analisadas por matéria seca via liofilização (Lyolab 3000, Jouan Nordic, Allerød, Dinamarca). Em seguida, as amostras foram trituradas novamente em um moedor (Knifetec Mill 1095, Foss, Höganäs, Suécia) e analisadas separadamente (componentes carcaça e não-carcaça). A gordura foi determinada pela extração contínua das amostras com éter de petróleo por 6 horas (método 920.39, Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2005). O teor de proteína bruta foi medido de acordo com o método de Kjeldahl (método 988.05; AOAC, 2000) e o teor de cinzas usando uma mufla a 550° C durante 6 horas (método 942.05; AOAC, 2000). A concentração de energia para gordura e proteína foi assumida como sendo 39,3 e 23,1 MJ/kg, respectivamente (ARC, 1980).

2.5 Análises estatísticas

Média, intervalo e variância foram determinados para todos os métodos indiretos testados. Os componentes não-carcaça e a massa e composição do tecido foram analisados por ANOVA e as diferenças entre as médias foram testadas usando o teste de Tukey com um nível de significância de 5%. Para avaliar a precisão das estimativas da composição química do corpo inteiro usando todas as metodologias descritas acima, foram desenvolvidas equações de regressão simples usando o procedimento GLM do software SAS (versão 9.2, SAS System Inc., Cary, NC, EUA). Para estimar a composição química e a energia do corpo vazio, foram desenvolvidas análises de regressão múltiplas usando o procedimento REG com o método STEPWISE da SAS. Finalmente, propusemos equações simples para estimar a gordura em condições de campo sem ultrassom, utilizando também o procedimento REG com o método STEPWISE de SAS.

3. Resultados

3.1 Dados gerais

Houve um intervalo (range) considerável dos valores obtidos na maioria das variáveis estudadas (Tabela 1). As medidas somáticas, como a altura da cernelha, indicam que as cabras Saanen eram mais altas do que as ovelhas Sarda. As cabras eram aproximadamente 20% mais pesadas, mas apresentaram ECC da região lombar inferior (2,64 vs 3,01, respectivamente),

acompanhada por uma menor espessura de gordura da região lombar medida por ultrassom (média de 2,3 vs 5,3 mm, respectivamente), em comparação com as ovelhas. Nas cabras Saanen, o valor mínimo da área do músculo *Longissimus* foi 54% menor e o valor máximo 75% maior do que a média, enquanto que nas ovelhas Sarda o valor mínimo foi 85% menor e o máximo de 37% maior do que a média.

Tabela 1. Medidas somáticas, peso corporal, escore de condição corporal (ECC) medido na região lombar, caudal e esternal e espessura da gordura lombar, esternal, caudal e perirrenal medidas por ultrassom (EGLU, EGEU, EGCU e EGPU, respectivamente) em cabras Saanen e ovelhas Sarda lactantes.

	Cabras Saanen			Ovelhas Sarda		
	Média	Intervalo	DP	Média	Intervalo	DP
Medidas somáticas (cm)						
Altura da cernelha	70,9	65,0 – 77,0	3,4	62,8	58,0 – 68,0	2,5
Altura do quadril	73,6	69,0 – 82,0	3,3	67,2	60,0 – 74,0	3,4
Comprimento da garupa	21,6	17,5 – 28,0	3,0	18,8	15,0 – 24,0	2,2
Largura da garupa	18,7	16,0 – 25,0	1,9	19,4	15,0 – 26,0	2,5
Profundidade do tórax	35,1	29,0 – 39,0	2,1	30,7	25,0 – 34,0	1,8
Largura dos ombros	18,1	13,5 – 24,0	2,5	19,3	16,5 – 24,0	2,1
Circunferência torácica	94,2	86,0 – 104,0	4,8	90,9	78,0 – 98,0	4,5
Comprimento do corpo	74,7	68,0 – 90,0	4,7	65,7	56,0 – 75,0	4,9
Altura do esterno	35,3	28,0 – 44,0	3,9	30,7	25,0 – 40,0	3,8
Peso corporal (kg)	56,4	43,6 – 69,4	6,8	46,8	31,4 – 58,2	6,9
ECC lombar (escala 0 – 5)	2,64	1,84 – 2,96	0,3	3,01	1,88 – 3,75	0,4
ECC esternal (escala 0 – 5)	2,64	1,75 – 3,00	0,3	-	-	-
ECC caudal (scale 1 – 5)	-	-	-	3,00	1,29 – 3,69	0,5
EGLU (mm)	2,3	1,1 – 3,5	0,6	5,3	1,4 – 10,1	3,0
EGEU (mm)	22,7	9,7 – 27,9	4,5	-	-	-
EGCU (mm)	-	-	-	9,4	2,4 – 19,4	4,8
EGPU (cm)	1,21	0,44 – 2,34	0,1	1,12	0,26 – 2,01	0,4
Área músculo <i>Longissimus</i> (cm ²)	9,1	5,9 – 15,9	2,4	8,5	4,6 – 11,7	1,9

3.2 Carcaça e componentes não-carcaça

A carcaça e todos os componentes não-carcaça, com exceção da pele + lã e gordura visceral, foram mais pesados ($P < 0,05$) em cabras Saanen do que nas ovelhas Sarda (Tabela 2). O peso da pele foi maior ($P < 0,05$) em ovelhas do que em cabras, porque as ovelhas tinham resquícios de lã. Os componentes não-carcaça das cabras Saanen foram 18% mais pesados que os das ovelhas Sarda. No entanto, apenas uma pequena diferença foi observada quando os componentes foram comparados como porcentagem do PCVZ. Em particular, a cabeça + extremidade distal (pés), úbere e retículo-rumen + omaso foram significativamente

maiores em cabras do que em ovelhas, enquanto o rendimento de pele + lã foi maior nas ovelhas Sarda do que nas cabras Saanen ($P < 0,05$).

Tabela 2. Efeito da espécie na comparação da carcaça e dos componentes não-carcaça (CNC) e rendimento em relação ao peso de corpo vazio em cabras Saanen e ovelhas Sarda lactantes.

Item	Espécie		Valor de <i>P</i>	EPM
	Cabras	Ovelhas		
Peso (kg)				
Carcaça	24,3 ^a	20,3 ^b	0,008	1,1
Cabeça + pés	4,1 ^a	3,0 ^b	<0,001	0,1
Sangue	3,0 ^a	2,7 ^b	0,040	0,2
Pele + lã	2,4 ^b	2,9 ^a	<0,001	0,1
Úbere	2,4 ^a	1,5 ^b	<0,001	0,9
Fígado	1,3 ^a	1,0 ^b	<0,001	0,1
Rins	0,2 ^a	0,1 ^b	<0,001	0,01
Rúmen-retículo + omaso	1,7 ^a	1,2 ^b	<0,001	0,1
Abomaso + intestine Delgado	1,4 ^a	1,0 ^b	<0,001	0,1
Intestino grosso	0,7 ^a	0,5 ^b	<0,001	0,1
Outros órgãos	1,6 ^a	1,5 ^b	0,023	0,01
Gordura visceral	3,8	4,0	0,782	0,6
CNC	23,5 ^a	19,9 ^b	0,001	1,0
Rendimento em relação ao PCVZ (%)				
Carcaça	50,1	50,9	0,260	0,7
Cabeça + pés	8,8 ^a	7,6 ^b	<0,001	0,3
Sangue	6,3	6,6	0,267	0,3
Pele + lã	5,0 ^b	7,4 ^a	<0,001	0,4
Úbere	5,0 ^a	4,0 ^b	0,013	0,4
Fígado	2,7	2,5	0,286	0,1
Rins	0,4	0,4	0,129	0,03
Rúmen-retículo + omaso	3,5 ^a	3,1 ^b	0,010	0,2
Abomaso + intestine Delgado	2,9	2,7	0,209	0,2
Intestino grosso	1,5	1,5	0,815	0,1
Outros órgãos	3,5	3,8	0,181	0,2
Gordura visceral	7,6	9,1	0,207	1,2
CNC	49,9	49,1	0,259	0,7

^{a,b} Valores diferentes em uma mesma linha são significativos ($P < 0,05$) de acordo com o teste Tukey. Outros órgãos: Coração, traquéia, peritônio, sistema reprodutivo, linfonodos e baço; Gordura visceral: omental, mesentérica, perirrenal e de órgãos; CNC: soma de todos os componentes não-carcaça.

3.3 Massa e concentração dos constituintes químicos e da energia

As ovelhas Sarda apresentaram um teor de água e cinzas significativamente menor ($P < 0,05$) na carcaça, constituintes não-carcaça e na massa corporal vazia do que as cabras Saanen (Tabela 3). Em contraste, a proteína, a gordura e a energia na massa da carcaça foram numericamente maiores nas ovelhas do que nas cabras, mas as diferenças entre as duas espécies não foram estatisticamente significativas ($P > 0,05$), provavelmente devido ao alto erro padrão dos dados. Quando a composição da carcaça foi expressa como uma proporção do total (Tabela 3), a água e as cinzas continuaram sendo maiores nas cabras do que nas ovelhas

($P < 0,001$), enquanto a proteína, a gordura e a energia eram maiores nas ovelhas do que nas cabras ($P < 0,001$). Estes mesmos padrões foram observados quando os componentes foram comparados como porcentagem do corpo vazio. Por outro lado, o teor de água nos componentes não-carcaça foi maior em cabras Saanen do que em ovelhas Sarda (56% vs 50%; $P = 0,020$), enquanto que o conteúdo energético nos componentes não-carcaça foi maior nas ovelhas do que nas cabras (16 MJ/kg vs 14 MJ/kg; $P = 0,048$).

3.4 Composição química do corpo vazio estimada por diferentes métodos indiretos

Considerando a quantidade de variação dos componentes do corpo vazio explicados por métodos indiretos (Tabela 4), as estimativas tendem a ser mais precisas (com base no R^2) nas ovelhas Sarda do que nas cabras Saanen. A água foi claramente o componente do corpo estimado com menor precisão usando o ECC, medidas somáticas e medidas de ultrassom. Para cabras e ovelhas, o PC explicou a maior quantidade da variação no teor total de água ($R^2 = 0,66$ e $0,63$, respectivamente, $P < 0,001$), seguido da circunferência torácica ($R^2 = 0,58$ e $0,46$, respectivamente, $P < 0,01$). Entre todas as medidas somáticas realizadas, a circunferência torácica foi a variável mais correlacionada com a composição química do corpo vazio. O escore da condição corporal e as medidas de ultrassom foram estimadores fracos da quantidade de água. Por outro lado, a melhor estimativa da proporção de água foi obtida usando a espessura de gordura perirrenal medida por ultrassom em cabras ($R^2 = 0,67$) e pelo ECC na região caudal em ovelhas ($R^2 = 0,84$).

Em cabras, a espessura de gordura perirrenal medida por ultrassom explicou a maior quantidade de variação na quantidade de proteína ($R^2 = 0,67$), gordura ($R^2 = 0,64$) e energia ($R^2 = 0,65$) e na proporção de proteína ($R^2 = 0,68$), gordura ($R^2 = 0,64$) e energia ($R^2 = 0,68$). Nas ovelhas, o ECC caudal foi o melhor preditor da quantidade e proporção de proteína, gordura e energia, explicando mais de 80% destas variações.

Tabela 3. Composição química da carcaça, componentes não-carcaça e do peso de corpo vazio em cabras Saanen e ovelhas Sarda em lactação.

Item	Espécie		DP	Valor de P
	Cabras	Ovelhas		
Massa de carcaça, em kg				
Água	14,6 ^a	10,4 ^b	0,4	<0,001
Proteína bruta	3,2	3,7	0,3	0,145
Gordura	4,6	5,4	0,5	0,130
Cinzas	1,8 ^a	0,9 ^b	0,1	<0,001
Energia (MJ)	255	296	26,7	0,134
Massa não-carcaça, em kg				
Água	13,9 ^a	10,8 ^b	0,5	<0,001
Proteína bruta	4,7	4,8	0,4	0,858
Gordura	5,6	5,5	0,6	0,842
Cinzas	0,9 ^a	0,7 ^b	0,1	0,025
Energia (MJ)	329	326	33,1	0,934
Massa de corpo vazio, em kg				
Água	28,5 ^a	21,1 ^b	0,8	<0,001
Proteína bruta	7,9	8,4	0,7	0,448
Gordura	10,2	10,9	1,0	0,549
Cinzas	2,7 ^a	1,6 ^b	0,2	<0,001
Energia (MJ)	584	622	58,0	0,517
Composição da carcaça, em %				
Água	60,8 ^a	52,6 ^b	1,7	<0,001
Proteína bruta	12,9 ^b	17,4 ^a	0,9	<0,001
Gordura	18,8 ^b	25,4 ^a	1,3	<0,001
Cinzas	7,5 ^a	4,6 ^b	0,7	<0,001
Energia (MJ/kg)	10,3 ^b	14,0 ^a	0,7	<0,001
Composição não-carcaça, em %				
Água	56,1 ^a	50,4 ^b	2,3	0,020
Proteína bruta	18,6	21,1	1,4	0,073
Gordura	22,1	24,1	1,9	0,296
Cinzas	3,8	3,3	0,4	0,242
Energia (MJ/kg)	13,7 ^b	16,0 ^a	1,1	0,048
Composição do corpo vazio, em %				
Água	58,5 ^a	51,5 ^b	1,9	0,001
Proteína bruta	15,5 ^b	19,2 ^a	1,1	0,001
Gordura	20,4 ^b	24,7 ^a	1,6	0,009
Cinzas	5,8 ^a	4,0 ^b	0,5	0,001
Energia (MJ/kg)	12,0 ^b	14,9 ^a	0,9	0,001

^{a,b} Valores diferentes em uma mesma linha são significativos ($P < 0.05$) de acordo com o teste Tukey.

Tabela 4. Equações de regressão simples entre a quantidade e a proporção dos componentes de corpo vazio e as medidas tomadas *in vivo* em cabras Saanen e ovelhas Sarda.

Componente corporal	Variável ^a	Quantidade				Proporção			
		Cabras		Ovelhas				Ovelhas	
		R ²	REPM ^b	R ²	REPM ^b	R ²	REPM ^b	R ²	REPM ^b
Água	PC	0,66	1,92	0,63	1,43	0,22	5,38	0,52	5,35
	ECC _l	0,01 ^{ns}	3,28	0,27	2,01	0,49	4,37	0,76	3,80
	ECC _e	0,03 ^{ns}	3,25	-	-	0,40	4,73	-	-
	ECC _c	-	-	0,25	2,04	-	-	0,84	3,06
	CT	0,58	2,12	0,46	1,63	0,16	5,61	0,47	5,62
	EGLU	0,03 ^{ns}	3,25	0,09 ^{ns}	2,24	0,26	5,25	0,59	4,95
	EGEU	0,01 ^{ns}	3,27	-	-	0,54	4,13	-	-
	EGCU	-	-	0,04 ^{ns}	2,30	-	-	0,74	3,94
	EGPU	0,01 ^{ns}	3,29	0,12 ^{ns}	2,21	0,67	3,49	0,77	3,73
	AML	0,10 ^{ns}	3,12	0,22	2,08	0,41	4,68	0,71	4,19
Proteína	PC	0,52	1,80	0,75	1,47	0,23	3,11	0,51	3,06
	ECC _l	0,41	1,99	0,82	1,26	0,47	2,57	0,76	2,13
	ECC _e	0,36	2,08	-	-	0,40	2,73	-	-
	ECC _c	-	-	0,86	1,11	-	-	0,85	1,71
	CT	0,39	2,02	0,65	1,72	0,16	3,23	0,48	3,23
	EGLU	0,32	2,14	0,57	1,91	0,28	3,01	0,56	2,91
	EGEU	0,50	1,84	-	-	0,55	2,38	-	-
	EGCU	-	-	0,69	1,63	-	-	0,78	2,08
	EGPU	0,67	1,48	0,80	1,31	0,68	2,01	0,73	2,29
	AML	0,56	1,73	0,74	1,50	0,42	2,70	0,70	2,40
Gordura	PC	0,55	2,25	0,72	2,24	0,26	4,01	0,51	4,83
	ECC _l	0,45	2,50	0,80	1,91	0,52	3,21	0,74	3,49
	ECC _e	0,38	2,64	-	-	0,43	3,50	-	-
	ECC _c	-	-	0,84	1,66	-	-	0,83	2,85
	CT	0,43	2,55	0,62	2,49	0,20	4,17	0,45	4,94
	EGLU	0,32	2,76	0,61	2,62	0,28	3,94	0,62	4,24
	EGEU	0,51	2,36	-	-	0,56	3,08	-	-
	EGCU	-	-	0,67	2,42	-	-	0,73	3,58
	EGPU	0,64	2,03	0,81	1,84	0,64	2,78	0,75	3,43
	AML	0,55	2,25	0,77	2,02	0,43	3,52	0,76	3,37
Energia	PC	0,54	129,9	0,73	121,3	0,24	2,42	0,48	2,55
	ECC _l	0,44	143,8	0,80	103,0	0,48	2,00	0,74	1,81
	ECC _e	0,38	151,8	-	-	0,38	2,19	-	-
	ECC _c	-	-	0,85	90,0	-	-	0,81	1,53
	CT	0,42	146,6	0,63	136,7	0,19	2,50	0,46	2,43
	EGLU	0,33	157,6	0,60	146,6	0,32	2,28	0,63	2,14
	EGEU	0,51	134,8	-	-	0,52	1,92	-	-
	EGCU	-	-	0,68	131,8	-	-	0,77	1,70
	EGPU	0,65	113,7	0,81	101,8	0,68	1,57	0,76	1,52
	AML	0,55	128,3	0,76	113,1	0,47	2,01	0,77	1,69

Todos os coeficientes de correlação são significativos ($P < 0,05$) exceto aqueles marcados com ns ($P > 0,05$).

^a ECC_l, ECC_e, ECC_c: escore de condição corporal avaliado na região lombar, esternal e caudal, respectivamente; CT: circunferência torácica; EGLU, EGEU, EGCU e EGPU: espessura de gordura medida por ultrassom na região lombar, esternal, caudal e perirrenal, respectivamente; AML: área do músculo *Longissimus*.

^b REPM: raiz do erro padrão da média.

3.5 Regressões múltiplas

De acordo com os resultados da análise de regressão simples (Tabela 4), a espessura de gordura perirrenal medida por ultrassom foi eficaz para explicar a maior parte da variação da composição química das cabras Saanen, sendo a variável independente mais confiável e sendo incluída em todas as equações desta espécie (Tabela 5). Para estimar a quantidade de água, gordura, proteína e energia, foram adicionadas algumas medidas somáticas, bem como o ECC, especialmente da região lombar e o PC. Já nas ovelhas da raça Sarda, a variável independente mais confiável foi o ECC caudal, sendo incluída em 8 das 9 equações desenvolvidas. Com exceção da quantidade de água, as equações para predizer a composição química do corpo foram mais precisas nas ovelhas do que nas cabras, com um coeficiente de determinação variando de 0,69 para a quantidade de cinzas a 0,97 para a quantidade de energia em ovelhas Sarda e de 0,66 para a quantidade de cinzas a 0,95 para a quantidade de água em cabras Saanen.

Tabela 5. Equações de predição da composição do corpo vazio de cabras Saanen e ovelhas Sarda lactantes.

Eq.	Variável dependente	Espécie	Equação de melhor ajuste ^a	R ² ajustado	REPM ^b
1	Água, kg	Cabras	$y = 21,96 - 3,66 \cdot ECC_e - 0,17 \cdot AC - 0,30 \cdot LO - 3,28 \cdot EGPU + 0,66 \cdot PC$	0,95	0,72
2		Ovelhas	$y = -0,72 - 2,93 \cdot ECC_c + 0,15 \cdot AQ - 0,17 \cdot CG + 0,69 \cdot AML - 3,11 \cdot EGPU + 0,44 \cdot PC$	0,88	0,81
3	Água, % do total	Cabras	$y = 95,15 - 10,78 \cdot ECC_l - 7,61 \cdot EGPU$	0,86	2,26
4		Ovelhas	$y = 66,42 - 7,23 \cdot ECC_c - 1,26 \cdot LO + 0,39 \cdot CC + 0,28 \cdot CC - 0,40 \cdot EGLU - 0,67 \cdot EGPU$	0,94	1,86
5	Gordura, kg	Cabras	$y = -31,16 + 4,25 \cdot ECC_l + 0,16 \cdot AC - 0,18 \cdot LO + 0,19 \cdot CT + 3,98 \cdot EGPU$	0,91	0,97
6		Ovelhas	$y = 0,17 + 1,41 \cdot ECC_c - 0,18 \cdot CC + 0,17 \cdot EGLU + 0,22 \cdot EGPU + 0,32 \cdot PC$	0,96	0,82
7	Gordura, % do total	Cabras	$y = -3,67 + 8,76 \cdot ECC_l - 0,13 \cdot LO + 5,31 \cdot EGPU$	0,87	1,66
8		Ovelhas	$y = 19,66 + 7,25 \cdot ECC_c + 0,91 \cdot PT - 0,35 \cdot CT - 0,30 \cdot CC + 0,39 \cdot EGLU + 0,50 \cdot EGPU$	0,93	1,74
9	Proteína, kg	Cabras	$y = -22,35 + 2,97 \cdot ECC_l + 0,12 \cdot AC - 0,14 \cdot LO + 0,13 \cdot CT + 3,27 \cdot EGPU$	0,91	0,77
10		Ovelhas	$y = -6,28 + 0,08 \cdot CT - 0,11 \cdot CC + 0,23 \cdot EGPU + 0,25 \cdot PC$	0,96	0,56
11	Proteína, % do total	Cabras	$y = -5,27 + 6,08 \cdot ECC_l + 4,44 \cdot EGPU$	0,85	1,35
12		Ovelhas	$y = -0,05 + 3,86 \cdot ECC_c + 0,36 \cdot PT - 0,11 \cdot CC + 0,41 \cdot EGPU$	0,92	1,21
13	Cinzas, kg	Cabras	$y = 5,17 - 1,41 \cdot ECC_l - 0,84 \cdot EGPU + 0,04 \cdot PC$	0,66	0,39
14		Ovelhas	$y = 3,05 - 0,30 \cdot ECC_c - 0,06 \cdot EGPU$	0,69	0,29
15	Cinzas, % do total	Cabras	$y = 17,40 - 3,66 \cdot ECC_l - 1,79 \cdot EGPU$	0,75	0,88
16		Ovelhas	$y = 11,60 - 2,14 \cdot ECC_c - 0,13 \cdot EGPU$	0,84	0,75
17	Energia, MJ	Cabras	$y = -1740,99 + 235,67 \cdot ECC_l + 9,28 \cdot AC - 10,17 \cdot LO + 10,42 \cdot CT + 231,79 \cdot EGPU$	0,91	55,20
18		Ovelhas	$y = 94,43 + 97,57 \cdot ECC_c - 9,46 \cdot LO - 5,80 \cdot CC - 5,55 \cdot AE + 12,24 \cdot EGPU + 18,25 \cdot PC$	0,97	41,52

^a ECC_l, ECC_e, ECC_c: escore de condição corporal medido na região lombar, esternal e caudal, respectivamente; AC: altura da cernelha; AE: altura do esterno; EGLU, EGEU, EGPU: espessura de gordura mensurado por ultrassom na região lombar, esternal, caudal e perirrenal, respectivamente; PC: peso corporal; AQ: altura do quadril; CQ: comprimento da garupa; AML: área do músculo *Longissimus*; LO: largura dos ombros; CT: circunferência torácica; CC: comprimento do corpo; PT: profundidade do tórax.

^b REPM: raiz do erro padrão da média.

4. Discussão

O fato de que a carcaça e os componentes não-carcaça serem mais pesados em cabras do que em ovelhas se deve, provavelmente, ao maior peso corporal das cabras. No entanto, quando compara-se os componentes não-carcaça em relação ao PCVZ, é possível observar algumas outras diferenças, conforme destaca-se na sequência. Primeiro, a cabeça mais pesada somada ao membro distal de cabras Saanen foi devido ao fato de que esta raça tem chifres, além de serem mais altas do que as ovelhas Sarda. Em segundo lugar, era esperado o úbere mais pesado nas cabras Saanen, tendo em vista que esta é uma das raças mais produtivas entre os pequenos ruminantes e, geralmente, tem um úbere volumoso. Em terceiro lugar, o rúmen-retículo + omaso, mais pesado em cabras do que em ovelhas, pode ser explicado por, como já foi publicado anteriormente por Forbes (2007), correlações positivas entre o nível de ingestão e o peso do rúmen-retículo vazio, embora a causa e o efeito sejam difíceis de estabelecer. Outra explicação, de acordo com o mesmo autor, poderia estar relacionada à maior deposição de gordura nas ovelhas, resultando em aumento do volume de gordura abdominal que, por sua vez, reduz o espaço disponível para o rúmen e, portanto, para a ingestão de alimentos. Em quarto lugar, o rendimento mais alto da pele e lã em relação ao PCVZ nas ovelhas Sarda do que nas cabras Saanen foi provavelmente devido aos resquícios de lã que permaneceram nas ovelhas, embora tenham sido tosadas aproximadamente 45 dias antes do abate.

A composição química da carcaça, não-carcaça e massa corporal vazia não variou entre cabras e ovelhas, com exceção da menor concentração de água e cinzas na raça ovina Sarda. Trabalhando com quatro classes de ECC em ovelhas Sarda (2,00, 2,50, 3,00 e 3,25), Gaias (2012) apresentou valores muito semelhantes aos do presente trabalho de água (10,6 kg), proteína (3,0 kg), gordura (5,7 kg), cinzas (1,2 kg) e energia (276 MJ) na carcaça de animais com ECC igual a 3,00, a mesma média observada no presente trabalho. Além disso, o autor relatou que a gordura da carcaça e não-carcaça nas ovelhas com ECC 3,25 era quase 10 e 15 vezes mais pesada do que nas ovelhas com ECC 2,00, respectivamente. Em cabras Alpinas em lactação com ECC 2,40, Ngwa et al. (2009) observaram que os tecidos não-carcaça representavam 56% da energia presente na massa corporal vazia, que é o mesmo valor obtido em cabras Saanen e é ligeiramente superior ao observado nas ovelhas Sarda (52%) em nosso estudo. No entanto, de acordo com muitos autores (Eknæs et al., 2006; Ngwa et al., 2007; Ngwa et al., 2009), a energia mobilizada ou acrescida durante a lactação depende de vários fatores, como massa e composição inicial da carcaça, PC, relação forragem: concentrado, qualidade da dieta e valor nutritivo. Por estes motivos, os métodos *in vivo* que

permitem estimar a composição corporal em qualquer estágio da lactação são de suma importância.

A variação considerável nas medidas corporais, observadas em ambas as espécies no presente trabalho, sugere que os animais não eram de tamanho homogêneo. Esse fato tornou difícil, por sua vez, usar algumas metodologias para estimar a quantidade de gordura, pois dentro da mesma raça é possível obter o mesmo valor de ECC para animais com diferentes tamanhos e, conseqüentemente, diferentes quantidades de gordura. De fato, o método do ECC da região lombar e esternal não foi adequado para estimar a composição corporal em cabras e destacamos algumas hipóteses de possíveis explicações para esses resultados. Em primeiro lugar, a alta proporção de gordura não-carcaça na gordura total e sua menor correlação com o ECC em comparação com a gordura da carcaça e o ECC podem diminuir a precisão do método de ECC como índice de predição. Em segundo lugar, e de acordo com Frutos et al. (1997), estimativas mais precisas da gordura corporal total são encontradas usando ECC em comparação com o PC quando uma ampla gama de valores de ECC e uma gama restrita de tamanhos são usados. No presente experimento, no entanto, as gamas de ECC foram mais estreitas e as faixas de tamanho foram maiores do que outros trabalhos encontrados na literatura como, por exemplo, Teixeira et al. (1989) que trabalhou com ECC variando de 1,50 a 4,50 em ovelhas Aragonesa. Além disso, é extremamente difícil encontrar animais leiteiros com altos valores de ECC. De acordo com Hervieu et al. (1991), o ECC tradicional (na região lombar) não provou ser satisfatório em cabras leiteiras.

A interação entre o ECC lombar (a única região de ECC feito em ambas as espécies) e espécies (inclinação) não foi significativa para estimar a gordura visceral ($P = 0.5657$). Assim, retirando a interação do modelo, observou-se que, em um mesmo valor de ECC, as cabras Saanen apresentaram 1,5 kg de gordura visceral a mais do que as ovelhas Sarda ($P < 0,001$). A equação para estimar a gordura visceral em cabras foi: $Y = -8,204 \pm 1,852 + 4,531 \pm 0,689 \times \text{ECC}$ (Estimado $\pm$ SEM). Em ovelhas, a equação para estimar a gordura visceral foi: $Y = -9,704 \pm 2,103 + 4,531 \pm 0,689 \times \text{ECC}$ (Estimado $\pm$ SEM). Nós hipotetizamos que essa variação não era apenas uma diferença estatística, mas também uma diferença biológica. Ronchi et al. (1993) observaram que as ovelhas Sarda com ECC igual a 2,0 apresentaram a mesma quantidade de gordura visceral do que as ovelhas Lacaune com ECC igual a 3,0, enquanto nossos resultados apresentaram uma variação de 0,33 unidades de ECC em cabras Saanen e ovelhas Sarda para uma mesma quantidade de gordura visceral.

Alguns estudos relataram diferentes correlações entre o ECC de diferentes regiões anatômicas e depósitos de gordura. Nas ovelhas Sarda não-lactantes, Gaias (2012) não

encontrou nenhuma diferença entre a gordura esternal, medida por um paquímetro digital *post-mortem* e gordura corporal. Por esse motivo, avaliou-se a região esternal por ECC e ultrassom apenas na espécie caprina. Em cabras da raça Blanca Celtibérica, Mendizabal et al. (2010) encontraram um maior coeficiente de determinação quando a gordura total (soma de gorduras omental, mesentérica, perirrenal, subcutânea e intramuscular) foi estimada usando o ECC esternal ($R^2 = 0,90$) em comparação com o ECC lombar ($R^2 = 0,59$) e relatou que a grande quantidade de gordura subesternal pode ser sentida na palpação e, portanto, pode ser usada para atribuir um escore. Esta pode ser a razão pela qual o ECC obtido na região esternal é mais eficaz do que o ECC obtido na região lombar na predição de reservas de gordura em cabras. No entanto, em nosso estudo, a determinação da gordura na região esternal pelos métodos do ECC e do ultrassom não foram adequados para estimar a composição da gordura, mostrando um baixo coeficiente de determinação (0,38 e 0,51, respectivamente). Provavelmente as cabras da raça Saanen não depositam gordura na região esternal proporcionalmente ao depósito de gordura visceral, que normalmente é o principal depósito de gordura em cabras leiteiras (Mendizabal et al., 2011), ou a palpação do tecido adiposo esternal não é sensível o suficiente para detectar tais diferenças (Aumont et al., 1994).

O peso corporal mostrou ser um bom preditor de reservas corporais em vários experimentos em cabras e ovelhas. Nas cabras brancas Blanca Celtibérica, Teixeira et al. (2008) e Mendizabal et al. (2010) obtiveram valores de R^2 de 0,79 e 0,80 para a relação entre gordura total e PC. Em ovelhas adultas da raça Churra, Mendizabal et al. (2003) relataram uma precisão de 0,81 ao estimar a gordura total usando o PC. Silva et al. (2005) relataram que o peso corporal *per se* era o melhor preditor da quantidade absoluta de proteína, representando 97% da variação observada no corpo vazio em Churra da Terra Quente e Île de France. Esses resultados foram melhores que os obtidos no presente trabalho ao estimar gordura e proteína usando o PC em cabras Saanen (0,55 e 0,52, respectivamente) e nas ovelhas Sarda (0,72 e 0,75, respectivamente).

Por outro lado, o uso do ECC avaliado na região caudal em ovelhas Sarda como uma única variável independente explicou pelo menos 84% da quantidade total de proteína, gordura ou energia do corpo vazio (Tabela 4). Teixeira et al. (1989) propuseram a deposição de gordura da cauda empregando uma escala de 1 a 3 pontos com intervalos de 0,50 unidades como método de estimação da condição corporal em ovelhas da raça Aragonesa, concluindo que o escore de gordura da cauda poderia ser usado como método alternativo adicional para essa raça. Nas raças de ovelhas de cauda gorda, embora o nível de gordura da cauda seja claramente visível e possa ser facilmente palpado, a pontuação da cauda de forma sistemática

ainda não é amplamente adotada. Em ovelhas Bárbaras tunisianas, Atti (1992) relatou que os pesos de alguns depósitos de gordura e gordura total estavam mais estreitamente correlacionados com o escore da cauda do que com a pontuação lombar da escala de Russel et al. (1969) ou peso corporal. Além disso, Gaias (2012) encontrou uma grande quantidade de acumulação de gordura na região da cauda, medida *post-mortem* por um paquímetro digital, nas ovelhas Sarda. Portanto, até o melhor de nosso conhecimento, o presente trabalho é o primeiro estudo a avaliar as medidas da região caudal, avaliadas pelo ECC (com uma nova escala) e ultrassom, como ferramenta para predição da composição corporal em ovelhas. Em contraste, é bem sabido que a cabra Saanen não é uma raça que possui a cauda gorda e, por esse motivo, não avaliamos a gordura da cauda na espécie caprina.

Nas cabras Saanen, o melhor método para estimar a quantidade e a proporção da composição química do corpo vazio, com exceção da quantidade de água, foi o ultrassom da região perirrenal (EGPU). Os resultados do presente estudo estão de acordo com os de Härter et al. (2014), que desenvolveu esse método em cabras Saanen gestantes e não-lactantes. No entanto, os autores relataram valores de espessura de gordura perirrenal inferior a 0,4 cm em animais variando de 41 a 66 kg de PC, enquanto encontramos valores de EGPU variando de 0,4 a 2,3 cm em cabras e de 0,3 a 2,0 cm nas ovelhas. Seria difícil explicar essa diferença devido à falta de informações disponíveis a respeito do teor de gordura do início da gestação até o final da lactação. Ngwa et al. (2009) relataram que as cabras Alpinas aumentaram a gordura no corpo vazio em 81% de 2 a 6 meses de lactação e sugeriram que as cabras mobilizassem uma grande quantidade de gordura no início da lactação, particularmente em dietas contendo uma proporção moderada ou alta de forragem.

Regressões múltiplas foram realizadas usando todas as medidas tomadas como variáveis independentes. Os presentes resultados sugerem que a composição corporal vazia pode ser predita com alta precisão em ambas as espécies. Optamos por gerar as equações para ambas as espécies separadamente, embora não tenham sido encontradas diferenças significativas em alguns casos, como por exemplo na quantidade de proteína, gordura e energia, porque algumas medidas utilizadas na espécie caprina não foram usadas na espécie ovina e vice-versa. Para cada uma das diferentes variáveis consideradas neste experimento, a espessura da gordura perirrenal foi a medida a mais efetiva em cabras Saanen, sendo incluída em todas as equações, enquanto que nas ovelhas Sarda a variável independente mais confiável foi o ECC caudal, sendo incluído em 8 das 9 equações desenvolvidas.

Na tentativa de desenvolver métodos práticos para a predição da gordura, a composição química mais importante a ser monitorada durante a lactação, desenvolvemos

equações simples sem o uso do ultrassom, onde as equações 15 e 16 são para as cabras Saanen e as equações 17 e 18 são para as ovelhas Sarda:

$$(15) \text{ Gordura (kg): } -4.20 + 6.12 \times \text{ECC}_l - 0.21 \times \text{AC} - 0.38 \times \text{LO} + 0.36 \times \text{PC}$$

$$(16) \text{ Gordura (\% do PCVZ): } -8.22 + 14.07 \times \text{ECC}_l - 0.40 \times \text{CG}$$

$$(17) \text{ Gordura (kg): } -2.07 + 4.38 \times \text{ECC}_c - 0.30 \times \text{AE} + 0.19 \times \text{PC}$$

$$(18) \text{ Gordura (\% do PCVZ): } 14.00 + 11.50 \times \text{ECC}_c - 0.36 \times \text{CC}$$

Onde ECC_l : escore de condição corporal (ECC) medido na região lombar; AC: altura da cernelha; LO: largura dos ombros; PC: peso corporal; CG: comprimento da garupa; ECC_c : ECC medido na região caudal; AE: altura do esterno; CC: comprimento corporal. Os coeficiente de determinação (R^2) foram: 0.78; 0.59; 0.93 and 0.90, respectivamente.

5. Conclusões

Nas cabras da raça Saanen, a espessura de gordura perirrenal medida por ultrassom demonstrou ser facilmente obtida e é o método mais preciso para estimar a composição química corporal. Em ovelhas Sarda, o uso do método reescalado do ECC da região caudal proposta neste trabalho (variando de 1 a 5 pontos) mostrou grande potencial. Estes dois métodos são vantajosos porque não envolvem muitas pessoas e podem ser conduzidos várias vezes sem exigir o abate dos animais. No entanto, os modelos desenvolvidos que usam regressões múltiplas podem contribuir para monitorar com maior precisão a composição química corporal, especialmente a quantidade e a proporção de gorduras e proteínas ao longo da lactação em ovinos e caprinos.

Referências bibliográficas

- Agricultural Research Council (ARC) 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Technical review. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, UK.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. AOAC International, Arlington, VA, USA.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2005. Official Methods of Analysis, 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- Atti N 1992. Relations entre l'état corporel et les dépôts adipeux chez la brebis Barbarine. In Etat corporel des brebis et chèvres (ed. A Purroy), pp. 31–34, CIHEAM, Zaragoza, Spain.
- Aumont G, Poisot F, Saminadin G, Borel H and Alexandre G 1994. Body condition score and adipose cell size determination for in vivo assessment of body composition and post-

- mortem predictors of carcass components of Creole goats. *Small Ruminant Research* 15, 77–85.
- Bautista-Díaz E, Salazar-Cuytun R, Chay-Canul AJ, Garcia Herrera RA, Piñeiro-Vázquez ÁT, Magaña Monforte JG, Tedeschi LO, Cruz-Hernández A and Gómez-Vázquez A 2017. Determination of carcass traits in Pelibuey ewes using biometric measurements. *Small Ruminant Research* 147, 115–119.
- Butler-Hogg BW 1984. The growth of Clun and Southdown sheep: body composition and the partitioning of total body fat. *Animal Science* 39, 405–411.
- Cam MA, Olfaz M and Soydan E 2010. Possibilities of using morphometrics characteristics as a tool for body weight prediction in Turkish hair goats (Kilkeci). *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 5, 52–59.
- Costa RG, Lima AGVO, Oliveira CFS, Azevedo PS and Medeiros AN 2012. Using different methodologies to determination the loin eye area in sheep. *Archivos de Zootecnia* 61, 615–618.
- Eknæs M, Kolstad K, Volden H and Hove K 2006. Changes in body reserves and milk quality throughout lactation in dairy goats. *Small Ruminant Research* 63, 1–11.
- Forbes JM 2007. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. CABI, London, UK.
- Frutos P, Mantecon AR, Revesado PR and Gonzalez JS 1995. Body fat depots and body condition score relationship: a comparison of two Spanish sheep breeds (Churra vs Merina). *Options Méditerranéennes Série A* 27, 19–23.
- Frutos P, Mantecón AR and Giráldez FJ 1997. Relationship of body condition score and live weight with body composition in mature Churra ewes. *Animal Science* 64, 447–452.
- Gaias G 2012. Body condition score and body composition of Sarda dairy ewes. PhD Thesis. University of Sassari, Sassari, Italy.
- Härter CJ, Silva HGO, Lima LD, Castagnino DS, Rivera AR, Neto OB, Gomes RA, Canola JC, Resende KT and Teixeira IAMA 2014. Ultrasonographic measurements of kidney fat thickness and *Longissimus* muscle area in predicting body composition of pregnant goats. *Animal Production Science* 54, 1481–1485.
- Hervieu J, Morand-Fehr P, Schmidely P, Fedele V and Delfa R 1992. Mesures anatomiques permettant d'expliquer les variations des notes sternales, lombaires et caudales utilisées pour estimer l'état corporel des chèvres laitières. In *Etat corporel des brebis et chèvres* (ed. A Purroy), pp. 43–56. CIHEAM, Zaragoza, Spain.

- Mendizabal JA, Delfa R, Arana A, Eguinoa P, González C, Treacher T and Purroy A 2003. Estimating fat reserves in Rasa Aragonesa ewes: A comparison of different methods. *Canadian Journal of Animal Science* 83, 695–701.
- Mendizabal JA, Delfa R, Arana A and Purroy A 2010. A comparison of different pre and post-slaughter measurements for estimating fat reserves in Spanish Blanca Celtibérica goats. *Canadian Journal of Animal Science* 90, 437–444.
- Mendizabal JA, Delfa R, Arana A and Purroy A 2011. Body condition score and fat mobilization as management tools for goats on native pastures. *Small Ruminant Research* 98, 121–127.
- Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Tovar-Luna I, Sahlu T, Ferrell CL and Goetsch AL 2007. Urea space and body condition score to predict body composition of meat goats. *Small Ruminant Research* 73, 27–36.
- Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Wang Z, Tesfai K, Sahlu T, Ferrell CL and Goetsch AL 2009. Effects of stage of lactation and dietary forage level on body composition of Alpine dairy goats. *Journal of Dairy Science* 92, 3374–3385.
- Oman JS, Waldron DF, Griffin DB and Savell JW 2000. Carcass traits and retail display-life of chops from different goat breed types. *Journal of Animal Science* 78, 1262–1266.
- Ronchi B, Bernabucci U and Berton G 1993. Valutazione comparata del metodo body condition score (BCS) nelle razze ovine Sarda e Lacune. *Proceedings of the 47th SISVet Congress (Italian Society of Veterinary Science)*, Riccione, Italy, pp. 1985–1989.
- Russel AJF, Doney JM and Gunn RG 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *The Journal of Agricultural Science* 72, 451–454.
- Scholz AM, Bünger L, Kongsro J, Baulain U and Mitchell AD 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal* 9, 1250–1264.
- Silva SR, Gomes MJ, Dias-da-Silva A, Gil LF and Azevedo JMT 2005. Estimation in vivo of the body and carcass chemical composition of growing lambs by real-time ultrasonography. *Journal of Animal Science* 83, 350–357.
- Teixeira A, Delfa R and Colomer-Rocher F 1989. Relationships between fat depots and body condition score or tail fatness in the Rasa Aragonesa breed. *Animal Science* 49, 275–280.
- Teixeira A, Matos S, Rodrigues S, Delfa R and Cadavez V 2006. In vivo estimation of lamb carcass composition by real-time ultrasonography. *Meat Science* 74, 289–295.

- Teixeira A, Joy M and Delfa R 2008. In vivo estimation of goat carcass composition and body fat partition by real-time ultrasonography. *Journal of Animal Science* 86, 2369-2376.
- Wood JD, MacFie HJH, Pomeroy RW and Twinn DJ 1980. Carcass composition in four sheep breeds: the importance of type of breed and stage of maturity. *Animal Science* 30, 135–152.

ARTIGOS EM INGLÊS

Os resultados obtidos com o desenvolvimento desta pesquisa proporcionaram a elaboração de quatro artigos descritos a seguir:

- O artigo I, intitulado “Methodologies that can be easily applied in the field to estimate the body composition of sheep and goats: A review”, será submetido ao periódico Italian Journal of Animal Science, Qualis B1.
- O artigo II, intitulado “Pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves in lactating Saanen goats”, está sob avaliação dos revisores do periódico Small Ruminant Research, Qualis A2.
- O artigo III, intitulado “Pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves in lactating Sarda ewes”, será submetido ao periódico Small Ruminant Research, Qualis A2.
- O artigo IV, intitulado “Indirect methods to estimate body composition of lactating Saanen goats and Sarda ewes”, está sob avaliação dos revisores do periódico Animal (Cambridge), Qualis A1.

Easily applied methodologies to estimate body composition of sheep and goats: A review

Abstract

The energetic efficiency of goats and sheep during alternate periods of undernutrition and recovery can be assessed only if the accompanying changes in body composition are known. Changes in body composition can be estimated based on variations in body chemical content (lipids, protein, water and minerals) or energetic content. The most accurate and precise method to estimate body composition is the chemical analysis of carcass and non-carcass after slaughter. However, it would be necessary to develop a practical and indirect method for the estimation of body composition by farmers and extension agents involved in development programmes. This tool must present a sufficient degree of precision and accuracy for an adequate decision. Indirect methods for the estimation of body composition in live animal are numerous, but many of them are expensive or are very difficult to apply in field conditions or both. Thus, the purpose of this work was to review indirect methodologies that can be easily applied in farms to estimate the body composition of goats and sheep. We reported main findings from studies that tested body weight, somatic measurements, body condition score, ultrasound and other techniques as indicators of body composition with the aim of helping goat and sheep farmers to properly manage the nutrition of their herds. Recently, promising results obtained with new techniques, such as the use of BCS in the tail region and perirenal fat thickness using ultrasound, on Saanen goats and Sarda sheep evidence that new experiments should be conducted in other breeds.

Keywords: body condition score, body weight, carcass composition, somatic measurements, ultrasound

Introduction

For many years, studies on body composition in ruminants focused on aspects related to meat quality and the amount of fat in the carcass to increase consumer acceptability (Madruga *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2011), with little attention to the biological significance of fat in the whole animal (Russel *et al.*, 1971). Ruminant production systems are mostly based on the use of pasture (Morand-Fehr, 2005), being characterized by marked seasonal changes in herbage quality and availability (Eknæs *et al.*, 2006; Ngwa *et al.*, 2007a). In some cases, animals are not adequately supplemented with a sufficient amount of ration or are fed unbalanced diets that do not satisfy their requirements, thus impairing productivity and reducing farm profitability (Morand-Fehr, 2005). In such situations, energy reserves, especially from body fat, are of considerable importance in determining animal productivity and, in some cases, survival (Russel *et al.*, 1971).

A low energy level in the diet leads to a low expression of the genetic potential of the animal, with negative effects on milk or meat production and reproductive performance (Rhind *et al.*, 2001). On other hand, when energy requirements are lower than energy input, the energy surplus is used for reserve accumulation (Cannas *et al.*, 2004). In sheep and goats, body fat deposition varies noticeably with breed and management system (Wood *et al.*, 1980; Ronchi *et al.*, 1993; Oman *et al.*, 2000). Several studies showed a higher

deposition of subcutaneous fat in meat breeds compared to milk breeds, which have, in turn, a greater fat deposition in the visceral internal cavity (Wood *et al.*, 1980, Kempster, 1981; Butler-Hogg, 1984).

Estimating the amount and distribution of body fat is very important to diet adjustment, so that energy requirements are satisfied. Thus, knowledge of animal body reserves is essential for adequate profit, especially in extensive or semi-extensive farming systems. However, recent methods developed to estimate body reserves *in vivo* are very expensive and most of them are too complex to be used by farmers (Eknæs *et al.*, 2006; Scholz *et al.*, 2015). For these reasons, the objective of this paper was to review methodologies that could be easily applied to estimate body composition in goats and sheep under field conditions. In addition, we reported some techniques that we have been using on Saanen dairy goats and Sarda dairy ewes.

1. Factors of variation of the body composition

1.1. Species and breed

Fat is the most variable tissue in the empty body weight (EBW) of sheep and goats, and breed is the main cause of variation in body composition in these species. Under feed restriction, animals mobilize energy from fat tissue and, in some cases, from muscle and organs to maintain vital life functions. Dairy animals presumably have less muscle protein available for mobilization compared with meat breeds (Ngwa *et al.*, 2007a). Subcutaneous fat cover is a reliable predictor of carcass yield in lamb and mutton and is currently used in the classification and grading of carcasses; however, it is not suitable for classifying and grading goat carcasses because of the scarcity of fat (Dhanda *et*

al., 1999). In addition to differences between milk and meat breeds, breeds with the same aptitude can have different amount and proportion of fat (Ronchi *et al.*, 1993; Soret *et al.*, 1998; Oman *et al.*, 2000).

1.2. Sex and age

Several studies showed that females have an earlier fat tissue development than males (Bénévent *et al.*, 1971; McClelland *et al.*, 1976; Mahgoub *et al.*, 2004). This is associated with differences in the efficiency of protein assimilation and the weight gain composition between sexes (Robelin and Thériez, 1981). For the same carcass weight, females Mérinos d'Arles sheep breed presented a higher fat percentage and a lower bone and muscle proportion than males (Bénévent *et al.*, 1971). These differences seem to be related to a different endocrine balance characteristic of each sex. Normally, male animals have a higher concentration of growth hormone (GH), which induces an intense lipolysis and protein synthesis, whereas females have a higher glycerol synthesis (Sidhu *et al.*, 1973). Overall, the body fat deposition is earlier in females than in castrated males, and earlier in castrated males than in entire males (McClelland *et al.*, 1976).

In Jebel Akhdar goats, Mahgoub *et al.* (2004) reported that as EBW increased, carcass and non-carcass fat was deposited at a faster rate in does and, to a lesser extent, in castrated males than in intact males. In addition, these Authors observed that fat proportions in the body were higher at 28 kg than at 11 and 18 kg of BW regardless of sex. Fat deposition typically starts with perirenal fat, followed by intermuscular and subcutaneous fat and, finally, by intramuscular fat. The increase in the amount of body fat that occurs after

birth is caused by hyperplasia and hypertrophy. In the adult phase, intermuscular, perirenal and mesenteric lipocytes, which developed earlier, complete their hyperplasic development and become fat depots; whereas subcutaneous and intramuscular deposits continue to produce new adipocytes, as they accumulate fat (Oliveira *et al.*, 2011).

1.3. Diet

Feed intake and diet quality affect growth rate and animal body composition. Diets rich in energy lead to heavier carcasses, with more fat, compared to diets with low energy content (Cameron *et al.*, 2001). In lambs, Purroy *et al.* (1993) found that diets with high metabolizable energy content increased fat deposition and, thus, led to heavier animals compared to diets with a high protein content. In lactating Alpine goats, Ngwa *et al.* (2009) reported that the levels of fat and energy were greater and those of ash, protein, and water were lower for a diet with 40% of forage and 60% of concentrate than for a diet with 60% of forage and 40% of concentrate. In addition, fat concentration was greater at mo 6 than at mo 2 and 4 of lactation for carcass tissues and, to a much greater extent, noncarcass tissues.

2. Methods for body reserve estimation

Numerous studies have been conducted on the estimation of body composition using *in vivo* and *post-mortem* methodologies, with differences in their utility, complexity and accuracy (Aumont *et al.*, 1994; Bocquier *et al.*, 1999). Scholz *et al.* (2015) reviewed the use of advanced techniques to evaluate meat or carcass and body composition, such as dual-energy X-ray

absorptiometry, computed tomography and magnetic resonance imaging, pointing out that these methods are difficult and expensive. For this reason, this section focuses on cheap and easily applied methods to estimate body composition, which can be divided into two groups: direct and indirect methods.

2.1. Direct methods

The most accurate and reliable method for estimating body composition is the direct determination of chemical composition. This process entails the total destruction of at least half of a carcass in preparation for laboratory analysis (Silva *et al.*, 2016). Typically, the carcass is ground, dried and chemically analyzed. This analysis also allows the calculation of the total energy contained in the animal body.

Hankins and Howe (1946) found a high correlation between the chemical composition of the rib₉₋₁₁ of beef carcass and the chemical composition of the whole body, thus allowing the development of equations and reducing time and cost of evaluation. Powell and Huffman (1968) successfully predicted chemical composition using the rib₉₋₁₁ section ($R^2 = 0.94$ for fat and $R^2 = 0.96$ for crude protein). Since then several studies have used other parts of the body to estimate body composition, with satisfactory results (Lanna *et al.*, 1995; Alleoni *et al.*, 1997; De Campeneere *et al.*, 1999). Dhanda *et al.* (1999) reported significant correlations between percentage of muscle, fat and bone in most of the primal cuts (neck, flank, ribs, shoulder and long leg) and that in the carcass side for Capretto and Chevron groups.

Although direct methods estimate animal body composition accurately, they have some disadvantages, such as the excessive cost due to the

destruction of the animal body, the need for appropriate tools and reagents for the analysis that are not cheap, and the considerable time needed for the dissection and chemical analyzes. Nevertheless, all these methods represent the fundamental pillar on which indirect methods are based (Colomer-Rocher *et al.*, 1987), and, therefore, the request for more efficient and rapid methods has led to the development of several direct procedures.

2.2. Indirect methods

Indirect methods are based on indexes or part of body measurements for the estimation of the body composition and can be divided into (1) Subjective assessment: subjective visual evaluation and body condition score method (BCS); (2) Measurements taken *in vivo* of the animal body: body weight (BW), somatic measurements, methods of marker diffusion, determination of the subcutaneous adipocyte diameter, radioactive isotopes, volume of red blood cells and level of blood metabolites; (3) Measurements taken *in vivo* on parts of the animal body: real-time ultrasound, computerized axial tomography and nuclear magnetic resonance. Some of these methods require expensive and sophisticated equipments, whereas others can be easily applied in the field and for this reason they are listed and discussed below.

2.2.1. Body weight

The evaluation of the body weight (BW) to estimate the body reserve is very simple and with a low cost method, particularly valid when applied to animals of the same sex, breed and receiving a similar diet. Generally, the BW does not reflect the nutritional status of the animal, due to the fact that sheep

and goats breeds with large bone structures may present a higher weight compared to animals with a small bone structure with different body reserve depot (Ndlovu *et al.*, 2007). In addition, variations such as the weight of feed in the digestive tract, the weight of udder and the weight of gravid womb may also impair the BW as an index of body composition (Mendizabal *et al.*, 2011).

In goats, our works shown that BW was acceptable to estimate the amount of water in embty body weight (EBW) of lactating Saanen goats ($R^2 = 0.66$) and was a moderate index to estimate the amount of fat in EBW ($R^2 = 0.55$) (data not published). In contrast, Teixeira *et al.* (2008) and Mendizabal *et al.* (2010) reported good precision for the total fat estimation using BW in Blanca Celtibérica goats ($R^2 = 0.79$ and 0.80 , respectively).

In sheep specie, our works suggests that BW estimates the amount of fat in EBW with a moderate to high precision in Sarda ewes ($R^2 = 0.72$) (data not published). Chavarría-Aguilar *et al.* (2016) reported high correlation between BW and total body fat ($r = 0.91$) in Pelibuey ewes. On other hand, Delfa *et al.* (1995) reported that BW alone accounted for 26% of variation of total fat, whereas Mendizabal *et al.* (2003) reported higher accuracy working with Rasa Aragonesa lambs ($R^2 = 0.81$). Frutos *et al.* (1997) working with Churra ewes related that BW accounted for 64% and 62% of variation of carcass and non-carcass fat, respectively. In conclusion this method is not accurate in all cases; however, has the advantage of being easy to perform, quickly and economically.

2.2.2. Somatic measurements

Somatic measurements are indirect approaches that use measurements of length, height, width and circumference from specific body parts for several purposes including prediction of growth rate, genetic improvement, body weight, conformation and carcass traits. Some studies have evaluated different somatic measurements, such as body length, height at withers, chest depth and chest girth (HG), as body weight predictor.

Among all body dimension characters evaluated in our works, heart girth was the most related trait to body weight. In lactating Sarda ewes we found that the relationship between HG and body weight was $BW \text{ (kg)} = 1.3 \text{ HG (cm)} - 70.8$ ($R^2 = 0.69$), showing a mean HG difference of 1.3 cm per unit (kg) of BW (data not published), whereas Gaias (2012) working with non-lactating Sarda ewes homogeneous in size reported that the relationship between HG and BW was $BW \text{ (kg)} = 1.00 \text{ HG (cm)} - 44.94$ ($R^2 = 0.79$), showing a mean heart girth difference of 1.00 cm per unit (kg) of BW. In lactating Saanen goats we observed that the relationship between HG and body weight was $BW \text{ (kg)} = 1.2 \text{ HG (cm)} - 57.7$ ($R^2 = 0.75$), showing a mean heart girth change of 1.2 cm per unit (kg) of BW. Slippers *et al.* (2000) reported that BW was highly correlated with HG in Nguni goats ($R^2 > 0.88$). On the other hand, McGregor (2017) observed a moderate correlation ($R^2 = 0.60$) in Angora goats, with a 1-kg increase in BW for each 1-cm increase in HG. Overall, heart girth seems to be the most correlated variable from somatic measurements to body weight, but there are few works in literature that study these measurements with carcass and non-carcass traits.

Recently, Bautista-Díaz *et al.* (2017) reported that abdomen circumference accounted for 71% of the variation of total body fat and that the

inclusion of hook bone width increased the accuracy to 81% in Pelibuey ewes. In Sarda ewes we obtained 64% of carcass fat variation and 53% of non-carcass fat variation explained by heart girth, whereas in Saanen goats this variable explained much lower carcass and non-carcass fat variation ($R^2 = 0.46$ and 0.37 , respectively) (data not published). The validity of somatic measurements methods for body reserves estimation varies between growing or mature animals, because of growth differences in body tissues. In early growing animals, bone tissues form a major portion of weight in lambs, thus bone growth is the best predictor in this stage. At maturity the fat and muscles growth represents the best predictor compared to bones (Dhanda *et al.*, 1999).

2.2.3. Body condition score

The body condition score (BCS) is a widely subjective method used in livestock to estimate the amount of animal body reserves. This method is based on visual (in cows) and tactile (in sheep and goats) assessment and involves assigning of a score to animals in relation to the amount of tissue reserves present in particular anatomical regions of the body. It is rapid, practical and economical and reflects the changes in the energy reserves of the animal. The BCS method originally described comprised palpating of the fat and muscle coverage on the lumbar region of the animal. The selection of this portion is based on the fact that it is the last place where subcutaneous fat deposits, and the first where fat mobilization occurs (Russel *et al.*, 1971; Teixeira *et al.*, 1989); therefore, it follows the trend of animal body composition during the year. In small ruminants, other body areas were included to estimate the body condition, such as the sterna region in goats (Hervieu *et al.*, 1991) and the base of the tail

in sheep (Teixeira *et al.*, 1989), but the system of BCS most used worldwide is based on a scale from 0 to 5 developed by Russel *et al.* (1969) using British sheep breeds.

The distribution of body fat in goats differs appreciably from that in ewes (Mendizabal *et al.*, 2011). In Saanen goats we observed that subcutaneous fat deposits are not highly noticeable in the dorsal region (data not published). In fact, according to Hervieu *et al.* (1991), large amounts of accumulated fat are deposited in the sternal region in goats. Mendizabal *et al.* (2010) reported that the precision of estimating total fat in Blanca Celtibérica goats using sternal BCS was much better ($R^2 = 0.90$) than those achieved using lumbar BCS ($R^2 = 0.59$). Ngwa *et al.* (2007a) obtained a correlation value of 86% between BCS and carcass fat in Boer x Spanish goats wethers, whereas in our study sternal BCS did not estimate fat reserves satisfactorily ($R^2 < 0.55$) and lumbar BCS was even worst ($R^2 = 0.45$ for total body fat) (data not published). These differences can be attributed, at least in part, to the much greater ranges of BW and BCS (33.0 to 80.5 kg and 0.75 to 4.25, respectively) evaluated by Mendizabal *et al.* (2010) compared to those obtained in the present work (43.6 to 69.4 kg and 1.75 to 3.00, respectively). This is plausible considering the mathematical and statistical approaches used, because the regression fit of the model is dependent on the dataset. Thus, the proposed model could have had a higher accuracy with a higher variability of the BW and BCS classes. Another possible explanation is that Saanen goats do not deposit fat in the lumbar or sternal region proportionally to the visceral fat depots.

In sheep, the BCS is done by palpation of the lumbar region around the backbone in the loin area immediately behind the last rib (13th – 14th).

Depending of the breed, the wool presence makes it difficult to assign the BCS. In Aragonesa sheep breed, Mendizabal *et al.* (2003) predicted the weight obtained R^2 of 0.73 for total fat depots (sum of omental, mesenteric, perirenal, subcutaneous and intramuscular fat). In Merino sheep breed, Guerra *et al.* (1972) found a correlation of 0.77 between BCS and body fat, whereas Russell *et al.* (1969) working with Scottish Blackface, Teixeira *et al.* (1989) in Aragonesa breed and Sanson *et al.* (1993) in American sheep breeds reported R^2 values equal or higher than 0.90 between BCS and total body fat. In our study with lactating Sarda ewes we observed that the regression equations for prediction of the weights of fat depots using tail BCS had R^2 values higher than lumbar BCS, except for organs fat. Tail BCS yielded the highest degree of precision ($R^2 = 0.84$) determining total fat content. The precision achieved using this measurement was slightly better than that achieved using traditional method of body condition score (lumbar BCS, $R^2 = 0.80$). The reason for these results was that a large amount of fat is stored in the tail region in Sarda dairy ewes (Gaias, 2012). Atti and Ben Hamouda (2004) found that in Barbarine lambs the tail fat was highly correlated to total body fat ($r = 0.91$). This adipose depot is an important source of energy for these breeds during periods of food shortage.

2.2.4. Ultrasonography

This technique is non-invasive, non-destructive and non-painful; uses a portable instrument capable of giving repeatable images, but it must be managed by specialists. The use of ultrasound to estimate the body carcass composition dates back from the years 50's, but only from the 80's specific

instrument devices have appeared for the animal scanning and several authors began to use this methodology. Nowadays, real-time ultrasound (RTU) is used in experiments of animal science, such as genetic improvement, nutrition, meat production and reproduction and also in field conditions.

Several studies have demonstrated that RTU can be used in small ruminants for estimation of subcutaneous fat thickness and the amount of muscle with high accuracy in sheep (Teixeira *et al.*, 2006) and in goats (Mendizabal *et al.*, 2010). Härter *et al.* (2014) developed equations to predict abdominal fat depots in pregnant non-lactating Saanen goats using ultrasound measurements of the *Longissimus* muscle area (LMA) and kidney fat thickness (KFT). Authors reported high coefficient of determination for non-carcass fat and total body fat ($R^2 = 0.77$ and 0.80 , respectively) when using LMA and KFT associated with BW. In our work, measuring the perirenal fat thickness attained higher level of precision to estimate total body fat ($R^2 = 0.62$) compared to the lumbar region ($R^2 = 0.32$) or the sternal region ($R^2 = 0.51$) in lactating Saanen goats. The addition of BW and BCS, in multiple regressions, improved substantially the precision of the estimates of total body fat (R^2 increasing from 0.62 to 0.92). In lactating Sarda ewes we observed that using thickness in the perirenal region accounted for 83% of variation of total fat. Therefore, our results have confirmed that the perirenal fat thickness is more suitable than lumbar, sternal or tail for taking fat thickness measurements using ultrasound in goats and sheep. However, to the best of our knowledge, there is only one work published in literature that used this technique in small ruminant (Härter *et al.*, 2014).

Grill *et al.* (2015) studied the ultrasound device for back fat and *longissimus dorsi* muscle depth lateral of the spine at 10th/11th (US1) and 13th (US2) thoracic vertebrae as well as at 3rd/4th (US3) lumbar vertebrae in pure bred animals of the six main breeds for lamb production in Austria: Merinoland, Tiroler Bergschaf (Tyrolean Mountain Sheep), Suffolk, Jura, Texeland Schwarzköpfiges Fleischschaf (Blackheaded Meatsheep). Authors concluded that the comparison of three anatomical scanning sites did not give definite results. US1 seems to be favourable for estimating muscle depth, for the prediction of lean and in terms of repeatability, whereas US2 and US3 had small advantages in scanning fat depth and in the prediction of EUROP classification and carcass fat.

In Blanca Celtiberica goats, Teixeira *et al.* (2008) reported that the best relationships ($r = 0.94$) between *in vivo* and carcass measurements of fat thickness were obtained when measurements were taken at the sternum, and the best anatomical point was located between the third and fourth sternbrae, whereas the best correlation coefficients ($r = 0.84$) for muscle depth were found for measurements taken between the third and the fourth lumbar vertebrae.

2.2.5. Other methods

Over the years, several methods were developed, with greater or less success, such as the measurement of diffusion space of body water markers like deuterium oxide and urea (Bocquier *et al.*, 1999; Ngwa *et al.*, 2007b). This method is based on the two assumptions that the body composition is related to the water content and that body water can be measured using soluble markers. These markers are injected into jugular vein and during 24 – 48 hours after

injection blood samples are collected in order to observe any change in the concentration of markers within the body water. This technique presents disadvantages related to the marker loss through urine, water transpiration, methane and tissue synthesis, which cannot be detected, but is relatively simple though not to the extent to allow routine on-farm use, with employment most likely confined to experimental settings. Other methods such as computed tomography, dual-energy X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging are highly labour intensive and require expensive equipment and for these reasons they have only been tested in experimental conditions.

3. Conclusion

This study reports the main easily applied methods to estimate the body composition of sheep and goats in field conditions. Basically, direct methods are more accurate, but require the slaughter of animals. Among indirect methods, which do not need to slaughter animals, the use of body, body condition score and ultrasound are the most reliable, whereas there are few studies in literature using somatic measurements to predict the body composition of goats and sheep. On the other hand, recent researches with promising results for new techniques, such as the use of BCS in tail region and perirenal fat thickness using ultrasound, evidence that new experiments should be conducted in other breeds.

Acknowledgements

The authors are grateful to CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) for giving a doctor scholarship to the first author and to

CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) for giving a intership ("Sandwich Program") to the first author in Italy (BEX: 1865/14-5).

Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest.

References

Alleoni GF, Leme PR, Boin C, Nardon RF, Demarchi JJAD, Vieira PD and Tedeschi LO 1997. Avaliação da composição química e física dos cortes da costela para estimar a composição química corporal de novilhos nelore. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia 26, 382-390.

Atti N and Ben Hamouda M 2004. Relationships among carcass composition and tail measurements in fat-tailed Barbarine sheep. Small Ruminant Research 53, 151-155.

Aumont G, Poisot F, Saminadin G, Borel H and Alexandre G 1994. Body condition score and adipose cell size determination for in vivo assessment of body composition and post-mortem predictors of carcass components of Creole goats. Small Ruminant Research 15, 77-85.

Bautista-Díaz E, Salazar-Cuytun R, Chay-Canul AJ, Garcia Herrera RA, Piñeiro-Vázquez ÁT, Magaña Monforte JG, Tedeschi LO, Cruz-Hernández A and Gómez-Vázquez A 2017. Determination of carcass traits in Pelibuey ewes using biometric measurements. Small Ruminant Research 147, 115-119.

Bénévent M, Bressot C and Paolantonacci S 1971. Croissance relative pondérale postnatale, dans les deux sexes, des principaux tissus et organes de l'agneau mérinos d'arles. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys. 11, 5-39.

Bocquier F, Guillouet P, Barillet F and Chilliard Y 1999. Comparison of three methods for the in vivo estimation of body composition in dairy ewes. Annales de zootechnie 48, 297-308.

Butler-Hogg BW 1984. The growth of Clun and Southdown sheep: body composition and the partitioning of total body fat. Animal Science 39, 405-411.

Cameron MR, Luo J, Sahlu T, Hart SP, Coleman SW and Goetsch AL 2001. Growth and slaughter traits of Boer x Spanish, Boer x Angora, and Spanish goats consuming a concentrate-based diet. *Journal of Animal Science* 79, 1423-1430.

Cannas A, Tedeschi LO, Fox DG, Pell AN and Van Soest PJ 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *Journal of Animal Science* 82, 149-169.

Chavarría-Aguilar LM, García-Herrera RA, Salazar-Cuytun R, Chay-Canul AJ, Casanova-Lugo F, Piñeiro-Vázquez AT and Aguilar-Caballero AJ 2016. Relationship between body fat depots and body mass index in Pelibuey ewes. *Small Ruminant Research* 141, 124-126.

Colomer-Rocher F, Morand-Fehr P and Kirton AH 1987. Standard methods and procedures for goat carcass evaluation, jointing and tissue separation. *Livestock Production Science* 17, 149-159.

Costa RG, Santos NM, Sousa WH, Queiroga RCRE, Azevedo PS and Cartaxo FQ 2011. Qualidade física e sensorial da carne de cordeiros de três genótipos alimentados com rações formuladas com duas relações volumoso: concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40, 1781-1787.

De Campeneere S, Fiems LO, Van de Voorde G, Vanacker JM, Boucque CV and Demeyer DI 1999. Estimation of chemical carcass composition from 8th rib characteristics with Belgian blue double-musled bulls¹. *Meat Science* 51, 27-33.

Delfa R, González C, Teixeira A, Gosálvez LF and Tor M 1995. Relationships between body fat depots, carcass composition, live weight and body condition scores in Blanca Celtibérica goats. In *Body condition of sheep and goats: Methodological aspects and applications* (ed. A Purroy), pp. 109-119.

Dhanda JS, Taylor DG, McCosker JE and Murray PJ 1999. The influence of goat genotype on the production of Capretto and Chevon carcasses. 3. Dissected carcass composition. *Meat Science* 52, 369-374.

Eknæs M, Kolstad K, Volden H and Hove K 2006. Changes in body reserves and milk quality throughout lactation in dairy goats. *Small Ruminant Research* 63, 1-11.

Frutos P, Mantecón AR and Giráldez FJ 1997. Relationship of body condition score and live weight with body composition in mature Churra ewes. *Animal Science* 64, 447-452.

Gaias G 2012. Body condition score and body composition of Sarda dairy ewes. *Università degli studi di Sassari*.

Grill L, Ringdorfer F, Baumung R and Fuerst-Waltl B 2015. Evaluation of ultrasound scanning to predict carcass composition of Austrian meat sheep. *Small Ruminant Research* 123, 260-268.

Guerra JC, Thwaites CJ and Edey TN 1972. Assessment of the proportion of chemical fat in the bodies of live sheep. *The Journal of Agricultural Science* 78, 147-149.

Hankins OG and Howe PE 1946. Estimation of the composition of beef carcasses and cuts. (Technical Bulletin - USDA, 926), Washington, DC, p. 1-19.

Härter CJ, Silva HGO, Lima LD, Castagnino DS, Rivera AR, Neto OB, Gomes RA, Canola JC, Resende KT and Teixeira IAMA 2014. Ultrasonographic measurements of kidney fat thickness and Longissimus muscle area in predicting body composition of pregnant goats. *Animal Production Science* 54, 1481-1485.

Hervieu J, Morand-Fehr P, Schmidely P, Fedele V and Delfa R 1992. Mesures anatomiques permettant d'expliquer les variations des notes sternales, lombaires et caudales utilisées pour estimer l'état corporel des chèvres laitières. In *Etat corporel des brebis et chèvres* (ed. A Purroy), pp. 43-56, Zaragoza : CIHEAM.

Kempster AJ 1981. Fat partition and distribution in the carcasses of cattle, sheep and pigs: A review. *Meat Science* 5, 83-98.

Lanna DPD, Boin C, Alleoni GF and Leme PR 1995. Estimation of carcass and empty body composition of zebu bulls using the composition of rib cuts. *Scientia Agricola* 52, 189-197.

Madruga MS, Torres TS, Carvalho FF, Queiroga RC, Narain N, Garrutti D, Souza Neto MA, Mattos CW and Costa RG 2008. Meat quality of Moxotó and Canindé goats as affected by two levels of feeding. *Meat Science* 80, 1019-1023.

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

McClelland TH, Bonaiti B and Taylor CS 1976. Breed differences in body composition of equally mature sheep. *Animal Science* 23, 281-293.

McGregor BA 2017. Relationships between live weight, body condition, dimensional and ultrasound scanning measurements and carcass attributes in adult Angora goats. *Small Ruminant Research* 147, 8-17.

Mendizabal JA, Delfa R, Arana A and Purroy A 2010. A comparison of different pre and post-slaughter measurements for estimating fat reserves in Spanish Blanca Celtibérica goats. *Canadian Journal of Animal Science* 90, 437-444.

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

Mendizabal JA, Delfa R, Arana A, Eguinoa P, González C, Treacher T and Purroy A 2003. Estimating fat reserves in Rasa Aragonesa ewes: A comparison of different methods. *Canadian Journal of Animal Science* 83, 695-701.

Morand-Fehr P 2005. Recent developments in goat nutrition and application: A review. *Small Ruminant Research* 60, 25-43.

Ndlovu T, Chimonyo M, Okoh AI, Muchenje V, Dzama K and Raats JG 2007. Assessing the nutritional status of beef cattle: current practices and future prospects. *African Journal of Biotechnology* 6, 2727-2734.

Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Tovar-Luna I, Sahlu T, Ferrell CL and Goetsch AL 2007a. Effect of initial body condition of Boer × Spanish yearling goat wethers and level of nutrient intake on body composition. *Small Ruminant Research* 73, 13-26.

Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Tovar-Luna I, Sahlu T, Ferrell CL and Goetsch AL 2007b. Urea space and body condition score to predict body composition of meat goats. *Small Ruminant Research* 73, 27-36.

Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Wang Z, Tesfai K, Sahlu T, Ferrell CL and Goetsch AL 2009. Effects of stage of lactation and dietary forage level on body composition of Alpine dairy goats. *Journal of Dairy Science* 92, 3374-3385.

Oliveira IM, Paulino PVR, Marcondes MI, Valadares Filho SC, Detmann E, Cavali J, Duarte MS and Mezzomo R 2011. Pattern of tissue deposition, gain and body composition of Nellore, F1 Simmental × Nellore and F1 Angus × Nellore steers fed at maintenance or ad libitum with two levels of concentrate in the diet. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40, 2886-2893.

Oman JS, Waldron DF, Griffin DB and Savell JW 2000. Carcass traits and retail display-life of chops from different goat breed types. *Journal of Animal Science* 78, 1262–1266.

Powell WE and Huffman DL 1968. An Evaluation of Quantitative Estimates of Beef Carcass Composition. *Journal of Animal Science* 27, 1554-1558.

Purroy A, Echaide H, Muñoz F, Arana A and Mendizabal JA 1993. The effect of protein level and source of legume seeds on the growth and fattening of lambs. *Livestock Production Science* 34, 93-100.

Rhind S, Rae M and Brooks A 2001. Effects of nutrition and environmental factors on the fetal programming of the reproductive axis. *Reproduction* 122, 205-214.

Robelin J and Thériéz M 1981. Fixation de protéines chez les ruminants: évolution en fonction du poids des animaux et variations selon la race, le sexe ou le niveau des apports alimentaires. *Reproduction Nutrition Development* 21, 335-353.

Ronchi B, Bernabucci U and Bertoni G 1993. Valutazione comparata del metodo body condition score (BCS) nelle razze ovine Sarda e Lacune. In XLVII Congress S.I.S.VET, Italy, pp. 1985-1989.

Russel AJF, Doney JM and Gunn RG 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *The Journal of Agricultural Science* 72, 451-454.

Russel AJF, Doney JM and Gunn RG 1971. The distribution of chemical fat in the bodies of scottish blackface ewes. *Animal Science* 13, 503-509.

Sanson DW, West TR, Tatman WR, Riley ML, Judkins MB and Moss GE 1993. Relationship of body composition of mature ewes with condition score and body weight. *Journal of Animal Science* 71, 1112-1116.

Scholz AM, Bünger L, Kongsro J, Baulain U and Mitchell AD 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal* 9, 1250-1264.

Sidhu KS, Emery RS, Parr AF and Merkel RA 1973. Fat mobilizing lipase in relation to fatness in lambs. *Journal of Animal Science* 36, 658-662.

Silva SR, Afonso J, Guedes CM, Gomes MJ, Santos VA, Azevedo JMT and Dias-da-Silva A 2016. Ewe whole body composition predicted in vivo by real-time ultrasonography and image analysis. *Small Ruminant Research* 136, 173-178.

Slippers SC, Letty BA and De Villiers JF 2000. Prediction of the body weight of Nguni goats. *South African Journal of Animal Science* 30, 127-128.

Soret B, Mendizabal JA, Arana A, Purroy A and Eguinoa P 1998. Breed effects on cellularity and lipogenic enzymes in growing Spanish lambs. *Small Ruminant Research* 29, 103-112.

Teixeira A, Delfa R and Colomer-Rocher F 1989. Relationships between fat depots and body condition score or tail fatness in the Rasa Aragonesa breed. *Animal Science* 49, 275-280.

Teixeira A, Joy M and Delfa R 2008. In vivo estimation of goat carcass composition and body fat partition by real-time ultrasonography. *Journal of Animal Science* 86, 2369-2376.

Teixeira A, Matos S, Rodrigues S, Delfa R and Cadavez V 2006. In vivo estimation of lamb carcass composition by real-time ultrasonography. *Meat Science* 74, 289-295.

Wood JD, MacFie HJH, Pomeroy RW and Twinn DJ 1980. Carcass composition in four sheep breeds: the importance of type of breed and stage of maturity. *Animal Science* 30, 135-152.

**Pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves in
lactating Saanen goats**

Leonardo Sidney Knupp^a, Roberto Germano Costa^{a,*}, Mauro Ledda^b, Sheila
Nogueira Ribeiro Knupp^c, Marco Acciaro^d, Mauro Decandia^d, Giovanni Molle^d,
Ana Helena Dias Francesconi^e, Antonello Cannas^e

^a*Departamento de Zootecnia, Universidade Federal da Paraíba, Rodovia BR
079 km 12, 58397-000, Areia, Paraíba, Brazil*

^b*Dipartimento di Medicina Veterinaria, Università degli Studi di Sassari, Via
Vena 2, 07100, Sassari, Italy*

^c*Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina
Grande, Av. Universitária s/n, 58708-110, Patos, Paraíba, Brazil*

^d*Agricultural Research Agency of Sardinia – AGRIS Sardegna, Loc. Bonassai,
07100, Sassari, Italy*

^e*Dipartimento di Agraria - Sezione di Scienze Zootecniche, Università degli
Studi di Sassari, Viale Italia 39, 07100, Sassari, Italy*

Running title: Estimating fat reserves in Saanen goats

* Corresponding author: Roberto G. Costa. E-mail: betogermano@hotmail.com

Abstract

This study aimed to compare pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves in dairy goats. Twenty-six lactating Saanen goats ranging from 43.6 to 69.4 kg of body weight (BW) and from 1.84 to 2.96 of body condition score (BCS; 0 – 5 range) were used. Fifteen pre-slaughter measurement and four post-slaughter measurement values were used to estimate fat weight in the omental (OM), mesenteric (MES), perirenal (PR), organ (ORG), carcass (CARC), non-carcass components (NC) and total (TOT, calculated as the sum of CARC and NC) depots in goats. The pre-slaughter measurements were: withers height; rump height; rump length; pelvis width; chest depth; shoulder width; heart girth; body length; sternum height; body weight (BW); BCS assessed in the lumbar (BCS_l) and sternal (BCS_s) regions; fat thickness measured by ultrasound in the lumbar (FTUS_l), sternal (FTUS_s) and perirenal (FTUS_{pr}) regions. The post-slaughter measurements were: hot carcass weight (HCW); empty body weight (EBW); fat thickness measured by digital caliper in the lumbar (FTDC_l) and sternal (FTDC_s) regions. Linear and multiple regressions were fit to data collected. BW, BCS (from lumbar and sternal regions), all somatic measurements and fat thickness measured by ultrasound in the lumbar and sternal regions were not adequate to estimate the weight of total fat in lactating Saanen goats ($R^2 \leq 0.55$). The best pre-slaughter and post-slaughter estimators of OM, MES, PR, ORG, NC and TOT fat were FTUS_{pr} and EBW, respectively. Among pre- and post-slaughter measurements, BCS_l ($R^2 = 0.63$) and HCW ($R^2 = 0.82$) gave the most accurate predictions of CARC fat, respectively. Multiple regression using the pre-slaughter variables FTUS_{pr}, BW and BCS_l yielded estimates of TOT fat with an $R^2 = 0.92$ (RSD = 1.14 kg). On

the other hand, TOT fat predicted using the post-slaughter variables HCW and FTDC_s had an $R^2 = 0.83$ (RSD = 1.41 kg). These results confirm that fat reserves of lactating Saanen goats can be predicted with high precision using multiple regression equations combining *in vivo* measurements.

Keywords: body condition score, body measurements, fat depots, goats, prediction equation, ultrasound

1. Introduction

In most goat production systems under harsh conditions, the ability of the animal to retain and mobilize body reserves is of considerable importance in determining goat productivity and survival. Such relevance is due to the fact that the nutritional status of goats fluctuates throughout the year (Eknæs *et al.*, 2006) because of changes in the amount and quality of nutrients in the diet (Ngwa *et al.*, 2009) and physiological state of the animal (Cannas *et al.*, 2004). Accurate and precise determination of nutritional status in lactating goats is important to avoid depletion of energy stored and to minimize tissue protein mobilization, thus increasing milk production (Ngwa *et al.*, 2009).

The nutritional status of animals can be estimated by direct and indirect methods. The comparative slaughter is the most accurate direct method, but it is expensive, because at least half of the carcass is lost (Silva *et al.*, 2015), destructive, laborious and does not allow using the same animal more than once (Akdag *et al.*, 2015). Therefore, indirect methods are preferable because most of them are not complex and can be applied to live animals (Scholz *et al.*, 2015).

Through the years, researchers have developed many indirect methods to estimate nutritional status, such as body weight (BW) and body measurements (Bautista-Díaz *et al.*, 2017; Cam *et al.*, 2010), body condition score (BCS, Hervieu *et al.*, 1991; Russel *et al.*, 1969), urea space (Ngwa *et al.*, 2007), adipocyte diameter (Mendizabal *et al.*, 2010), real-time ultrasonography (Teixeira *et al.*, 2008), computed tomography (Eknæs *et al.*, 2006), dual-energy X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging (Scholz *et al.*, 2015). Some of these methods are very expensive and difficult to use in many animals in the farm. Others, like BCS and body measurements, have basically no cost and can be done in experimental and field conditions.

The BCS method was developed by Russel *et al.* (1969) for meat lambs, which accumulate fat in subcutaneous region, whereas it might not be appropriate for dairy goats, which deposit body fat mostly as visceral fat (Colomer-Rocher *et al.*, 1992; Eknæs *et al.*, 2006). In lactating Alpine goats, Ngwa *et al.* (2009) noted that the amount of fat in non-carcass components (visceral and renal fat) is almost twice that in carcass and a considerable amount of internal fat is mobilized in early lactation. Härter *et al.* (2014) developed equations to predict abdominal fat depots in pregnant non-lactating Saanen goats using ultrasound measurements of the *Longissimus* muscle area (LMA) and kidney fat thickness (KFT). Authors reported high coefficient of determination for non-carcass fat and total body fat ($R^2 = 0.77$ and 0.80 , respectively) when using LMA and KFT associated with BW. However, to our knowledge, there are no studies comparing different pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves in lactating Saanen goats. Thus, this work aimed to (i) study the relationship between BCS and body measurements with BW and body fat, (ii)

compare pre- and post-slaughter methodologies as predictors to estimate fat depots, and (iii) develop equations that could be used as an indicator of nutritional status in lactating Saanen goats.

2. Material and Methods

2.1. Animals

The study was carried out using 26 mature lactating Saanen goats randomly selected from the experimental flock of Agris Research farm of Bonassai, in Olmedo (Northwestern Sardinia, Italy, 40° 40' 16.215" N, 8° 22' 0.392" E, 32 m a.s.l.). Animals were chosen from a larger group fed a high-starch diet, homogeneous for lambing date, age (6 – 7 years) and milk yield. Goats were clinically healthy and had mean body weight (BW) of 56.4 ± 6.8 kg. Animals were milked twice a day and had access to feed and water until slaughter. Their care and use followed the Italian national law and ethic regulations (DL. No 116, 27/01/1992).

2.2. Pre-slaughter measurements

2.2.1. Somatic measurements and body condition score

The following somatic measurements, based on Cam *et al.* (2010), were made on all goats 16 h before slaughter: withers height (WH), the distance between the top of the withers to the ground; rump length (RL), distance from hip to pin; rump height (RH) vertical distance from top of pelvic girdle and the ground; pelvis width (PW), distance between trochanters; chest depth (CD), the distance between the withers and the sternum; shoulder width (SW), the horizontal distance between the processes on the left and on the right shoulder blade;

heart girth (HG), the smallest circumference around the animal just behind the foreleg; body length (BL), the distance between the withers and the cross; and sternum height (SH), the distance between the sternum and the ground. The measurements of WH, RH, CD, SW and SH were taken with a Lydtin metric stick (metal tube of 80 to 230-cm length). PW was measured with a thickness compass, and RL, HG and BL with a linear meter.

Body weight (BW) was measured with an electronic scale immediately after slaughter (blood was collected and weighed). Two experienced workers evaluated the BCS in the lumbar and sternal region by using the Hervieu *et al.* (1991) reference scale (0 to 5 score). In both cases, the BCS intervals were of 0.25 units. The BCS was assessed at the moment of the selection of the animals and at the end of the trial, just before slaughtering.

2.2.2. Measurement of fat thickness using ultrasound

Fat thickness was measured, simultaneously with the previous measures, using a real time MyLab One ultrasound system (Esaote S.p.A., Genova, Italy). Trichotomy was performed in the area to be measured and gel was used as a coupling agent to improve the quality of the images. Ultrasound pictures were taken twice on three different anatomical sites: (1) lumbar fat thickness (FTUS_l), measured in the area of the *Longissimus* muscle around the 13th thoracic vertebrae (last rib), by using an ultrasound probe SL3323 VET (array of 13-6 Mhz and 40-mm length; Esaote S.p.A., Genova, Italy); (2) perirenal fat thickness (FTUS_{pr}), measured behind the 13th rib on the right side of the body using an ultrasound probe SV3513 VET (array of 10-5 Mhz and 50-mm length; Esaote S.p.A., Genova, Italy), according to Härter *et al.* (2014); and (3) sternal

fat thickness (FTUS_s), measured using an ultrasound probe SL3323 VET (array of 13-6 Mhz and 40-mm length; Esaote S.p.A., Genova, Italy) positioned perpendicularly to the 3rd sternebra on the sternum. Images were obtained with a linear probe (transducer) of 6 Mhz and silicone acoustic attachment (standoff) for FTUS_i and FTUS_s measurements and a 8 Mhz convex transducer for FTUS_{pr} measurements. The pictures were stored on a computer and, subsequently, analyzed with the software MyLab Desk™/Desk (Esaote S.p.A., Genova, Italy) to obtain the fat thickness measurements.

2.3. Post-slaughter measurements

2.3.1. Slaughter procedures, hot carcass and empty body weight

The animals were slaughtered under general anesthesia and exsanguinated from the jugular vein in the facilities of the Hospital of the Veterinary Department of the University of Sassari (Sassari, Sardinia, Italy). The weights of blood, head, skin, feet, tail, empty viscera (rumen-reticulum, omasum, abomasum, small intestine and large intestine), mesentery, internal fat, liver, heart, kidneys, spleen, lungs, tongue, esophagus, trachea and reproductive system, and hot carcass weight (HCW) were recorded. The digestive tract compartments were isolated, weighed, emptied and weighed again. The empty body weight (EBW) was calculated by difference of live weight and the content of the gastrointestinal tract, bladder and gallbladder empty. The fat tissue surrounding the digestive tract, omental fat (OM) and mesenteric fat (MES), was removed along with any associated connective tissue and weighed. Perirenal fat (PR) was removed from the kidneys and weighed. Organ fat from heart, liver and lungs was removed from each organ and weighed together (ORG).

2.3.2. Carcass measurements

Carcasses were stored at 4°C for 24 h in a cooler. Then carcasses were split down the backbone with a band saw into two halves (right and left). The right half of each carcass was ribbed at the 12th and 13th thoracic vertebrae at the same anatomical points where measurements had been taken on the live animal using ultrasound. Lumbar fat thickness was measured by using a digital caliper (FTDC_i). Similarly, a transversal cut was done at the 3rd sternebra on the sternum vertebra, and sternal fat was then measured using a digital caliper (FTDC_s).

2.3.3. Fat content on carcass and non-carcass components

The left side of each carcass was frozen until subsequent determination of chemical composition, whereas all non-carcass components (digestive tract, pluck, reproductive tract and mammary gland), including head and skin, were stored in separate polyethylene bags at -20°C until preparation for analysis. All frozen components (carcass and non-carcass) were cut into pieces of 5-6 cm³, while still frozen, and then minced and ground by using a mill grinder (TC 42 Golia HP 10 HS, La Felsinea S.R., Padova, Italy). After mixing the ground material thoroughly with a mechanical mixer (ME 30, La Felsinea S.R., Padova, Italy), samples were taken in three replicates. The samples were weighed, frozen at -80°C and subsequently analyzed for dry matter by liophilization (Lyolab 3000, Jouan Nordic, Allerød, Denmark). Then, samples were reground in a blender (Knifetec Mill 1095, Foss, Höganäs, Sweden) and analyzed for fat. Carcass (CARC) and non-carcass (NC) fat was determined by continuously

extracting the samples with petroleum ether for 6 h by using the AOAC method 920.39 (AOAC International, 2005).

2.4. Statistical analysis

The statistical analyses were performed using linear single variable with the GLM procedure of SAS software (version 9.2, SAS System Inc., Cary, NC, USA) for the weights of fat in the different depots as dependent variables (y), and BW, BCS lumbar, BCS sternal, somatic measurements, FTUS_l, FTUS_s, FTUS_{pr}, HCW, EBW, FTDC_l, and FTDC_s as independent variables (x). The variables included in the multiple regressions were selected using the REG procedure with the STEPWISE method of SAS ($P < 0.05$). Since ultrasound is not so cheap and requires more time than BCS, BW and somatic measures to be used under field conditions, additional simplified equations were developed without the use of ultrasound also using the REG procedure with the STEPWISE method of SAS.

3. Results

3.1. Pre-slaughter measurements

3.1.1. Somatic measurements

Heart girth ranged from 86 to 104 cm, with a mean of 94 cm (Table 1). Among all somatic measurements only heart girth (HG) had regression coefficients significantly different from zero ($P < 0.05$) in all fat depots analyzed. The relationship between HG and body weight was $BW \text{ (kg)} = 1.2 \times HG \text{ (cm)} - 57.7$ ($r^2 = 0.75$), showing a mean HG change of 1.2 cm per unit (kg) of BW (Figure 1).

3.1.2. Body weight

Body weight after slaughter (summed with blood from exsanguinations) ranged from 44 to 69 kg, with a mean of 56 kg (Table 1). The regressions between the weight of fat in each of the different fat depots and BW (Table 2) had determination coefficients (r^2) that varied between 0.21 for the organ (ORG) depot (RSD = 0.17 kg) and 0.58 for carcass depot (RSD = 0.86 kg). The determination coefficient for the relationship between the total weight of fat (TOT, sum of fat on carcass and non-carcass components) and BW (Table 2) was 0.55 (RSD = 2.25 kg).

3.1.3. Body condition score

BCS assessed at lumbar or sternal region averaged 2.6, but sternal BCS detected a lower fatness level compared to lumbar BCS (1.75 versus 1.84, respectively) (Table 1). The regression equations for prediction of the weights of fat depots using both BCS, from lumbar and sternal region, had low accuracy. The r^2 values for lumbar BCS varied between 0.10 for organs and 0.63 for carcass fat, and those for sternal BCS varied between 0.07 for organs and 0.54 for carcass fat (Table 2). The relationship between lumbar and sternal BCS and BW in lactating Saanen goats provided low r^2 (Figure 2), but the equations to predict BW using BCS differed significantly. For lumbar BCS, the equation was $BW \text{ (kg)} = 12.29 \times BCS + 24.20$ ($r^2 = 0.22$) and for sternal BCS, the equation was $BW \text{ (kg)} = 14.12 BCS + 19.36$ ($r^2 = 0.32$).

3.1.4. Ultrasound measurements

Thickness of fat in the lumbar region measured using ultrasound ranged from 1.1 to 3.5 mm, with a mean of 2.3 mm (SD = 0.6). Fat in the sternal region was much thicker, ranging from 9.7 to 27.9 mm, with a mean of 22.7 mm (SD = 4.5). Perirenal fat was also high, ranging from 44 to 234 mm, with a mean of 121 mm (SD = 53) (Table 1). The determination coefficients of the equations were slightly lower using FTUS_l, ranging between 0.10 for organ fat (RSD = 0.18 kg) and 0.33 for non-carcass fat (RSD = 1.76 kg), than using FTUS_s thickness, ranging from 0.05 for organ fat (RSD = 0.19 kg) and 0.55 for carcass fat (RSD = 0.89 kg) (Table 3). Nevertheless, higher r^2 were found using FTUS_{pr}, with values ranging between 0.05 for organs fat (RSD = 0.19 kg) and 0.86 for perirenal fat (RSD = 0.22 kg) (Table 3).

3.1.5. Multiple regressions

To increase the precision of the equation that predicted fat depot using just one independent variable (Tables 2–4), multiple regressions were determined (Table 5). The inclusion of heart girth in the regression using FTUS_{pr} to predict omental fat improved the R^2 from 0.79 to 0.85 (RSD = 0.65 and 0.57 kg, respectively) and, when predicting mesenteric fat, it improved the R^2 from 0.46 to 0.62 (RSD = 0.26 and 0.23 kg, respectively). The weight of perirenal fat was best predicted by an equation that included both FTUS_{pr} and BW, increasing the R^2 value from 0.84 to 0.88 (RSD = 0.26 and 0.23 kg, respectively), compared to FTUS_{pr} alone. The carcass fat weight was best predicted by an equation with three variables, FTUS_{pr}, BW and BCS_l (R^2 = 0.92, RSD = 0.46 kg). Similarly, non-carcass fat weight was best predicted by an equation with three variables (FTUS_{pr}, Heart girth and BCS_l; R^2 = 0.91, RSD = 0.71 kg). The best equation to

predict total fat weight included $FTUS_{pr}$, BW and BCS_l ($R^2 = 0.92$, $RSD = 1.14$ kg).

3.2. Post-slaughter measurements

3.2.1. Hot carcass weight

Hot carcass weight varied between 18.1 and 30.1 kg with a mean of 24.3 kg ($SD = 3.4$ kg) (Table 1), corresponding to a mean killing out percentage ($100 \times HCW/BW$) of 42.7 ± 3.0 (data not shown). The values of R^2 for equations using HCW, varied from 0.17 for organ fat ($RSD = 0.18$ kg) to 0.82 for carcass fat ($RSD = 0.57$ kg), with a value of 0.74 for total fat ($RSD = 1.73$ kg) (Table 4).

3.2.2. Empty body weight

The empty body weight mean was 47.6 kg, varying between 36.1 to 59.9 kg (Table 1). The values of R^2 for equations using EBW varied from 0.23 for organ fat ($RSD = 0.17$ kg) to 0.74 for carcass fat ($RSD = 0.67$ kg) and total fat ($RSD = 1.70$ kg) (Table 4).

3.2.3. Digital caliper measurements

The mean depth of the fat measured by digital caliper in the lumbar and sternal region was 2.1 mm (range 1.5 – 3.6 mm) and 22.1 mm (range 9.8 – 29.8 mm), respectively (Table 1). The determination coefficients of the equations using $FTDC_l$ as a predictor were all extremely low (varying between 0.01 and 0.17) and were not significant ($P > 0.05$, except ORG). Predictions using $FTDC_s$ had R^2 values between 0.11 for organ fat ($RSD = 0.18$ kg) and 0.61 for carcass fat ($RSD = 0.82$ kg) (Table 4).

3.2.4. Multiple regressions

The inclusion of FTDC_s in the equation using EBW to predict the weight of the omental fat resulted in an improvement in the accuracy (R^2 value increased from 0.47 to 0.52; Table 6). In contrast, the prediction of the mesenteric fat weight, where EBW was the best single predictor, was not improved by the addition of any other post-slaughter variables. The addition of FTDC_s, in combination with EBW, increased the R^2 value from 0.46 to 0.53 (RSD = 0.44 and 0.43 kg, respectively) in the equation to predict perirenal fat weight and from 0.68 to 0.74 (RSD = 1.20 and 1.12 kg, respectively) in the equation to predict non carcass fat. For the prediction of organ fat, the equation obtained had a coefficient of determination very low ($R^2 = 0.32$) with the use of the EBW and FTDC_i. Finally, the addition of the FTDC_s with HCW increased the precision from 0.74 to 0.83 (RSD = 1.73 and 1.41 kg, respectively) to predict total fat weight (Table 6).

4. Discussion

Among all body dimension characters evaluated, heart girth was the most related trait to body weight. When estimating BW using HG, we found that each kg change in BW corresponded to a 1.2-centimeter change in HG, which explained 75% of the variance in lactating Saanen goats (Figure 1). In a recent work, McGregor (2017) observed a moderate correlation ($R^2 = 0.60$) in Angora goats, with a 1-kg increase in live weight for each 1-cm increase in heart girth, which was very similar to the present work. Slippers *et al.* (2000) reported that body weight was highly correlated with heart girth in Nguni goats ($R^2 > 0.88$). In contrast to what observed for HG, BCS was not a good predictor to estimate

live weight (Figure 2), probably because of the moderate correlation between BW and lumbar BCS ($r = 0.50$) and sternum BCS ($r = 0.56$). McGregor (2017) reported a correlation of 66% between BW and lumbar BCS, corroborating that is difficult to estimate the BW using BCS in goats. Although the level of precision obtained when using BW to predict weights of fat depots such as organ fat and omental fat was not high ($r^2 = 0.21$ and 0.28 , respectively), a higher precision was achieved when predicting carcass and total fat content ($r^2 = 0.58$ and 0.55 , respectively).

When using the lumbar BCS method, Russel *et al.* (1969) in Scottish Blackface ewes and Teixeira *et al.* (1989) in Rasa Aragonesa ewes obtained R^2 values close to 0.90 for BCS as a predictor of the amount of body fat. However, the distribution of body fat in goats differs appreciably from that in ewes (Colomer-Rocher *et al.*, 1987). The data of the present study in Saanen goats confirmed that subcutaneous fat deposits are not highly noticeable in the dorsal region of this species. In fact, according to Hervieu *et al.* (1991), large amounts of accumulated fat are deposited in the sternal region in goats. Although Mendizabal *et al.* (2010) reported that the precision to estimate total fat in Spanish Blanca Celtibérica goats using sternal BCS was much better ($R^2 = 0.90$) than those achieved using lumbar BCS ($r^2 = 0.59$), in the present study sternal BCS did not estimate fat reserves satisfactorily ($r^2 < 0.55$). Furthermore, in the same region both, ultrasound and digital caliper, failed to estimate fat reserves. These differences can be attributed, at least in part, to the much greater ranges of BW and BCS (33.0 to 80.5 kg and 0.75 to 4.25, respectively) evaluated by Mendizabal *et al.* (2010) compared to those obtained in the present study (43.6 to 69.4 kg and 1.75 to 3.00, respectively). This is plausible

considering the mathematical and statistical approaches used, because the regression fit of the model is dependent on the range of the dataset. Thus, the proposed model could have had a higher precision with a higher variability of the BW and BCS classes. Another possible explanation is that Saanen goats do not deposit fat in the lumbar or sternal region proportionally to the visceral fat depots.

Among all somatic measurements taken, just heart girth presented a significant correlation with all fat depots. However, the determination coefficients of the equations using heart girth were consistently low, with values ranging between 0.16 for organ fat (RSD = 0.56 kg) and 0.46 for carcass fat (RSD = 0.98 kg). Differently, in Pelibuey ewes, Bautista-Díaz *et al.* (2017) observed that abdominal circumference was the best somatic measurement taken to estimate the weights of carcass fat ($R^2 = 0.73$), visceral fat ($R^2 = 0.64$) and total body fat ($R^2 = 0.71$). In fact, these results confirm that sheep, especially meat breeds, have a higher deposition of fat in the subcutaneous region, whereas dairy goat breeds deposit a major part of fat in the visceral internal cavity (Colomer-Rocher *et al.*, 1992).

When estimating fat depots using ultrasound, measuring the perirenal fat thickness attained higher levels of precision (R^2 values between 0.05 and 0.86) compared to the lumbar region (R^2 values from 0.10 to 0.33) or the sternal region (R^2 values from 0.05 to 0.55). These findings confirmed that the perirenal fat thickness measured with ultrasound can adequately estimate fat reserves in lactating Saanen goats (except ORG fat). In fact, in a previous study carried out on Saanen goats, Härter *et al.* (2014) found that abdominal fat was the main

energy reserve and that perirenal fat thickness measured by ultrasound was significantly correlated with BW and renal, omental and non-carcass fat.

Considering the post-slaughter measurements evaluated in this study, hot carcass weight and empty body weight were the best predictors of the amount of total fat stored by the goats ($R^2 = 0.74$ and $RSD = 1.7$ kg, for both). The use of HCW or EBW removes the large effect that differences in gastrointestinal contents, which varied from 5.6 to 12.7 kg, have on BW. Similarly, Mendizabal *et al.* (2010) found that EBW and, especially, HCW were the best post-slaughter predictors of the weights of fat depots in Spanish Blanca Celtibérica goats.

Lumbar fat thickness measured by a digital caliper was the worst predictor of the weights of individual fat depots, with R^2 values lower than 0.2, likely because the very thin layer of fat that lost its firmness after cutting the muscle and, therefore, made measurements difficult. Sternal fat thickness measured by a digital caliper was not a good predictor of fat depots either, although R^2 values were higher (0.11 – 0.61 range) compared to the lumbar region. In Spanish Blanca Celtibérica goats, Delfa *et al.* (1995) dissected the lumbar and sternal region and found that the fat percentage of the lumbar square joint was only 15% compared to 41% of fat in the sternal triangle joint. Therefore, it is evident that the BCS scales proposed by Hervieu *et al.* (1991) for Alpine and Saanen goats need to be re-evaluated. A BCS method based on body palpations is difficult to adopt in goats because of a lack of subcutaneous adipose tissue in this species. Firstly, it would be necessary to evaluate if there is a correlation between the fat located in the lumbar or sternal region and the total fat of the animals. If findings show a high correlation, this could mean that the BCS methods can be used to predict the body fat of dairy goats, although some

adjustments might still be necessary. However, if studies show that the fat thickness located in the lumbar and sternal region is not highly correlated with the total fat, mainly located in the visceral region, then new methods should be developed. Hervieu *et al.* (1991) confirmed that there is a significant correlation between the fat scores given by BCS and their respective fat fractions (in the lumbar and sternal regions). However, the authors did not evaluate whether this correlation regarded also the body composition as a whole.

Based on the different regressions of the pre-slaughter measurements tested for each fat depot, FTUS_{pr} yielded the most precise estimates of body fat in lactating Saanen goats, with the exception of organ fat depot estimation, and the addition of BW and BCS_l improved substantially the precision of the estimates of total body fat (R^2 increasing from 0.62 to 0.92). We expected that there is a wide variability of body fat on equal BCS (low precision of estimation). However, the estimation of carcass and total fat could be improved if BW and lumbar BCS are added to FTUS_{pr}, as shown by Table 5. These results suggest that goats were of different sizes (large and small) and possibly in some cases with similar BCS. In addition, BW was a discrete indicator of carcass and total fat and was moderately accurate indicator for mesenteric fat; lumbar BCS was especially a good predictor of carcass fat and FTUS_{pr} predicted with high accuracy omental, perirenal and non-carcass fat. Therefore, the addition of these three variables (BW, BCS_l and FTUS_{pr}) seems to be complementary in predicting total fat.

On the other hand, based on the multiple regression analysis using post-slaughter measurements, EBW was the first variable and gave the best predictions of OM, MES, PR, ORG and NC fat depots, whereas HCW was the

first variable in CARC and TOT fat. The addition of FTDC_s as a second variable was helpful when estimating the fat reserves in OM, PR, NC and TOT fat (R^2 increasing from 0.74 to 0.83). These results agree with those obtained by Mendizabal *et al.* (2010), who found that HCW and EBW were the most used post-slaughter variables to predict fat depots in Spanish Blanca Celtibérica goats, confirming the importance of these measurements to predict fat depots in goats.

Considering the main results obtained with the multiple regression analysis, the recommended equations to be used at field level, when ultrasound is not available, might be summarized in:

$$(1) \text{ OM: } 4.79 + 0.13 \times \text{BW} + 1.57 \times \text{BCS}_l - 0.16 \times \text{WH} - 0.15 \times \text{RL} \quad (R^2 = 0.55)$$

$$(2) \text{ MES: } 1.57 + 0.05 \times \text{BW} - 0.04 \times \text{WH} \quad (R^2 = 0.56)$$

$$(3) \text{ PR: } 2.79 + 0.08 \times \text{BW} - 0.07 \times \text{WH} - 0.09 \times \text{PW} \quad (R^2 = 0.48)$$

$$(4) \text{ ORG: } 1.21 + 0.02 \times \text{BW} - 0.06 \times \text{CD} \quad (R^2 = 0.60)$$

$$(5) \text{ CARC: } -3.31 + 0.12 \times \text{BW} + 3.19 \times \text{BCS}_l - 0.07 \times \text{RH} - 0.12 \times \text{SW} \quad (R^2 = 0.87)$$

$$(6) \text{ NC: } 1.65 + 0.25 \times \text{BW} + 2.61 \times \text{BCS}_l - 0.16 \times \text{WH} - 0.31 \times \text{PW} \quad (R^2 = 0.69)$$

$$(7) \text{ TOT: } -4.21 + 0.36 \times \text{BW} + 6.12 \times \text{BCS}_l - 0.21 \times \text{WH} - 0.38 \times \text{SW} \quad (R^2 = 0.79)$$

5. Conclusions

Fat thickness measured with ultrasound in the perirenal region was the best pre-slaughter measurement for estimating fat reserves in lactating Saanen goats, whereas empty body weight and hot carcass weight were the best post-slaughter predictors for estimating fat reserves. BCS could be a useful tool, but it seems that it needs to be re-evaluated to predict adequately fat depots in lactating Saanen goats. The best variable to predict carcass and total fat

content was hot carcass weight, but methodologies able to predict weights of fat reserves in live animals are preferable for practical and economic reasons.

Acknowledgements

This research was financially supported by the Autonomous Region of Sardinia. We would like to thank the staff of the Department of AGRIS for scientific and technical support. The authors are grateful to CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) for giving a doctor scholarship to the first author and to CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) for giving an intership (“Sandwich Program”) to the first author in Italy (BEX: 1865/14-5).

Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest.

References

- AOAC International. 2005. Official Methods of Analysis, 18th ed. Assoc. of Offic. Anal. Chem. Int., Gaithersburg, MD.
- Akdag, F., Teke, B., Meral, Y., Arslan, S., Ugurlu, M., 2015. Prediction of carcass composition by ultrasonic measurement and the effect of region and age on ultrasonic measurements. *Small Rumin. Res.* 133, 82–87.
- Bautista-Díaz, E., Salazar-Cuytun, R., Chay-Canul, A.J., Garcia Herrera, R.A., Piñeiro-Vázquez, Á.T., Magaña Monforte, J.G., Tedeschi, L.O., Cruz-Hernández, A., Gómez-Vázquez, A., 2017. Determination of carcass traits in

- 473 Pelibuey ewes using biometric measurements. *Small Rumin. Res.* 147, 115–
474 119.
- 475 Cam, M.A., Olfaz, M., Soydan, E., 2010. Possibilities of using morphometrics
476 characteristics as a tool for body weight prediction in Turkish hair goats
477 (Kilkeci). *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 5, 52–59.
- 478 Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell, A.N., Van Soest, P.J., 2004. A
479 mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed
480 biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82, 149–69.
- 481 Colomer-Rocher, F., Kirton, A.H., Mercer, G.J.K., Duganzich, D.M., 1992.
482 Carcass composition of New Zealand Saanen goats slaughtered at different
483 weights. *Small Rumin. Res.* 7, 161–173.
- 484 Colomer-Rocher, F., Morand-Fehr, P., Kirton, A.H., 1987. Standard methods
485 and procedures for goat carcass evaluation, jointing and tissue separation.
486 *Livest. Prod. Sci.* 17, 149–159.
- 487 Delfa, R., González, C., Teixeira, A., Gosálvez, L.F., Tor, M., 1995.
488 Relationships between body fat depots, carcass composition, live weight and
489 body condition scores in Blanca Celtibérica goats, in: Purroy, A. (Ed.), *Body
490 Condition of Sheep and Goats: Methodological Aspects and Applications.*
491 CIHEAM, Zaragoza, pp. 109–119.
- 492 Eknæs, M., Kolstad, K., Volden, H., Hove, K., 2006. Changes in body reserves
493 and milk quality throughout lactation in dairy goats. *Small Rumin. Res.* 63,
494 1–11.
- 495 Härter, C.J., Silva, H.G.O., Lima, L.D., Castagnino, D.S., Rivera, A.R., Neto,
496 O.B., Gomes, R.A., Canola, J.C., Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A., 2014.
497 Ultrasonographic measurements of kidney fat thickness and *Longissimus*

- 498 muscle area in predicting body composition of pregnant goats. *Anim. Prod.*
 499 *Sci.* 54, 1481–1485.
- 500 Hervieu, J., Morand-Fehr, P., Schmidely, P., Fedele, V., Delfa, R., 1991.
 501 Mesures anatomiques permettant d'expliquer les variations des notes
 502 sternales, lombaires et caudales utilisées pour estimer l'état corporel des
 503 chèvres laitières. In: Purroy, A. (Ed.), *Etat Corporel des Brebis et Chèvres*.
 504 CIHEAM, Zaragoza, pp. 43–56.
- 505 McGregor, B.A., 2017. Relationships between live weight, body condition,
 506 dimensional and ultrasound scanning measurements and carcass attributes
 507 in adult Angora goats. *Small Rumin. Res.* 147, 8–17.
- 508 Mendizabal, J.A., Delfa, R., Arana, A., Purroy, A., 2010. A comparison of
 509 different pre- and post-slaughter measurements for estimating fat reserves in
 510 Spanish *Blanca Celtibérica* goats. *Can. J. Anim. Sci.* 90, 437–444.
- 511 Ngwa, A.T., Dawson, L.J., Puchala, R., Detweiler, G., Merkel, R.C., Wang, Z.,
 512 Tesfai, K., Sahlu, T., Ferrell, C.L., Goetsch, A.L., 2009. Effects of stage of
 513 lactation and dietary forage level on body composition of Alpine dairy goats.
 514 *J. Dairy Sci.* 92, 3374–3385.
- 515 Ngwa, A.T., Dawson, L.J., Puchala, R., Detweiler, G., Merkel, R.C., Tovar-Luna,
 516 I., Sahlu, T., Ferrell, C.L., Goetsch, A.L., 2007. Urea space and body
 517 condition score to predict body composition of meat goats. *Small Rumin.*
 518 *Res.* 73, 27–36.
- 519 Russel, A.J.F., Doney, J.M., Gunn, R.G., 1969. Subjective assessment of body
 520 fat in live sheep. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 72, 451–454.
- 521 Scholz, A.M., Bünger, L., Kongsro, J., Baulain, U., Mitchell, A.D., 2015. Non-
 522 invasive methods for the determination of body and carcass composition in

- 523 livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography,
524 magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal* 9,
525 1250–1264.
- 526 Silva, T.S., Chizzotti, M.L., Busato, K.C., Rodrigues, R.T.S., da Silva, I.F.,
527 Queiroz, M.A.Á., 2015. Indirect methods for predicting body composition of
528 Boer crossbreds and indigenous goats from the Brazilian semiarid. *Trop.*
529 *Anim. Health Prod.* 47, 1217–1220.
- 530 Slippers, S.C., Letty, B.A., de Villiers, J.F., 2000. Prediction of the body weight
531 of Nguni goats. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 30 (Suppl. 1), 127–128.
- 532 Teixeira, A., Delfa, R., Colomer-Rocher, F., 1989. Relationships between fat
533 depots and body condition score or tail fatness in the Rasa Aragonesa
534 breed. *Anim. Sci.* 49, 275–280.
- 535 Teixeira, A., Joy, M., Delfa, R., 2008. In vivo estimation of goat carcass
536 composition and body fat partition by real-time ultrasonography. *J. Anim. Sci.*
537 86, 2369–2376.

Table 1

Somatic measurements, body weight, lumbar and sternal body condition scores (BCS), hot carcass weight, empty body weight, lumbar, sternal and perirenal fat thickness depth measured by ultrasound (FTUS_l, FTUS_s and FTUS_{pr}, respectively), lumbar and sternal fat thickness depth measured by digital caliper (FTDC_l and FTDC_s, respectively), and fat depot weights in Saanen goats.

	Mean	Minimum	Maximum	SD
Somatic measurements (cm)				
Wither height	70.9	65.0	77.0	3.4
Rump height	73.6	69.0	82.0	3.3
Rump length	21.6	17.5	28.0	3.0
Pelvis width	18.7	16.0	25.0	1.9
Chest depth	35.1	29.0	39.0	2.1
Shoulder width	18.1	13.5	24.0	2.5
Heart girth	94.2	86.0	104.0	4.8
Body length	74.7	68.0	90.0	4.7
Sternum height	35.3	28.0	44.0	3.9
Body weight (kg)	56.4	43.6	69.4	6.8
BCS lumbar (scale 0 – 5)	2.64	1.84	2.96	0.3
BCS sternal (scale 0 –5)	2.64	1.75	3.00	0.3
Hot carcass weight (kg)	24.3	18.1	30.1	3.4
Empty body weight (kg)	47.6	36.1	59.9	6.8
FTUS _l (mm)	2.27	1.08	3.50	0.6
FTDC _l (mm)	2.13	1.47	3.60	0.5
FTUS _s (mm)	22.68	9.70	27.90	4.5
FTDC _s (mm)	22.10	9.79	29.82	4.7
FTUS _{pr} (cm)	1.21	0.44	2.34	0.1
Fat depot weight (kg)				
Omental	1.83	0.30	4.38	1.3
Mesenteric	0.94	0.46	1.54	0.3
Perirenal	0.72	0.07	2.02	0.6
Organs fat (heart, liver and lungs)	0.22	0.08	1.06	0.2
Total fat (kg)				
Carcass	4.61	1.33	6.58	1.3
Non carcass	5.56	2.16	9.38	2.1
Carcass and non carcass	10.17	3.49	15.93	3.2

Table 2

Regression equations^a, coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimate of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all fat combined^c (y variables) based on the pre-slaughter measurement values of heart girth, body weight (BW), lumbar and sternal body condition scores (x variables).

	Intercept $\pm$ SE	$b \pm$ SE	R^2	RSD	<i>P</i> value
Heart girth					
OM	-9.26 ± 4.58	0.12 ± 0.05	0.20	1.17	0.023
MES	-2.96 ± 1.06	0.04 ± 0.01	0.36	0.27	0.001
PR	-3.83 ± 2.17	0.05 ± 0.02	0.16	0.56	0.046
ORG	-1.47 ± 0.67	0.02 ± 0.01	0.21	0.17	0.019
CARC	-12.49 ± 3.82	0.18 ± 0.04	0.46	0.98	0.001
NC	-19.27 ± 6.58	0.26 ± 0.07	0.37	1.68	0.001
TOT	-31.76 ± 9.95	0.44 ± 0.10	0.43	2.55	0.001
BW at slaughter					
OM	-3.82 ± 1.87	0.10 ± 0.03	0.28	1.11	0.005
MES	-0.86 ± 0.43	0.03 ± 0.01	0.43	0.26	0.001
PR	-1.89 ± 0.86	0.05 ± 0.01	0.28	0.51	0.005
ORG	-0.49 ± 0.29	0.01 ± 0.005	0.21	0.17	0.020
CARC	-3.65 ± 1.45	0.15 ± 0.02	0.58	0.86	<0.001
NC	-6.55 ± 2.57	0.21 ± 0.04	0.49	1.52	<0.001
TOT	-10.20 ± 3.80	0.36 ± 0.07	0.55	2.25	<0.001
BCS lumbar (scale 0 – 5)					
OM	-3.95 ± 2.38	2.21 ± 0.89	0.20	1.17	0.022
MES	-0.42 ± 0.63	0.52 ± 0.24	0.17	0.31	0.038
PR	-1.73 ± 1.12	0.93 ± 0.42	0.17	0.55	0.037
ORG	-0.38 ± 0.37	0.23 ± 0.14	0.10	0.18	0.116
CARC	-5.79 ± 1.64	3.94 ± 0.62	0.63	0.81	<0.001
NC	-6.30 ± 3.57	4.50 ± 1.34	0.32	1.76	0.003
TOT	-12.08 ± 5.07	8.44 ± 1.91	0.45	2.50	0.001
BCS sternal (scale 0 – 5)					
OM	-3.08 ± 2.37	1.87 ± 0.89	0.16	1.20	0.047
MES	-0.49 ± 0.60	0.55 ± 0.22	0.20	0.30	0.023
PR	-1.45 ± 1.10	0.83 ± 0.42	0.14	0.56	0.057
ORG	-0.28 ± 0.37	0.19 ± 0.14	0.07	0.19	0.183
CARC	-4.76 ± 1.76	3.55 ± 0.66	0.54	0.90	<0.001
NC	-4.95 ± 3.59	3.99 ± 1.35	0.27	1.82	0.007
TOT	-9.71 ± 5.21	7.54 ± 1.96	0.38	2.64	0.001

^a $y = a + bx$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat.

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC.

Table 3

Regression equations^a, coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimate of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all fat combined^c (y variables) based on the pre-slaughter measurement values lumbar, sternal and perirenal fat thickness depths measured by ultrasound (FTUS_l, FTUS_s and FTUS_{pr}, respectively) (x variables).

	Intercept $\pm$ SE	$b \pm$ SE	R^2	RSD	P value
Lumbar fat thickness (FTUS _l)					
OM	-0.46 ± 0.92	1.04 ± 0.39	0.23	1.16	0.012
MES	0.37 ± 0.24	0.27 ± 0.10	0.23	0.30	0.012
PR	-0.38 ± 0.42	0.50 ± 0.18	0.25	0.53	0.008
ORG	-0.003 ± 0.14	0.10 ± 0.06	0.10	0.18	0.120
CARC	2.07 ± 0.92	1.13 ± 0.39	0.27	1.16	0.007
NC	1.10 ± 1.40	2.01 ± 0.59	0.33	1.76	0.002
TOT	3.16 ± 2.23	3.14 ± 0.95	0.32	2.81	0.002
Sternal fat thickness (FTUS _s)					
OM	-1.81 ± 1.05	0.16 ± 0.05	0.35	1.06	0.001
MES	0.17 ± 0.29	0.03 ± 0.01	0.24	0.29	0.011
PR	-1.01 ± 0.48	0.08 ± 0.02	0.37	0.48	0.001
ORG	0.02 ± 0.19	0.01 ± 0.01	0.05	0.19	0.278
CARC	-0.04 ± 0.88	0.21 ± 0.04	0.55	0.89	<0.001
NC	-1.11 ± 1.57	0.30 ± 0.07	0.44	1.59	0.001
TOT	-1.15 ± 2.33	0.51 ± 0.10	0.51	2.36	<0.001
Perirenal fat thickness (FTUS _{pr})					
OM	-0.53 ± 0.26	2.23 ± 0.22	0.81	0.57	<0.001
MES	0.48 ± 0.11	0.45 ± 0.09	0.49	0.24	<0.001
PR	-0.40 ± 0.10	1.06 ± 0.09	0.86	0.22	<0.001
ORG	0.14 ± 0.09	0.08 ± 0.07	0.05	0.19	0.283
CARC	2.88 ± 0.46	1.64 ± 0.49	0.42	1.01	0.001
NC	1.94 ± 0.51	3.44 ± 0.43	0.73	1.11	<0.001
TOT	4.82 ± 0.93	5.07 ± 0.78	0.63	2.03	<0.001

^a $y = a + bx$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC

Table 4

Regression equations^a, coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimate of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all fat combined^c (y variables) based on the post-slaughter measurement values hot carcass weight, empty body weight, lumbar and sternal fat thickness depths measured by a digital caliper (FTDC_l and FTDC_s, respectively) (x variables).

	Intercept $\pm$ SE	$b \pm$ SE	R^2	RSD	<i>P</i> value
Hot carcass weight					
OM	-4.00 ± 1.39	0.24 ± 0.06	0.43	0.99	0.001
MES	-0.81 ± 0.31	0.07 ± 0.01	0.58	0.22	<0.001
PR	-1.95 ± 0.65	0.11 ± 0.03	0.42	0.46	0.001
ORG	-0.32 ± 0.25	0.02 ± 0.01	0.17	0.18	0.037
CARC	-3.55 ± 0.80	0.34 ± 0.03	0.82	0.57	<0.001
NC	-5.89 ± 1.83	0.47 ± 0.07	0.63	1.30	<0.001
TOT	-9.44 ± 2.43	0.81 ± 0.10	0.74	1.73	<0.001
Empty body weight					
OM	-4.30 ± 1.34	0.13 ± 0.03	0.47	0.95	0.001
MES	-0.86 ± 0.30	0.04 ± 0.01	0.61	0.21	<0.001
PR	-2.08 ± 0.63	0.06 ± 0.01	0.46	0.44	0.001
ORG	-0.42 ± 0.24	0.01 ± 0.01	0.23	0.17	0.012
CARC	-3.20 ± 0.95	0.16 ± 0.02	0.74	0.67	<0.001
NC	-6.44 ± 1.69	0.25 ± 0.03	0.68	1.20	<0.001
TOT	-9.64 ± 2.40	0.42 ± 0.05	0.74	1.70	<0.001
Lumbar fat thickness (FTDC _l)					
OM	1.52 ± 1.12	0.16 ± 0.51	0.01	1.31	0.760
MES	0.75 ± 0.29	0.10 ± 0.13	0.02	0.33	0.473
PR	0.72 ± 0.52	0.01 ± 0.24	0.01	0.61	0.976
ORG	-0.10 ± 0.15	0.15 ± 0.07	0.17	0.18	0.036
CARC	3.42 ± 1.11	0.56 ± 0.51	0.05	1.29	0.279
NC	4.65 ± 1.82	0.45 ± 0.83	0.01	2.12	0.591
TOT	8.07 ± 2.86	1.02 ± 1.31	0.02	3.32	0.444
Sternal fat thickness (FTDC _s)					
OM	-1.97 ± 1.03	0.17 ± 0.04	0.37	1.03	0.001
MES	0.09 ± 0.29	0.04 ± 0.01	0.28	0.29	0.005
PR	-1.09 ± 0.47	0.08 ± 0.02	0.40	0.47	0.001
ORG	-0.08 ± 0.18	0.01 ± 0.01	0.11	0.18	0.099
CARC	-0.34 ± 0.82	0.22 ± 0.04	0.61	0.82	<0.001
NC	-1.55 ± 1.50	0.32 ± 0.07	0.50	1.51	<0.001
TOT	-1.89 ± 2.20	0.54 ± 0.10	0.57	2.21	<0.001

^a $y = a + bx$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat.

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC.

Table 5

Multiple regression equations^a and coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimates of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all the fat depots combined^c (y variables) based on the pre-slaughter measurement values body weight (BW), lumbar and sternal body condition scores (BCS_l and BCS_s , respectively), heart girth, and lumbar, sternal and perirenal fat thickness depths measured by ultrasound ($FTUS_l$, $FTUS_s$ and $FTUS_{pr}$, respectively) (x variables).

Step	Dependent variable (y)	Independent variables (x)	Intercept $\pm$ SE ^d	$b \pm SE$	R^2	RSD
1	OM	$FTUS_{pr}$	-7.77 ± 2.85	2.10 ± 0.27	0.79	0.65
2		Heart girth		0.08 ± 0.03	0.85	0.57
1	MES	$FTUS_{pr}$	-2.43 ± 1.13	0.35 ± 0.11	0.46	0.26
2		Heart girth		0.03 ± 0.01	0.62	0.23
1	PR	$FTUS_{pr}$	-1.66 ± 0.50	0.97 ± 0.11	0.84	0.26
2		BW		0.02 ± 0.01	0.88	0.23
1	ORG	$FTUS_l$	-0.21 ± 0.15	0.07 ± 0.03	0.09	0.19
2		BW		0.004 ± 0.003	0.40	0.07
1	CARC	$FTUS_{pr}$	-7.63 ± 1.14	0.80 ± 0.23	0.47	1.09
2		BW		0.09 ± 0.02	0.79	0.70
3		BCS_l		2.25 ± 0.47	0.92	0.46
1	NC	$FTUS_{pr}$	-18.21 ± 3.57	2.59 ± 0.36	0.70	1.25
2		Heart girth		0.19 ± 0.04	0.89	0.76
3		BCS_l		1.32 ± 0.75	0.91	0.71
1	TOT	$FTUS_{pr}$	-15.80 ± 2.85	3.22 ± 0.58	0.62	2.28
2		BW		0.22 ± 0.05	0.86	1.44
3		BCS_l		3.79 ± 1.18	0.92	1.14

^a All regressions are significant at $P < 0.05$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat.

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC.

^d The intercept is the same within each group of equations predicting the same dependent variable.

Table 6

Multiple regression equations^a and coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimates of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all the fat depots combined^c (y variables) based on the post-slaughter measurement values hot carcass weight (HCW), empty body weight (EBW), and lumbar and sternal fat thickness depths measured by a digital caliper (FTDC_l and FTDC_s, respectively) (x variables).

Step	Dependent variable (y)	Independent variable(s) (x)	Intercept $\pm$ SE ^d	$b \pm$ SE	R^2	RSD
1	OM	EBW	-4.46 ± 1.31	0.09 ± 0.03	0.47	0.95
2		FTDC _s		0.08 ± 0.05	0.52	0.92
1	MES	EBW	-0.86 ± 0.30	0.04 ± 0.01	0.61	0.21
1		EBW	-2.16 ± 0.60	0.04 ± 0.02	0.46	0.44
2	PR	FTDC _s		0.04 ± 0.02	0.53	0.43
1		EBW	-0.54 ± 0.24	0.01 ± 0.005	0.23	0.17
2		FTDC _l		0.11 ± 0.07	0.32	0.16
1	CARC	HCW	-3.83 ± 0.55	0.36 ± 0.07	0.82	0.57
2		FTDC _s		0.12 ± 0.02	0.91	0.40
3		EBW		-0.06 ± 0.04	0.92	0.38
1	NC	EBW	-6.70 ± 1.58	0.19 ± 0.04	0.68	1.20
2		FTDC _s		0.14 ± 0.06	0.74	1.12
1	TOT	HCW	-10.44 ± 2.00	0.60 ± 0.10	0.74	1.73
2		FTDC _s		0.27 ± 0.08	0.83	1.41

^a All regressions are significant at $P < 0.05$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat.

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC.

^d The intercept is the same within each group of equations predicting the same dependent variable.

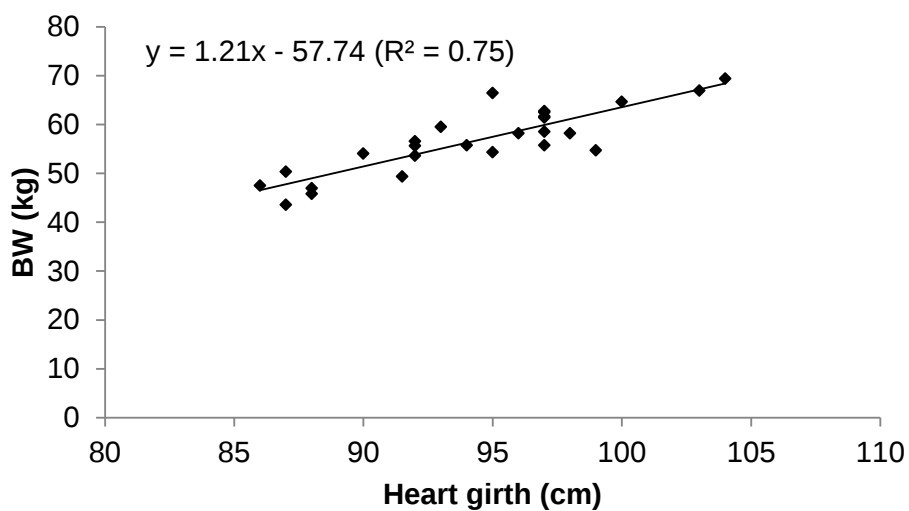


Fig. 1. Relationship between heart girth and body weight in lactating Saanen goats.

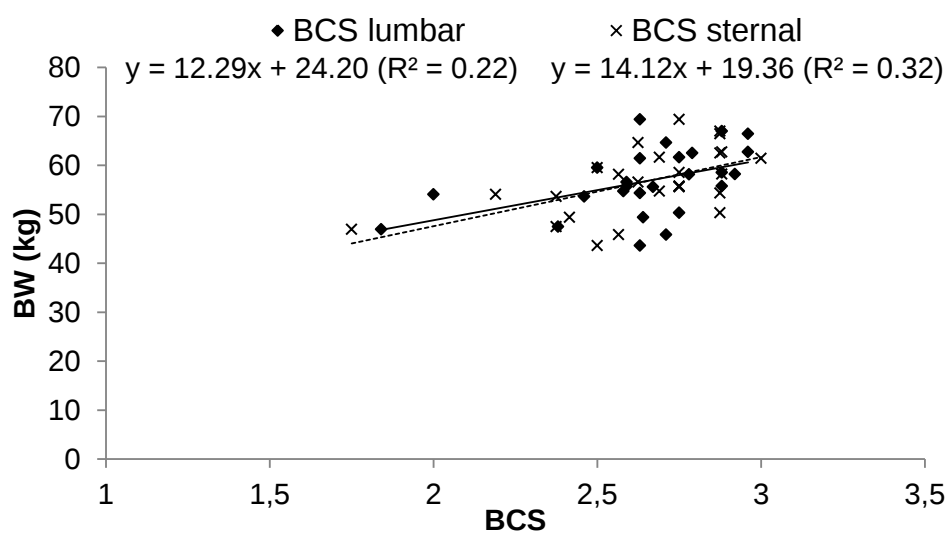


Fig. 2. Relationship between lumbar or sternal body condition score (BCS, scale 0 – 5) and body weight (BW) in lactating Saanen goats.

Pre- and post-slaughter methodologies to estimate fat reserves in lactating Sarda ewes

Running title: Estimating fat reserves in Sarda ewes

Highlights

- Body measurements are not recommended to predict fat depots in lactating Sarda ewes
- A new methodology for BCS, from tail, provided good results to estimate fat depots
- Perirenal fat thickness measured by ultrasound can estimate adequately fat reserves
- Hot carcass weight is a good post-slaughter predictor of fat content

Abstracts

This study aimed to compare pre and post slaughter methodologies to estimate fat reserves in ewes. Twenty-six lactating Sarda ewes ranging from 31.4 to 58.2 kg of BW and from 1.88 to 3.75 BCS were used. Fifteen pre-slaughter measurements, withers height (WH); sternum height (SH); shoulder width (SW); heart girth (HG); height of rump (HR); depth of chest (DC); pelvis width (PW); body length (BL); BCS assessed in the lumbar region (conventional method, BCS_l) and in the tail region (BCS_t), and fat thickness, measured by ultrasound, in the lumbar (FTUS_l), perirenal (FTUS_{pr}) and tail regions (FTUS_t), and four post-slaughter measurements, hot carcass weight (HCW), empty body weight (EBW), and fat thickness, measured by digital caliper, in the lumbar region

(FTDC_i) and tail region (FTDC_t) were used to predict the weight of fat in the omental (OM), mesenteric (MES), perirenal (PR), organs (ORG), carcass (CARC), non-carcass components (NC) and total (as the sum of CARC and NC, TOT) depots of ewes. BCS_t and HCW gave the most accurate predictions of the total fat among variables pre and post slaughter respectively ($R^2 = 0.84$ and 0.92 , RSD = 1.66 and 1.21 kg, respectively). Multiple regressions predicted total fat from the pre-slaughter variables FTUS_{pr}, BCS_t, FTUS_i and BW with an R^2 value of 0.96 (RSD = 0.96), which confirms that fat reserves can be predicted in lactating Sarda ewes with high precision using *in vivo* measures.

Keywords: body condition score, body measurements, fat tissue, prediction equation, sheep, ultrasound

1. Introduction

In mature sheep, body fat, and, to a lesser extent, body proteins vary during the production cycle depending on the energy balance of the animals. These variations are part of the adaptation of the animals to the availability of nutrients, but are also affected by various genetic and environmental factors. These variations induce differences in nutrient requirements (Berg and Butterfield, 1976). Indeed, the variations in body reserves are used to estimate the energy made available by body reserve losses or the cost of energy accumulation during periods of gain of body reserves (e.g. INRA, 1989; Cannas *et al.*, 2004). In addition, body reserves affect reproductive (Kenyon *et al.*, 2011) and productive performances, such as compensatory growth (Kamalzadeh *et al.*,

1998) or milk production during periods of negative energy balance (Cannas *et al.*, 2004).

For these reasons, the assessment of the body reserve status is of paramount importance. This is particularly true for dairy ewes, since their high milk production and the fact that they are often fed outdoors, and thus are markedly subjected to the effects of pasture availability and to environmental factors, make their body reserve variations particularly intense.

In scientific experimentation, the method most used to obtain body composition is slaughtering the animal, milling of all the body constituents and then analyzing in the laboratory. This method, however, is destructive, costly, very time consuming and of course does not allow the assessment of body reserves over time in the same animal. To reduce costs and labor, some post-slaughter methodologies, such as hot carcass weight, diameter of adipocytes (Mendizabal *et al.*, 2003), fat thickness with the use of caliper (Delfa *et al.*, 1992) have been successfully applied to estimate total body.

The prediction of body reserves, and especially of the body fat content in live animals can be made with subjective and objective methods (Scholz *et al.*, 2015). The subjective methods are those based on the visual and tactile assessment of body reserves and make the basis of the body condition score (BCS). They are very easy to be applied, but they are dependent on the evaluator's experience. The most used BCS scale for sheep was developed for meat animals by Russel *et al.* (1969). The objective methods are characterized by the determination of the body composition on live animals based on objective measurements. Many of them have been proposed for sheep, such as the tail fatness method (Teixeira *et al.*, 1989), the real-time ultrasound measurement in

the lumbar region (Delfa *et al.*, 1992), the assessment of body water using the deuterium oxide dilution technique (Bocquier *et al.*, 1999), adipose cell size (Mendizabal *et al.*, 2003), the ultrasound measurement in the perirenal region (Härter *et al.*, 2014), among others.

In dairy sheep, visceral fat depots are highly correlated with body composition (Ronchi *et al.*, 1993). It is well known that dairy breeds present a greater fat deposition in the visceral internal cavity instead of carcass fat compared to meat breeds (Kempster, 1981). For this reason, the straight application to dairy sheep of the methods developed for meat and wool sheep is not feasible.

To the best of our knowledge, there is lack of comparison in the same study of different subjective and objective methodologies to assess body fat in dairy ewes. Thus, the current work was conducted in mature dairy ewes to: (i) study the relationship between body condition score and body measurements with body weight and body fat, (ii) to compare pre and post slaughter methodologies as predictors to estimate fat depots and thus aimed (iii) to develop equations that could be useful to for being applied as an indicator of nutritional status in lactating Sarda ewes.

2. Material and Methods

2.1. Animals

The study was carried out using 26 mature lactating (ranging from 2 to 6 lactations) Sarda dairy ewes from the experimental flock belonging to the Agris research farm of Bonassai (NW Sardinia, Italy). Ewes were clinically healthy and had mean body weight (BW) of 46.8 ± 6.9 kg. Animals were milked twice a

day and had access to feed and water until slaughter and their care and use followed the Italian national law and ethic regulations (DL. No 116, 27/01/1992).

2.2. Pre-slaughter measurements

2.2.1. Somatic measurements and body condition score

The following somatic measurements, based on Cam *et al.* (2010), were made on all ewes 12 h before slaughter: withers height (WH), as the distance between the top of the withers to the ground; sternum height (SH), as the distance between the sternum and the ground; shoulder width (SW), as the horizontal distance between the processes on the left and on the right shoulder blade; heart girth (HG), was obtained as the smallest circumference around the animal just behind the foreleg; height of rump (HR) measured vertically to ground from top of pelvic girdle; depth of chest (DC), as the distance between the withers and the sternum; pelvis width (PW), measured between trochanters by a thickness compass and body length (BL), as the distance between the withers and the cross. The measurements of WH, SH, SW, HR and DC were done with a Lydtin metric stick (metal tube of 80 cm of length, with a maximum length of stick of approximately 230 cm). The measurements of HG and BL were made using a linear meter. Body weight (BW) was measured with an electronic scale immediately after slaughter (blood was collected and weighed).

The lumbar BCS was evaluated by two experienced workers using the Russel *et al.* (1969) reference scale (0 to 5 score) and technique, with intervals of 0.25 units. The BCS was assessed at the moment of the selection of the ewes and at the end of the trial, just before slaughtering. At the same time the tail fat deposition (tail fatness score) was assessed and scored by the same two expert

assessors using Teixeira *et al.* (1989) reference scale (1 to 3 grade) adapted on a five-point scale, with intervals of 0.25 units, defined as:

- Grade 1: all the tail vertebrae can be felt easily and there is no fat cover.
- Grade 2: spinous and transverse processes of tail vertebrae are prominent but smooth and there is little fat cover.
- Grade 3: spinous and transverse processes have only a small elevation, are smooth and rounded; individual process can be felt only with firm pressure and there is moderate fat cover.
- Grade 4: spinous processes can be detected with high pressure. Transverse process of tail vertebrae cannot be felt and there is thick fat cover.
- Grade 5: spinous and transverse processes cannot be felt even with firm pressure. Tail is very full with very thick fat cover.

2.2.2. Measurement of fat thickness using ultrasound

The fat thickness was measured 16 h before slaughter using a real time ultrasound system (Esaote S.p.A., model MyLab One, Genova, Italy). Trichotomy of the area was performed and gel was used as a coupling agent to improve the quality of images. Ultrasound pictures were taken twice on three different anatomical sites: (1) in the area of the *Longissimus* muscle around 13th thoracic vertebrae (last rib), by using a ultrasound probe SL3323 VET (Esaote S.p.A. Genova, Italy), (array of 13-6 Mhz and 40-mm length) to measure the lumbar fat thickness measured by ultrasound (FTUS_l); (2) perirenal fat thickness (FTUS_{pr}), measured behind the 13th rib on the right side of the body using ultrasound probe SV3513 VET (array of 10-5 Mhz and 50-mm length),

according to Härter *et al.* (2014); and (3) tail fat thickness (FTUS_t) measured using ultrasound probe SL3323 VET (array of 13-6 Mhz and 40-mm length) positioned perpendicularly to the 2nd coccygeal vertebrae. Images were obtained with a linear probe (transducer) of 6 Mhz and silicone acoustic attachment (standoff) for FTUS_i and FTUS_t measurements and a 8 Mhz convex transducer for FTUS_{pr} measurements. The pictures were stored on a computer and later the program MyLab Desk™/ Desk³ (Esaote S.p.A. Genova, Italy) as used to obtain the measurements.

2.3. Post-slaughter measurements

2.3.1. Slaughter procedures, hot carcass and empty body weight

The ewes were slaughtered under general anesthesia and exsanguinated from the jugular vein in the facilities of the Hospital of the Veterinary Department of the University of Sassari (Sassari, Sardinia, Italy). The weights of blood, head, skin, feet, tail, empty viscera (rumen-reticulum, omasum, abomasum, small intestine and large intestine), mesentery, internal fat, liver, heart, kidneys, spleen, lungs, tongue, esophagus, trachea and reproductive system were recorded. After the ewes had been slaughtered and eviscerated, the hot carcass weight was recorded (HCW). The digestive tract compartments were isolated, weighed, emptied and weighed again. The empty body weight (EBW) was calculated by difference of live weight and the content of the gastrointestinal tract, bladder and gallbladder empty. The fat tissue surrounding the digestive tract (omental and mesenteric fat) was removed along with any associated connective tissue and weighed. Perirenal fat was weighed after

removal of the kidneys and organs fat from heart, liver and lungs were also weighed after removal of each organ.

2.3.2. Carcass measurements

Carcasses were stored at 4°C for 24 h in a cooler. Then carcasses were split down the backbone with a band saw into two halves (right and left). The right half of each carcass was ribbed at the 12th and 13th thoracic vertebrae at the same anatomical points where measurements were taken on the live animal using ultrasound. Lumbar fat thickness was measured by using a digital caliper (FTDC_l). Similarly, a transversal cut was done at the 2nd coccyx vertebra and tail fat was measured using a digital caliper (FTDC_t).

2.3.3. Fat content on carcass and non-carcass components

The left sides of carcasses were frozen to be later used to determine their chemical composition, while all non-carcass components (digestive tract, pluck, reproductive tract and mammary gland), including head, wool and skin were stored in separate polyethylene bags at -20°C until preparation for analysis. All frozen components (carcass and non-carcass) were cut into pieces of 5-6 cm³, while still frozen, and then minced and ground by using a mill grinder (TC 42 Golia HP 10 HS, La Felsinea S.R., Padova, Italy). The ground samples were then mixed thoroughly with a mechanical mixer (ME 30, La Felsinea S.R., Padova, Italy) and samples in three replicates were taken. The samples were weighed, frozen at -80°C and, subsequently, analyzed for dry matter by liophilization (LyoLab 3000, Jouan Nordic, Allerød, Denmark). After dried, samples were reground in a blender (Knifetec Mill 1095, Foss, Höganäs,

Sweden) and analyzed for fat. Fat was determined by continuously extracting the samples with petroleum ether for 6 h by using the AOAC methods (AOAC International, 2005; method 920.39).

2.4. Statistical analysis

The statistical analyses were performed using linear single variables using the GLM procedure of the SAS software (version 9.2, SAS System Inc., Cary, NC, USA) to the weights of fat in the different depots, as dependent variables (y) and as independent variables (x): BW, BCS lumbar, BCS tail, Somatic measurements, FTUS_l, FTUS_t, FTUS_{pr}, HCW, EBW, FTDC_l, FTDC_t. The variables included in the multiple regressions were selected using the REG procedure with the STEPWISE method of SAS ($P < 0.05$). Finally, we proposed simple equations to estimate fat under field conditions without ultrasound, using the REG procedure with the STEPWISE method of SAS.

3. Results

3.1. Pre-slaughter measurements

3.1.1. Somatic measurements

Heart girth ranged from 78 to 98 cm, with a mean of 91 cm (Table 1). Among all somatic measurements only heart girth had regression coefficients significantly different from zero ($P < 0.05$). The relationship between heart girth (HG) and body weight was $BW \text{ (kg)} = 1.3 \times HG \text{ (cm)} - 70.8$ ($r^2 = 0.69$), showing a mean heart girth difference of 1.3 cm per unit (kg) of BW (Figure 1).

3.1.2. Body weight

Body weight after slaughter (summed with blood from exsanguinations) ranged from 31.4 to 58.2 kg, with a mean of 46.8 kg (Table 1). The regressions between the weight of fat in each of the different fat depots and BW (Table 2) had determination coefficients (r^2) that varied between 0.46 for the perirenal (PR) depot (RSD = 0.63 kg) and 0.77 for carcass depot (RSD = 1.02 kg). The determination coefficient for the relationship between the total weight of fat (sum of fat on carcass and on non-carcass components) and BW was 0.72 (RSD = 2.24 kg).

3.1.3. Body condition score

BCS assessed at lumbar or tail point had mean of 3.0, but tail BCS detected lower fatness than lumbar BCS (1.29 vs 1.88, respectively) (Table 1). The regression equations for prediction of the weights of fat depots using tail BCS had r^2 values higher than lumbar BCS, except for organs fat. The r^2 values for tail BCS varied between 0.59 and 0.86 for organs and carcass fat and between 0.63 and 0.82 for mesentery and carcass fat for lumbar BCS (Table 2). The relationship between body condition score and body weight in lactating Sarda ewes provided similar r^2 for accessing lumbar and tail region (Figure 2). Nevertheless, the equations to predict BW using BCS differed numerically, but with the same precision. For lumbar BCS, the equation was $BW \text{ (kg)} = 13.58 \text{ BCS} + 5.86$ ($r^2 = 0.70$) and for tail BCS the equation was $BW \text{ (kg)} = 10.72 \text{ BCS} + 14.67$ ($r^2 = 0.71$).

3.1.4. Ultrasound measurements

Thickness of fat in the lumbar region measured using ultrasound ranged from 1.4 to 10.1 mm, with a mean of 5.3 mm (SD = 3.0). At the tail, the fat was much greater, ranging from 2.4 to 19.4 mm, with a mean of 9.4 mm (SD = 4.8). Perirenal fat was even higher, ranging from 3.0 to 20.1 mm, with a mean of 11.2 mm (SD = 4.4) (Table 1). The determination coefficients of the equations, using thickness in the lumbar region, were slightly lower, with values varying between 0.33 for organs fat (RSD = 0.10) and 0.61 for carcass and for total fat (sum of carcass and non-carcass components, RSD = 1.34 and 2.62, respectively), than when thickness over tail was used, which resulted in values ranging from 0.41 for organs fat (RSD = 0.10) and 0.71 for perirenal fat (RSD = 0.47). Nevertheless, better r^2 was found using thickness in the perirenal region with values between 0.67 for organs fat (RSD = 0.07) and 0.83 for total fat (RSD = 1.79) (Table 3).

3.1.5. Multiple regressions

Inclusion of $FTUS_{pr}$ with $FTUS_l$ in the regression to predict omental fat improved the R^2 from 0.81 to 0.87 (RSD = 0.56 and 0.47 kg, respectively). Introducing $FTUS_{pr}$ in addition to BCS_t improved the prediction of mesenteric fat weight, increasing the R^2 value from 0.74 to 0.79 (RSD = 0.17 and 0.16, respectively). The weight of perirenal fat was best predicted by an equation that included $FTUS_{pr}$ and $FTUS_l$, increasing the R^2 value from 0.81 to 0.84 (RSD = 0.37 and 0.35, respectively). Prediction of organs fat weight was not improved by the addition of any other pre-slaughter variable. The carcass fat weight was best predicted by an equation with three variables, although most of the improvement occurred when BW was included with $FTUS_l$. Similarly, non-

carcass fat weight was best predicted by an equation with three variables, but in this case, most of the improvement occurred when $FTUS_{pr}$ was included with $FTUS_l$. The best equation to predict total fat weight included four variables, $FTUS_{pr}$, BCS_t , $FTUS_l$ and BW ($R^2 = 0.96$, $RSD = 0.96$).

3.2. Post-slaughter measurements

3.2.1. Hot carcass weight

Hot carcass weight varied between 10.1 and 27.2 kg with a mean of 20.3 kg ($SD = 4.6$ kg), corresponding to a mean killing out percentage ($100 \times HCW/BW$) of 42.8 ± 2.4 (Table 1). The values of R^2 for equations using HCW, varied from 0.61 for organs fat ($RSD = 0.08$ kg) to 0.96 for carcass fat ($RSD = 0.42$ kg), with a value of 0.92 for prediction of total fat ($RSD = 1.21$ kg) (Table 4).

3.2.2. Empty body weight

The empty body weight mean was 40.2 kg, with a variation between 24.0 to 53.4 kg (Table 1). The values of R^2 for equations using EBW varied from 0.57 for organs fat ($RSD = 0.08$ kg) to 0.89 for carcass fat ($RSD = 0.70$), with a value of 0.88 for prediction of total fat ($RSD = 1.44$ kg) (Table 4).

3.2.3. Digital caliper measurements

The mean depth of the fat measured by digital caliper in the lumbar and tail region, respectively, was 5.6 mm (range 1.0 – 13.4 mm) and 10.5 mm (range 2.6 – 19.0 mm) (Table 1). The determination coefficients of the equations using $FTDC_l$ as a predictor varied between 0.51 for organs fat ($RSD = 0.09$ kg) and 0.72 for carcass fat ($RSD = 1.14$ kg), and were more accurate than predictions

using $FTDC_t$, where values for R^2 varied between 0.38 for organs fat (RSD = 0.11 kg) and 0.63 for mesenteric fat (RSD = 0.28 kg).

3.2.4. Multiple regressions

The prediction of omental and organs fat weight, where HCW was the best single predictor, was not improved by the addition of any other post-slaughter variables. The inclusion of HCW with $FTDC_i$ in the equation to predict the weight of the mesenteric fat resulted in an improvement in the accuracy (R^2 value increased from 0.77 to 0.81). The addition of HCW with $FTDC_i$ increased the R^2 value from 0.69 to 0.74 (RSD = 0.48 and 0.45, respectively) in the equation to predict perirenal fat weight. The carcass fat weight was best predicted by an equation with three variables, although the addition of EBW and $FTDC_i$ represented very minor improvement in the precision. To predict non carcass fat weight, the developed equation used only HCW as variable with a R^2 value of 0.79 (RSD = 1.0 kg). For the prediction of the total fat weight, the inclusion of HCW with $FTDC_i$ increased the precision of prediction slightly, and explained 93% of the variation (RSD = 1.13 kg).

4. Discussion

Of the body dimensional characters, heart girth was the most related trait to body weight and fat depots. To estimate BW using this measurement we found that BW changed by 1.3 kg for each centimeter change in heart girth (Figure 1). Orji and Steinbach (1981) studied the correlation between some somatic measures, such as heart girth, height at withers, body length, and the body in Nigerian dwarf sheep and observed that heart girth was nearly perfectly

correlated to the BW. According to the regression equation between BW and lumbar BCS (Figure 2), the BW of lactating Sarda ewes changed by 13.6 kg for each unit change in BCS. This is 1.8 kg higher than the change in BW per unit of BCS found in Awassi ewes (Treacher and Filo, 1995), 2.3 kg higher than the change found in Scottish Blackface ewes (Russel *et al.*, 1969) and 6.3 kg higher than the change found in Australian Merinos ewes (Guerra *et al.*, 1972). Using tail BCS, a new methodology proposed in this study, the BW changed 10.7 kg for each unit change in BCS. Teixeira *et al.* (1989) proposed the tail fat deposition (tail fatness score) which employs a 1 to 3 score range with intervals of 0.50 units. Nevertheless, these authors did not presented data comparing the change in BW per unit of tail fatness score. For lumbar BCS, they found that in Rasa Aragonesa ewes the change in BW per unit change in condition score was 11.3 kg. The level of precision obtained when using BW to predict weights of fat depots was not high, with r^2 values between 0.46 and 0.59 for the perirenal and omental depots (RSD = 0.63 and 0.82 kg), respectively. Nevertheless, to predict carcass, non-carcass and total fat content, BW presented better estimations (r^2 values = 0.77, 0.60 and 0.72, respectively) adding precision in multiple regression equations for these variables.

The comparison of methods, using regression models employed to estimate fat reserves in this study, showed that the tail body condition score yielded the highest degree of precision ($r^2 = 0.84$) determining total fat content. The precision achieved using this measurement was slightly better than that achieved using traditional method of body condition score (lumbar BCS, $r^2 = 0.80$). The reason for these results was that a large amount of fat is stored in the tail region in Sarda dairy ewes (Gaias, 2012). Atti and Ben Hamouda (2004)

found that in Barbarine lambs the tail fat was highly correlated to total body fat ($r = 0.91$). This adipose depot is an important source of energy for these breeds during periods of food shortage. Among all somatic measurements taken, just heart girth presented significant correlation with fat depots. However, the determination coefficients of equations using heart girth were consistently lower, with values between 0.35 for organs fat (RSD = 0.10 kg) and 0.64 for carcass fat (RSD = 1.28 kg), than when BW at slaughter, lumbar or tail BCS were used. Estimates of all fat depots and total fat content using ultrasound measurements of perirenal fat thickness attained higher levels of precision, with r^2 values between 0.67 for organs fat and 0.83 for total fat, than the estimates calculated using the lumbar region (r^2 values ranging from 0.33 for organs fat to 0.61 for carcass fat) and also higher than the estimates calculated using tail region (r^2 values ranging from 0.41 for organs fat to 0.71 for perirenal fat). To the best of our knowledge, the present report is the first study using perirenal fat thickness as a tool to predict fat depots in sheep. In a previous study carried out using Saanen goats, Härter *et al.* (2014) observed that in dairy goats, abdominal fat is the main energy reserve. These same researchers found a significant correlation between perirenal fat thickness measured by ultrasound and BW and renal, omental and non-carcass fat. Therefore, our results confirm that perirenal fat thickness is more suitable than lumbar or tail for taking fat thickness measurements using ultrasound.

When considering the measurements that can be taken after slaughter, it is clear that the use of hot carcass weight (HCW) and empty body weight (EBW) results in a considerable improvement in the precision estimation of fat reserves, compared to BW. The use of HCW or EBW removes the large effect

that differences in gut contents have on BW (in this experiment, the weight of gut contents varied from 4.0 to 10.6 kg). Mendizabal *et al.* (2003) also found that HCW and EBW were the best post-slaughter predictors of the weights of fat depots in Rasa Aragonesa ewes.

Lumbar fat thickness measured by a digital caliper was a reasonable predictor of individual fat depots, with r^2 values between 0.51 for organs fat and 0.72 for carcass fat (Table 4). Nevertheless, these values are higher than those obtained with ultrasound. In contrast, tail fat thickness measured by a digital caliper was less associated to total fat depots ($r^2 = 0.58$) than tail fat thickness measured by ultrasound ($r^2 = 0.67$) and also lower than subcutaneous fat thickness using digital caliper ($r^2 = 0.70$). The soft fat covering the tail suffered slight deformation at the moment of the cut, which probably compromised the obtained values. Furthermore, tail could reach biological limit to deposit fat earlier than lumbar region, i.e., ewes can continue accumulating fat in the body but this accumulation is not followed by an increase in tail fatness, as Gaias (2012) shown with a curvilinear trend of tail fat and total body fat.

In the multiple regressions analysis, hot carcass weight was included as the first variable in all fat depots. In some cases, like in omental, organs fat and non-carcass fat content, HCW was the only variable used (Table 6). These results agree with those obtained by Mendizabal *et al.* (2003) that found that hot carcass weight was the most used post-slaughter variable to predict fat depots in Rasa Aragonesa ewes, confirming the importance of this easy measurement to predict fat depots.

Considering the main results obtained with the regression analysis, the recommended equations to be used at field level might be summarized in:

- 397 (1) OM: $1.22 + 0.97 \times \text{BCS}_t - 0.10 \times \text{BL} + 0.10 \times \text{BW}$ ($R^2 = 0.84$)
- 398 (2) MES: $-1.14 + 0.42 \times \text{BCS}_t + 0.03 \times \text{WH} - 0.04 \times \text{SH}$ ($R^2 = 0.82$)
- 399 (3) PR: $0.87 + 1.15 \times \text{BCS}_t - 0.09 \times \text{SW} - 0.05 \times \text{SH}$ ($R^2 = 0.81$)
- 400 (4) ORG: $-0.35 + 0.25 \times \text{BCS}_t - 0.03 \times \text{RL} + 0.02 \times \text{PW}$ ($R^2 = 0.78$)
- 401 (5) CARC: $-2.78 + 2.11 \times \text{BCS}_t - 0.12 \times \text{SH} + 0.12 \times \text{BW}$ ($R^2 = 0.93$)
- 402 (6) NC: $4.31 + 1.91 \times \text{BCS}_t - 0.18 \times \text{BL} + 0.15 \times \text{BW}$ ($R^2 = 0.89$)
- 403 (7) TOT: $-2.07 + 4.38 \times \text{BCS}_t - 0.30 \times \text{SH} + 0.19 \times \text{BW}$ ($R^2 = 0.93$)

404

405 5. Conclusions

406 In conclusion, tail BCS seems to be a new and good tool to predict fat depots in
 407 lactating Sarda ewes, presenting results even better than those obtained by
 408 conventional BCS. In respect of the use of ultrasound, better estimations were
 409 obtained when the measurement were made in perirenal region than in lumbar
 410 and tail region. The best variable to predict carcass and total fat content was hot
 411 carcass weight with a high predictive accuracy (R^2 value of 0.96 and 0.92,
 412 respectively). However, methodologies able to predict weights of fat reserves in
 413 live animals are preferable. Our results confirm the importance to develop new
 414 methodologies as tail BCS and perirenal fat thickness as fat reserves predictors
 415 in Sarda dairy ewes.

416

417 Acknowledgements

418 This research was financially supported by the Autonomous Region of Sardinia.
 419 We would like to thank the staff of the Department of AGRIS for scientific and
 420 technical support. The authors are grateful to CNPq (Conselho Nacional de
 421 Desenvolvimento Científico e Tecnológico) for giving a doctor scholarship to the

first author and to CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de
Nível Superior) for giving a intership (“Sandwich Program”) to the first author in
Italy (BEX: 1865/14-5)

Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest.

References

- AOAC International. 2005. Official Methods of Analysis, 18th ed. Assoc. of Offic.
Anal. Chem. Int., Gaithersburg, MD.
- Atti, N., Ben Hamouda, M., 2004. Relationships among carcass composition
and tail measurements in fat-tailed Barbarine sheep. *Small Rumin. Res.* 53,
151–155.
- Berg, R.T., Butterfield, R.M., 1966. Muscle: bone ratio and fat percentage as
measures of beef carcass composition. *Anim. Sci.* 8, 1–11.
- Bocquier, F., Guillouet, P., Barillet, F., Chilliard, Y., 1999. Comparison of three
methods for the in vivo estimation of body composition in dairy ewes.
Annales de Zootechnie 48, 297–308.
- Cam, M.A., Olfaz, M., Soydan, E., 2010. Possibilities of using morphometrics
characteristics as a tool for body weight prediction in Turkish hair goats
(Kilkeci). *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 5, 52–59.
- Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell, A.N., Van Soest, P.J., 2004. A
mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed
biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82, 149–169.

- 446 Delfa, R., Blasco, I., Colomer-Rocher, F., Teixeira, A., 1992. Ultrasonic
447 estimates of fat thickness, C measurement and *longissimus dorsi* depth in
448 Rasa Aragonesa ewes with same body condition score, in: Purroy, A. (Ed.),
449 Etat corporel des brebis et chèvres. CIHEAM, Zaragoza, pp. 25–30.
- 450 Gaias, G., 2012. Body condition score and body composition of Sarda dairy
451 ewes. Thesis (Animal Science Doctorate). Università degli studi di Sassari,
452 Sassari, Italy, p. 148.
- 453 Guerra, J.C., Thwaites, C.J., Edey, T.N., 1972. Assessment of the proportion of
454 chemical fat in the bodies of live sheep. J. Agric. Sci. (Cambridge) 78, 147–
455 149.
- 456 Härter, C.J., Silva, H.G.O., Lima, L.D., Castagnino, D.S., Rivera, A.R., Neto,
457 O.B., Gomes, R.A., Canola, J.C., Resende, K.T., Teixeira, I.A.M.A., 2014.
458 Ultrasonographic measurements of kidney fat thickness and *Longissimus*
459 muscle area in predicting body composition of pregnant goats. Anim. Prod.
460 Sci. 54, 1481–1485.
- 461 INRA, 1989. Ruminant nutrition. Recommended allowances and feed tables. R.
462 Jarrige, ed. INRA, Paris.
- 463 Kamalzadeh, A., Koops, W.J., van Bruchem, J., Tamminga, S., Zwart, D., 1998.
464 Feed quality restriction and compensatory growth in growing sheep:
465 development of body organs. Small Rumin. Res. 29, 71–82.
- 466 Kempster, A.J., 1981. Fat partition and distribution in the carcasses of cattle,
467 sheep and pigs: A review. Meat Sci. 5, 83–98.
- 468 Kenyon, P.R., Morel, P.C.H., Morris, S.T., 2004. Effect of liveweight and
469 condition score of ewes at mating, and shearing mid-pregnancy, on

- 470 birthweights and growth rates of twin lambs to weaning. N. Z. Vet. J. 52,
471 145–149.
- 472 Mendizabal, J.A., Delfa, R., Arana, A., Eguinoa, P., González, C., Treacher, T.,
473 Purroy, A., 2003. Estimating fat reserves in Rasa Aragonesa ewes: A
474 comparison of different methods. Can. J. Anim. Sci. 83, 695–701.
- 475 Orji, B.I., Steinbach, J., 1981. Post-weaning growth and development of
476 Nigerian Dwarf sheep. Trop. Anim. Health Prod. 13, 101–106.
- 477 Ronchi, B., Bernabucci, U., and Bertoni, G. 1993. Valutazione comparata del
478 metodo body condition score (BCS) nelle razze ovine Sarda e Lacune. Proc.
479 XLVII congress S.I.S.VET (Italy), 88: 1985–1989.
- 480 Scholz, A.M., Bünger, L., Kongsro, J., Baulain, U., Mitchell, A.D., 2015. Non-
481 invasive methods for the determination of body and carcass composition in
482 livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography,
483 magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. Animal 9,
484 1250–64.
- 485 Russel, A.J.F., Doney, J.M., Gunn, R.G., 1969. Subjective assessment of body
486 fat in live sheep. J. Agric. Sci. (Cambridge) 72, 451–454.
- 487 Tedeschi, L.O., 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models.
488 Agricultural Systems 89, 225–247.
- 489 Teixeira, A., Delfa, R., Colomer-Rocher, F., 1989. Relationships between fat
490 depots and body condition score or tail fatness in the Rasa Aragonesa
491 breed. Anim. Sci. 49, 275–280.
- 492 Treacher, T., Filo, S., 1995. Relationships between fat depots and body
493 condition score or live weight in Awassi ewes, in: Purroy, A. (Ed.), Body

494 condition of sheep and goats: Methodological aspects and applications,
495 CIHEAM, Zaragoza, pp. 13–17.

Table 1

Somatic measurements, body weight, lumbar and tail body condition scores (BCS), hot carcass weight, empty body weight, lumbar, tail and perirenal fat thickness depth measured by ultrasound (FTUS_l, FTUS_t and FTUS_{pr}, respectively), lumbar and tail fat thickness depth measured by digital caliper (FTDC_l and FTDC_t, respectively), and fat depot weights.

	Mean	Minimum	Maximum	SD
<i>Somatic measurements (cm)</i>				
Wither height	62.8	58.0	68.0	2.5
Height of rump	67.2	60.0	74.0	3.4
Rump length	18.8	15.0	24.0	2.2
Pelvis width	19.4	15.0	26.0	2.5
Depth of chest	30.7	25.0	34.0	1.8
Shoulder width	19.3	16.5	24.0	2.1
Heart girth	90.9	78.0	98.0	4.5
Body length	65.7	56.0	75.0	4.9
Sternum height	30.7	25.0	40.0	3.8
Body weight (kg)	46.8	31.4	58.2	6.9
BCS lumbar (scale 1 – 5)	3.01	1.88	3.75	0.4
BCS tail (scale 1 – 5)	3.00	1.29	3.69	0.5
Hot carcass weight (kg)	20.3	10.1	27.2	4.6
Empty body weight (kg)	40.2	24.0	53.4	7.6
FTUS _l (mm)	5.3	1.4	10.1	3.0
FTDC _l (mm)	5.6	1.0	13.4	3.4
FTUS _t (mm)	9.4	2.4	19.4	4.8
FTDC _t (mm)	10.5	2.6	19.0	4.6
FTUS _{pr} (mm)	11.2	3.0	20.1	4.4
<i>Fat depot weight (kg)</i>				
Omental	2.0	0.1	4.5	1.2
Mesenteric	0.7	0.1	1.3	0.3
Perirenal	1.1	0.1	2.9	0.8
Organs fat (heart, liver and lungs)	0.2	0.0	0.4	0.1
<i>Total fat (kg)</i>				
Carcass	5.4	1.1	8.9	2.1
Non carcass	5.5	2.0	9.0	2.1
Carcass and non carcass	10.9	3.1	17.2	4.1

Table 2

Regression equations^a, coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimate of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all fat combined^c (y variables) based on the pre-slaughter measurement values body weight (BW), lumbar and tail body condition scores and heart girth (x variables).

	Intercept $\pm$ SE	$b \pm$ SE	R^2	RSD
<i>BW at slaughter</i>				
OM	-4.50 ± 1.12	0.14 ± 0.02	0.59	0.82
MES	-1.00 ± 0.29	0.04 ± 0.01	0.58	0.21
PR	-2.82 ± 0.86	0.08 ± 0.02	0.46	0.63
ORG	-0.34 ± 0.12	0.01 ± 0.003	0.47	0.09
CARC	-7.02 ± 1.40	0.26 ± 0.03	0.77	1.02
NC	-5.73 ± 1.88	0.24 ± 0.04	0.60	1.38
TOT	-12.74 ± 3.05	0.50 ± 0.06	0.72	2.24
<i>BCS lumbar (scale 1 - 5)</i>				
OM	-5.12 ± 1.09	2.36 ± 0.36	0.64	0.77
MES	-1.14 ± 0.29	0.60 ± 0.09	0.63	0.20
PR	-3.70 ± 0.74	1.58 ± 0.24	0.64	0.52
ORG	-0.48 ± 0.10	0.23 ± 0.03	0.66	0.07
CARC	-8.07 ± 1.28	4.46 ± 0.42	0.82	0.90
NC	-7.15 ± 1.72	4.19 ± 0.57	0.70	1.20
TOT	-15.22 ± 2.72	8.65 ± 0.89	0.80	1.90
<i>BCS tail (scale 1 - 5)</i>				
OM	-3.79 ± 0.78	1.93 ± 0.26	0.70	0.70
MES	-0.80 ± 0.21	0.49 ± 0.07	0.68	0.19
PR	-2.73 ± 0.55	1.26 ± 0.18	0.67	0.50
ORG	-0.29 ± 0.09	0.17 ± 0.03	0.59	0.08
CARC	-5.32 ± 0.89	3.56 ± 0.29	0.86	0.80
NC	-4.70 ± 1.22	3.40 ± 0.40	0.75	1.09
TOT	-10.02 ± 1.86	6.96 ± 0.61	0.84	1.66
<i>Heart girth (cm)</i>				
OM	-17.26 ± 3.29	0.21 ± 0.04	0.59	0.82
MES	-3.58 ± 1.00	0.05 ± 0.01	0.43	0.25
PR	-11.16 ± 2.38	0.13 ± 0.03	0.52	0.59
ORG	-1.24 ± 0.40	0.02 ± 0.004	0.35	0.10
CARC	-28.17 ± 5.13	0.37 ± 0.06	0.64	1.28
NC	-25.76 ± 6.00	0.34 ± 0.07	0.53	1.50
TOT	-53.93 ± 10.5	0.71 ± 0.11	0.61	2.62

^a $y = a + bx$. All regressions are significant at $P < 0.05$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat.

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC.

Table 3

Regression equations^a, coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimate of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all fat combined^c (y variables) based on the pre-slaughter measurement values lumbar, tail and perirenal fat thickness depths measured by ultrasound (FTUS_l, FTUS_t and FTUS_{pr}, respectively) (x variables).

	Intercept $\pm$ SE	$b \pm$ SE	R^2	RSD
<i>Lumbar fat thickness (FTUS_l)</i>				
OM	-0.32 ± 0.33	0.31 ± 0.05	0.58	0.83
MES	0.29 ± 0.10	0.07 ± 0.02	0.46	0.24
PR	-0.01 ± 0.24	0.20 ± 0.04	0.53	0.59
ORG	0.10 ± 0.04	0.02 ± 0.01	0.33	0.10
CARC	2.51 ± 0.54	0.54 ± 0.09	0.61	1.34
NC	2.68 ± 0.58	0.53 ± 0.10	0.56	1.45
TOT	5.18 ± 1.05	1.07 ± 0.17	0.61	2.62
<i>Tail fat thickness (FTUS_t)</i>				
OM	0.10 ± 0.36	0.20 ± 0.03	0.59	0.82
MES	0.18 ± 0.09	0.05 ± 0.01	0.62	0.20
PR	-0.33 ± 0.20	0.15 ± 0.02	0.71	0.47
ORG	0.07 ± 0.04	0.02 ± 0.004	0.41	0.10
CARC	2.06 ± 0.55	0.35 ± 0.05	0.65	1.26
NC	2.17 ± 0.58	0.35 ± 0.05	0.63	1.33
TOT	4.23 ± 1.06	0.70 ± 0.10	0.67	2.42
<i>Perirenal fat thickness (FTUS_{pr})</i>				
OM	-0.63 ± 0.30	2.54 ± 0.26	0.81	0.56
MES	0.05 ± 0.09	0.62 ± 0.08	0.74	0.17
PR	-0.65 ± 0.20	1.68 ± 0.17	0.81	0.37
ORG	0.002 ± 0.04	0.21 ± 0.03	0.67	0.07
CARC	1.15 ± 0.56	4.10 ± 0.49	0.76	1.06
NC	1.06 ± 0.52	4.31 ± 0.45	0.81	0.98
TOT	2.21 ± 0.94	8.41 ± 0.82	0.83	1.79

^a $y = a + bx$. All regressions are significant at $P < 0.05$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat.

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC.

Table 4

Regression equations^a, coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimate of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all fat combined^c (y variables) based on the post-slaughter measurement values hot carcass weight, empty body weight, lumbar and tail fat thickness depths measured by a digital caliper (FTDC_l and FTDC_t, respectively) (x variables).

	Intercept $\pm$ SE	$b \pm$ SE	R^2	RSD
<i>Hot carcass weight</i>				
OM	-2.85 ± 0.57	0.24 ± 0.03	0.76	0.63
MES	-0.59 ± 0.14	0.06 ± 0.01	0.77	0.16
PR	-2.06 ± 0.43	0.15 ± 0.02	0.69	0.48
ORG	-0.20 ± 0.07	0.02 ± 0.003	0.61	0.08
CARC	-3.74 ± 0.38	0.45 ± 0.02	0.96	0.42
NC	-2.97 ± 0.91	0.42 ± 0.04	0.79	1.00
TOT	-6.71 ± 1.10	0.87 ± 0.05	0.92	1.21
<i>Empty body weight</i>				
OM	-3.77 ± 0.69	0.14 ± 0.02	0.75	0.64
MES	-0.81 ± 0.18	0.04 ± 0.004	0.75	0.16
PR	-2.57 ± 0.54	0.09 ± 0.01	0.66	0.50
ORG	-0.27 ± 0.09	0.01 ± 0.002	0.57	0.08
CARC	-5.12 ± 0.75	0.26 ± 0.02	0.89	0.70
NC	-4.59 ± 1.08	0.25 ± 0.03	0.79	1.00
TOT	-9.71 ± 1.56	0.51 ± 0.04	0.88	1.44
<i>Lumbar fat thickness (FTDC_l)</i>				
OM	0.43 ± 1.12	0.16 ± 0.51	0.56	0.85
MES	0.24 ± 0.07	0.08 ± 0.01	0.68	0.19
PR	-0.06 ± 0.20	0.20 ± 0.03	0.64	0.52
ORG	0.08 ± 0.03	0.03 ± 0.01	0.51	0.09
CARC	2.43 ± 0.44	0.52 ± 0.07	0.72	1.14
NC	2.68 ± 0.51	0.50 ± 0.08	0.63	1.33
TOT	5.10 ± 0.88	1.02 ± 0.13	0.70	2.29
<i>Tail fat thickness (FTDC_t)</i>				
OM	-0.01 ± 0.01	0.19 ± 0.05	0.47	1.14
MES	0.08 ± 0.06	0.06 ± 0.01	0.63	0.28
PR	-0.42 ± 0.13	0.14 ± 0.03	0.57	0.76
ORG	0.05 ± 0.02	0.02 ± 0.005	0.38	0.11
CARC	1.61 ± 0.58	0.36 ± 0.08	0.60	1.74
NC	1.80 ± 0.45	0.35 ± 0.08	0.55	1.87
TOT	3.41 ± 1.56	0.71 ± 0.15	0.58	3.49

^a $y = a + bx$. All regressions are significant at $P < 0.05$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat.

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC.

Table 5

Multiple regression equations^a and coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimates of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all the fat depots combined^c (y variables) based on the pre-slaughter measurement values body weight (BW), lumbar and tail body condition scores (BCS_l and BCS_t, respectively), heart girth, and lumbar, tail and perirenal fat thickness depths measured by ultrasound (FTUS_l, FTUS_t and FTUS_{pr}, respectively) (x variables).

Step	Dependent variable (y)	Independent variables (x)	Intercept $\pm$ SE ^d	$b \pm$ SE	R^2	RSD
1	OM	FTUS _{pr}	-0.80 ± 0.25	1.99 ± 0.27	0.81	0.56
2		FTUS _l		0.13 ± 0.04	0.87	0.47
1	MES	FTUS _{pr}	-0.38 ± 0.22	0.38 ± 0.13	0.74	0.17
2		BCS _t		0.23 ± 0.10	0.79	0.16
1	PR	FTUS _{pr}	-0.74 ± 0.19	1.41 ± 0.20	0.81	0.37
2		FTUS _l		0.07 ± 0.03	0.84	0.35
1	ORG	BCS _l	-0.48 ± 0.10	0.23 ± 0.03	0.66	0.07
1	CARC	BW	-4.82 ± 0.67	0.78 ± 0.23	0.77	1.02
2		FTUS _l		0.17 ± 0.02	0.94	0.67
3		FTUS _t		0.14 ± 0.03	0.96	0.46
1	NC	FTUS _{pr}	-1.29 ± 1.30	2.78 ± 0.61	0.81	0.98
2		FTUS _l		0.19 ± 0.07	0.86	0.85
3		BW		0.06 ± 0.04	0.88	0.81
1	TOT	FTUS _{pr}	-6.10 ± 1.63	3.74 ± 0.81	0.83	1.79
2		BCS _t		1.38 ± 0.89	0.91	1.30
3		FTUS _l		0.35 ± 0.09	0.94	1.12
4		BW		0.15 ± 0.05	0.96	0.96

^a All regressions are significant at $P < 0.05$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat.

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC.

^d The intercept is the same within each group of equations predicting the same dependent variable.

Table 6

Multiple regression equations^a and coefficient of determination (R^2) and residual standard deviation (RSD) values for estimates of the different fat depot^b weights (kg) and the total weight of all the fat depots combined^c (y variables) based on the post-slaughter measurement values hot carcass weight (HCW), empty body weight (EBW), and lumbar and tail fat thickness depths measured by a digital caliper (FTDC_l and FTDC_t, respectively) (x variables).

Step	Dependent variable (y)	Independent variable(s) (x)	Intercept $\pm$ SE ^d	$b \pm$ SE	R^2	RSD
1	OM	HCW	-2.85 ± 0.57	0.24 ± 0.03	0.76	0.63
1	MES	HCW	-0.38 ± 0.17	0.04 ± 0.01	0.77	0.16
2		FTDC _l		0.03 ± 0.01	0.81	0.15
1	PR	HCW	-1.46 ± 0.50	0.10 ± 0.03	0.69	0.48
2		FTDC _l		0.09 ± 0.04	0.74	0.45
1	ORG	HCW	-0.20 ± 0.07	0.02 ± 0.003	0.61	0.08
1	CARC	HCW	-2.59 ± 0.47	0.70 ± 0.08	0.96	0.42
2		EBW		-0.17 ± 0.05	0.97	0.36
3		FTDC _t		0.03 ± 0.02	0.98	0.34
1	NC	HCW	-2.97 ± 0.91	0.42 ± 0.04	0.79	1.00
1	TOT	HCW	-5.20 ± 1.27	0.73 ± 0.08	0.92	1.21
2		FTDC _l		0.23 ± 0.11	0.93	1.13

^a All regressions are significant at $P < 0.05$.

^b OM, omental; MES, mesenteric; PR, perirenal; ORG, organ fat (heart, liver and lungs); CARC, carcass fat; NC, non carcass fat.

^c TOT, total fat depot; TOT = CARC + NC.

^d The intercept is the same within each group of equations predicting the same dependent variable.

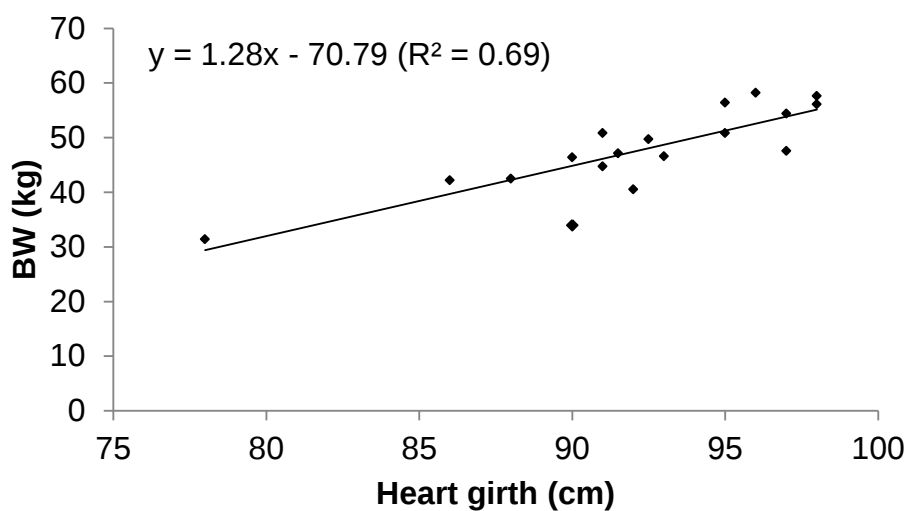


Fig. 1. Relationship between heart girth and body weight (BW) in lactating Sarda ewes.

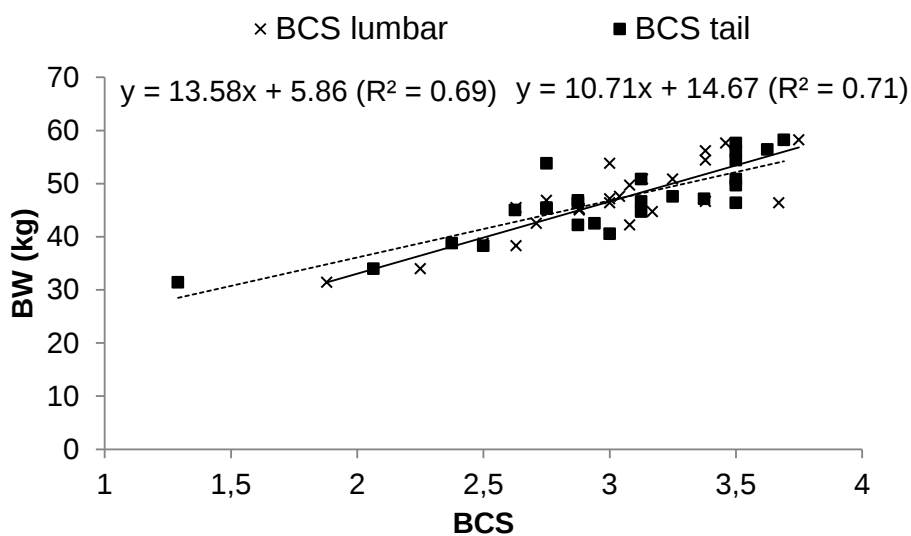


Fig. 2. Relationship between lumbar or tail body condition score (BCS, scale 0 – 5) and body weight (BW) in lactating Sarda ewes.

Indirect methods to estimate body composition of lactating Saanen goats and Sarda ewes

L. S. Knupp¹, R. G. Costa¹, M. Ledda², S. N. R. Knupp³, A. H. D. Francesconi⁴,
E. Antuofermo², G. P. Burrai², M. F. Lunesu⁴ and A. Cannas⁴

¹ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Zootecnia, Rodovia BR 079 km 12, 58397-000, Areia, Paraíba, Brazil

² Università degli studi di Sassari, Dipartimento di Medicina Veterinaria, Via Vienna 2, 07100, Sassari, Italy

³ Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Medicina Veterinária, Avenida Universitária s/n, 58708-110, Patos, Paraíba, Brazil

⁴ Università degli studi di Sassari, Dipartimento di Agraria - Sezione di Scienze Zootecniche, Via de Nicola 9, 07100, Sassari, Italy

Corresponding author: Roberto G. Costa. Email: betogermano@hotmail.com

Short title: Estimation of body composition of goats and ewes

Abstract

The aim of this study was to compare indirect methodologies to estimate the chemical body composition in lactating dairy goats and ewes. Saanen goats (n = 26; BW 56.4 ± 6.8 kg, mean ± SD) and Sarda ewes (n = 26; BW 46.8 ± 6.9 kg, mean ± SD) were used. Eighteen *in vivo* measurements were used to estimate the amount and proportion of water, protein, fat and energy of empty body components. The measurements were: withers height; sternum height;

26 shoulder width; heart girth; height of rump; depth of chest; pelvis width; body
 27 length; BCS assessed in the lumbar, sternal (in goats) and tail (BCS_t – in ewes)
 28 regions; fat thickness measured by ultrasound in the lumbar, sternal (in goats),
 29 tail (in ewes) and perirenal ($FTUS_{pr}$) regions. Linear and multiple regressions
 30 were fit to data collected. Goats presented lower BCS from lumbar region than
 31 sheep (2.64 vs 3.01, respectively) accompanied also by lower $FTUS_l$ (mean of
 32 2.3 vs 5.3 mm, respectively). Non-carcass components from Saanen goats
 33 were 18% heavier than that from Sarda ewes. However, little difference was
 34 observed when components were compared in relation to empty body weight.
 35 Sarda ewes showed significantly ($P < 0.05$) lower content of water and ash in
 36 carcass, non-carcass and empty body mass than Saanen goats. In contrast,
 37 when the components were expressed as proportions of total in carcass,
 38 protein, fat and energy were higher in ewes than in goats ($P < 0.05$). These
 39 same patterns of results repeated when evaluating empty body composition.
 40 Among all somatic measurements taken, heart girth was the most correlated
 41 variable with empty body chemical composition. In goats, the $FTUS_{pr}$ explained
 42 the largest amount of variation in total protein content ($r^2 = 0.67$), fat ($r^2 = 0.64$),
 43 energy ($r^2 = 0.65$), protein proportion ($r^2 = 0.68$), fat proportion ($r^2 = 0.64$) and
 44 energy proportion ($r^2 = 0.68$). In ewes, the BCS_t was the best predictor of
 45 protein, fat and energy amount and proportion explaining more than 80% of the
 46 variation. Multiple regression equations were more accurate in ewes than in
 47 goats with R^2 varying from 0.69 to 0.97 for the amount of ash and energy,
 48 respectively in Sarda ewes and from 0.66 to 0.95 for ash and water,
 49 respectively in Saanen goats. These results confirm that body composition can

be predicted in lactating Saanen goats and Sarda ewes with high precision using multiple regression equations.

Keywords: body condition score, somatic measurements, goats, sheep, ultrasound

Implications

The present work aimed to evaluate indirect methods to estimate the chemical body composition of lactating Saanen goats and Sarda ewes. Estimates were more precise in ewes than goats. In goats, the perirenal fat thickness measured by ultrasound explained most of the variation in content and proportion of protein, fat and energy. In ewes, the BCS assessed on the tail region was the best predictor of the amount and proportion of protein, fat and energy, explaining more than 80% of the variation. Multiple regressions proposed in this work were useful to estimate the body composition satisfactorily in goats and ewes.

Introduction

Determination of body composition is one of the largest difficulties when working with lactating animals. The methods used to evaluate the body composition can be classified as direct or indirect methods. Direct methods involve slaughter, separation and dissection of all body parts of the animal to determine their physical and chemical composition (Scholz *et al.*, 2015), whereas indirect methods involve predicting body composition based on *in vivo* parameters (Bautista-Díaz *et al.*, 2017). Furthermore, direct methods are

expensive, due to the high market value of lactating animals and loss of at least half of the carcass (Mendizabal *et al.*, 2011), extremely laborious, and time-consuming, requiring a large number of people and laboratory analyses (Silva *et al.*, 2005). For these reasons, indirect methods are normally preferable to direct methods when estimating body composition.

Among indirect methods, the body condition score (BCS) is widely used in livestock production to estimate the nutritional status of the animals. However, this method was developed by Russel *et al.* (1969) using meat ewes and, according to Mendizabal *et al.* (2011), the distribution of body fat of dairy animals differs appreciably from that of meat breeds. In fact, Frutos *et al.* (1995) reported that Churra ewes (dairy breed) had a higher percentage of internal fat than Merino ewes (meat breed). When comparing two dairy sheep breeds, Ronchi *et al.* (1993) observed that Sarda ewes with a BCS equal to 2.0 presented the same amount of visceral fat than Lacaune ewes with a BCS equal to 3.0, concluding that there are large differences in fat deposition between these two breeds, with a tendency for Sarda sheep to accumulate more visceral fat. These results corroborate with those from Wood *et al.* (1980) and Butler-Hogg (1984), who reported significant differences between sheep breeds of the same productive aptitude.

A similar dichotomy of fat partitioning between intra-abdominal and carcass fat depots has been observed in goats. Oman *et al.* (2000) found differences in fat partitioning between goat breeds, suggesting that failure to include all intra-abdominal depots would lead to an underestimation of body composition. In fact, Aumont *et al.* (1994) reported moderate precision in estimating total adipose tissue in Creole goats using the body condition score ($R^2 = 0.56$).

Recently, in Pelibuey ewes, Bautista-Díaz *et al.* (2017) reported high precision of equations to predict body composition, using another indirect method, i.e. biometric measurements. However, the authors also pointed out that the generated models for that meat breed should not be considered as general applications for animals from other breeds, sex and physiological conditions.

In the last decades, recent advances in technology have enabled the use of ultrasound techniques, an alternative method, to estimate carcass composition (Silva *et al.*, 2005). Teixeira *et al.* (2006) reported that carcass characteristics and body fat depots in Churra Galega Bragançana males (sheep meat breed) can be estimated using ultrasonography satisfactorily. However, determination of subcutaneous fat thickness and, especially, visceral depots is very difficult to perform in dairy goats (Aumont *et al.*, 1994) and ewes (Mendizabal *et al.*, 2003). Härter *et al.* (2014) used kidney fat thickness measured by ultrasound as a tool to predict fat depots in pregnant Saanen goats, and reported high accuracy when estimating body composition using kidney fat thickness, body weight and *Longissimus* muscle area.

Overall, several methods have been developed to evaluate the chemical body composition in small ruminants, but to the best of our knowledge very little information exists comparing two species of dairy breeds and methods that can be easily applied to estimate body composition. Thus, this study aimed to compare *in vivo* methodologies as predictors of whole body composition and develop equations that could be used to predict chemical composition in lactating Saanen goats and Sarda ewes.

Material and Methods

Animals

The study was carried out using 26 lactating Saanen goats and 26 lactating Sarda ewes (from 2 to 6 lactations), randomly selected from the experimental flock of the Agris research farm of Bonassai, in Olmedo (Northwestern Sardinia, Italy, 40° 40' 16.215" N, 8° 22' 0.392" E, 32 m a.s.l.). Animals were chosen from a larger group fed a high-starch diet, homogeneous for lambing date, age (6 – 7 years) and milk yield. Goats and ewes were clinically healthy and had a mean body weight (BW) of 56.4 ± 6.8 kg and 46.8 ± 6.9 kg, respectively. Animals were milked twice a day and had access to feed and water until slaughter. Their care and use followed the Italian national law and ethic regulations (DL. No 116, 27/01/1992).

Somatic measurements, body weight and body condition score

The following somatic measurements, based on Cam *et al.* (2010), were made on all animals 12 h before slaughter: withers height (WH), height of rump (HR), rump length (RL), pelvis width (PW), depth of chest (DC), shoulder width (SW), heart girth (HG), body length (BL) and sternum height (SH). The measurements of WH, HR, DC, SW and SH were taken with a Lydtin metric stick (metal tube of 80 to 230 cm length). Pelvis width was measured with a thickness compass, and HG and BL with a linear meter. Body weight (BW) was measured with an electronic scale immediately after slaughter, and blood was collected and weighed.

Two experienced workers evaluated the BCS at the end of the trial, just before slaughtering, in the lumbar region for both species by using the Russel *et al.* (1969) reference scale (0 to 5 score), in the sternal region for goats by using the

Hervieu *et al.* (1992) reference scale (0 to 5 score) and in the tail region by using the Teixeira *et al.* (1989) reference scale (1 to 3 grade) adapted to a five-point scale defined as follows:

- Grade 1: all the tail vertebrae can be felt easily and there is no fat cover.
- Grade 2: spinous and transverse processes of tail vertebrae are prominent but smooth and there is little fat cover.
- Grade 3: spinous and transverse processes have only a small elevation, and are smooth and rounded; individual processes can be felt only with firm pressure and there is moderate fat cover.
- Grade 4: spinous processes can be detected with high pressure. Transverse process of the tail vertebrae cannot be felt and there is thick fat cover.
- Grade 5: spinous and transverse processes cannot be felt even with firm pressure. Tail is very full, with very thick fat cover.
- In all cases (from lumbar, sternal and tail region), the BCS intervals were of 0.25 units.

Ultrasound measurements

Fat thickness was measured 16 h before slaughter using a real time MyLab One ultrasound system (Esaote S.p.A., Genova, Italy). Trichotomy was performed in the area to be measured and gel was used as a coupling agent to improve the quality of the images. Ultrasound pictures were taken twice on five different anatomical sites: (1) lumbar fat thickness (FTUS_l), measured in the area of the *Longissimus* muscle around the 13th thoracic vertebrae (last rib); (2) sternal fat thickness (FTUS_s) in goats, measured using an ultrasound probe

positioned perpendicularly to the 3rd sternebra on the sternum; (3) tail fat thickness (FTUS_t) in ewes, measured using a transducer positioned perpendicularly to the 2nd coccygeal vertebrae; (4) perirenal fat thickness (FTUS_{pr}), measured behind the 13th rib on the right side of the body, according to Härter *et al.* (2014); and (5) *Longissimus* muscle area (LMA), determined between the 12th and 13th rib on the right side of the body using an ultrasound placed perpendicularly to the *Longissimus* muscle. The LMA was calculated using the following equation: $LMA (cm^2) = [(A/2 \times B/2) \times \pi]$, in accordance with Costa *et al.* (2012), where A is the maximum length of the *Longissimus* muscle (cm), B is the maximum depth of the *Longissimus* muscle (cm), and π is a mathematical constant (3.14159).

Images were obtained with a linear probe SL3323 VET (array of 13-6 Mhz and 40-mm length; Esaote S.p.A., Genova, Italy) of 7.5 Mhz and a silicone acoustic attachment (standoff) for FTUS_l, FTUS_s, FTUS_t and LMA, and a convex probe SV3513 VET (array of 10-5 Mhz and 50-mm length; Esaote S.p.A., Genova, Italy) of 5 Mhz for FTUS_{pr} measurements. The pictures were stored on a computer and, subsequently, analyzed with the software MyLab Desk™/Desk (Esaote S.p.A., Genova, Italy) to obtain the fat thickness measurements and the LMA.

Slaughter procedures and laboratory analysis

The goats and ewes were slaughtered under general anesthesia and exsanguinated from the jugular vein in the facilities of the Hospital of the Veterinary Department of the University of Sassari (Sassari, Sardinia, Italy). The weights of blood, head, skin, feet, tail, empty viscera (rumen-reticulum,

omasum, abomasum, small intestine and large intestine), mesentery, internal fat, liver, heart, kidneys, spleen, lungs, tongue, esophagus, trachea and reproductive system, and hot carcass were recorded. The digestive tract compartments were isolated, weighed, emptied and weighed again. The empty body weight (EBW) was calculated by difference of live weight and the content of the gastrointestinal tract, bladder and gallbladder empty.

The left side of each carcass and all non-carcass components (digestive tract, organs, reproductive tract, mammary gland, head, wool and skin), kept in separate polyethylene bags, were frozen at -20°C until preparation for analysis.

All frozen components (carcass and non-carcass) were cut into pieces of 5–6 cm^3 while still frozen, and then minced and ground in a mill grinder (TC 42 Golia HP 10 HS, La Felsinea S.R., Padova, Italy). After mixing the ground material thoroughly with a mechanical mixer (ME 30, La Felsinea S.R., Padova, Italy), three replicate samples of approximately 200 g each were taken. The samples were weighed, frozen at -80°C and subsequently analyzed for dry matter by liophilization (Lyolab 3000, Jouan Nordic, Allerød, Denmark). Then, samples were reground in a blender (Knifetec Mill 1095, Foss, Höganäs, Sweden) and analyzed separately (carcass and non-carcass components). Fat was determined by continuously extracting the samples with petroleum ether for 6 h (method 920.39; Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2005). Crude protein content was measured according to the Kjeldahl method (method 988.05; AOAC, 2000) and ash by using a muffle at 550°C for 6 h (method 942.05; AOAC, 2000). Energy concentration for fat and protein was assumed to be 39.3 and 23.1 MJ/kg, respectively (ARC, 1980).

Statistical analysis

Mean, range and standard deviation were determined for all indirect methods tested. Non-carcass components and tissue mass and composition were analyzed by ANOVA with a significance level of $P < 0.05$. To assess the accuracy of the estimates of whole body chemical composition using all methodologies described above, simple regression equations were obtained using the GLM procedure of the SAS software (version 9.2, SAS System Inc., Cary, NC, USA). To estimate chemical composition and energy from empty body, regression analyses were done using the REG procedure with the STEPWISE method of SAS ($P < 0.05$). Finally, we proposed simple equations to estimate fat under field conditions without ultrasound, using the REG procedure with the STEPWISE method of SAS.

Results

Data summary

There was a considerable range in most variables studied (Table 1). Somatic measurements, such as wither height, indicate that Saanen goats were taller than Sarda ewes. Goats were approximately 20% heavier but presented a lower BCS from the lumbar region (2.64 vs 3.01, respectively), accompanied by a lower thickness of fat from lumbar region measured by ultrasound (mean of 2.3 vs 5.3 mm, respectively), compared to sheep. In Saanen goats the minimum value of the *Longissimus* muscle area was 54% lower and the maximum value 75% greater than the mean, whereas in Sarda ewes the minimum value was 85% lower and the maximum 37% greater than the mean.

Carcass and non-carcass components

Carcass and all non-carcass components, except for skin + wool and visceral fat, were heavier ($P < 0.05$) in Saanen goats than in Sarda ewes (Table 2). The weight of the skin was higher ($P < 0.05$) in sheep than goats, because sheep had wool rests. Non-carcass components from Saanen goats were 18% heavier than those from Sarda ewes. However, a little difference was observed when components were compared as percentage of EBW. In particular, head + distal limb, udder and reticulo-rumen + omasum were significantly higher in goats than in sheep, whereas skin + wool yield was higher in Sarda ewes than Saanen goats ($P < 0.05$).

Mass and concentration of chemical constituents and energy

Sarda ewes had a significantly ($P < 0.05$) lower content of water and ash in carcass, non-carcass and empty body mass than Saanen goats (Table 3). In contrast, protein, fat and energy in carcass mass were numerically higher in ewes than in goats, but the differences between the two species were not statistically significant ($P > 0.05$), likely due to the high standard error of the data. When the carcass composition was expressed as a proportion of total (Table 3), water and ash were higher in goats than ewes ($P < 0.001$), whereas protein, fat and energy were higher in ewes than goats ($P < 0.001$). These same patterns were observed when components were compared as percentage of empty body. On the other hand, water content in non-carcass components was higher in Saanen goats than Sarda ewes (56% vs 50%; $P = 0.020$), whereas energy content in non-carcass components was higher in Sarda ewes than in Saanen goats (16 MJ/kg vs 14 MJ/kg; $P = 0.048$).

275

276 *Empty body chemical composition estimated by different indirect methods*

277 Considering the amount of variation in total empty body components explained
 278 by indirect methods (Table 4), estimates tended to be more accurate (based on
 279 R^2) in Sarda ewes than Saanen goats. Water was clearly the body component
 280 estimated with lower precision using BCS, somatic measurements and
 281 ultrasound measurements. For goats and ewes, BW explained the largest
 282 amount of variation in total water content ($R^2 = 0.66$ and 0.63 , respectively; $P <$
 283 0.001), followed by heart girth ($R^2 = 0.58$ and 0.46 , respectively; $P < 0.01$).
 284 Among all somatic measurements taken, heart girth was the most correlated
 285 variable with empty body chemical composition. The body condition score and
 286 ultrasound measurements were poor estimators of water amount. On the other
 287 hand, the best estimate of water proportion was obtained using the perirenal fat
 288 thickness measured by ultrasound in goats ($R^2 = 0.67$), and the BCS on the tail
 289 region in ewes ($R^2 = 0.84$).

290 In goats, the perirenal fat thickness measured by ultrasound explained the
 291 largest amount of variation in the amount of protein ($R^2 = 0.67$), fat ($R^2 = 0.64$),
 292 and energy ($R^2 = 0.65$), and in the proportion of protein ($R^2 = 0.68$), fat ($R^2 =$
 293 0.64) and energy ($R^2 = 0.68$). In ewes, the BCS taken on the tail region was the
 294 best predictor of the amount and proportion of protein, fat and energy explaining
 295 more than 80% of the variation.

296

297 *Multiple regressions*

298 In line with the results from the simple regression analysis (Table 4), perirenal
 299 fat thickness measured by ultrasound was effective in explaining most of the

variation of chemical composition of Saanen goats, being the most reliable independent variable and being included in all equations of this species (Table 5). To estimate the amount of water, fat, protein and energy, some somatic measurements were added as well as the BCS, especially from the lumbar region, and BW. For Sarda ewes, the most reliable independent variable was the BCS in the tail region, being included in 8 out of the 9 equations developed. Except for the amount of water, the equations to predict the chemical body composition were more accurate in ewes than in goats, with a coefficient of determination varying from 0.69 for ash amount to 0.97 for energy amount in Sarda ewes and from 0.66 for ash amount to 0.95 for water amount in Saanen goats.

Discussion

The fact that carcass and non-carcass components were heavier in goats than ewes is likely due to the greater BW of goats. However, when comparing non-carcass components in relation to the EBW we observed some other differences as highlighted below. First, the heavier head + distal limb of Saanen goats were due to the fact that this species has horns and is taller than Sarda ewes. Second, the heavier udder of Saanen goats was expected, considering that this is one of the most productive breeds among small ruminants and usually has a big udder. Third, the heavier reticulo-rumen + omasum in goats than ewes could be explained by, as previously hypothesized by Forbes (2007), positive correlations between level of intake and the weight of the empty reticulo-rumen although cause and effect are difficult to establish. Another explanation, according to the same author, could be related to the higher

deposition of fat in ewes, thus resulting in increased volume of abdominal fat which, in turn, reduces the space available for the rumen and hence for food intake. Fourth, the higher skin + wool yield in relation to the EBW in Sarda ewes than Saanen goats was probably due to some wool remained in the ewes although they were sheared approximately 45 days before slaughter.

The chemical composition of carcass, non-carcass and empty body mass did not vary between goats and ewes, except for the lower concentration of water and ash in Sarda sheep breed. Working with four classes of BCS in Sarda ewes (2.00, 2.50, 3.00 and 3.25), Gaias (2012) reported values very similar to those of the present work for water (10.6 kg), protein (3.0 kg), fat (5.7 kg), ash (1.2 kg) and energy (276 MJ) in carcass of animals with BCS equal to 3.00, the same mean observed in the present study. Moreover, the author reported that carcass and non-carcass fat in ewes with BCS 3.25 was almost 10 and 15 times heavier than in ewes with BCS 2.00, respectively. In lactating Alpine goats with BCS of 2.4, Ngwa *et al.* (2009) observed that non-carcass tissues accounted for 56% of the energy present in empty body mass, which is the same value obtained in Saanen goats and is slightly higher than that observed in Sarda ewes (52%) in our study. Nevertheless, according to many authors (Eknæs *et al.*, 2006; Ngwa *et al.*, 2007; Ngwa *et al.*, 2009), the energy mobilized or accreted during lactation depends on several factors, such as initial carcass mass and composition, BW, forage:concentrate ratio, and diet quality and nutritive value. For this reason, *in vivo* methods that allow estimating body composition at any stage of lactation are of paramount importance.

The considerable variation in body measurements observed in both species in our work suggests that animals were not very homogeneous in size. This fact

made it difficult, in turn, to use some methodologies to estimate the amount of fat, because within the same breed it is possible to obtain the same BCS value for animals with different sizes and, consequently, different amounts of fat. In fact, the BCS method from the lumbar and sternal region was not adequate to estimate body composition in goats and we hypothesize possible explanations for this finding. Firstly, the high proportion of non-carcass fat in the total fat and its lower correlation with BCS compared to that between carcass fat and BCS can decrease the precision of BCS as prediction index. Secondly, and according to Frutos *et al.* (1997), more accurate estimates of total body fat are found using BCS compared to BW when a wide range of BCS values and a narrow range of sizes are used. In this experiment, however, the BCS ranges were narrower and the size ranges were wider than others studies found in literature like, for example, Teixeira *et al.* (1989), who worked with BCS ranging from 1.50 to 4.50 in Aragonesa ewes. It is noteworthy that it is extremely difficult to find dairy animals with high values of BCS. According to Hervieu *et al.* (1991), traditional BCS (on the lumbar region) has not proven to be satisfactory in dairy goats.

The interaction between BCS_i (the unique BCS made in both species) and species (slope) was not significant to estimate visceral fat ($P = 0.5657$). Thus, taking off the interaction from model, we observed that in a same BCS value, Saanen goats presented 1.5 kg more visceral fat than Sarda ewes ($P < 0.001$). The equation to estimate visceral fat in goats was: $Y = -8.204 \pm 1.852 + 4.531 \pm 0.689 \times BCS_i$ (Estimate $\pm$ SEM). In sheep the equation to estimate visceral fat was: $Y = -9.704 \pm 2.103 + 4.531 \pm 0.689 \times BCS_i$ (Estimate $\pm$ SEM). We expected that this variation was not only a statistical difference, but also a

biological difference. However, our results presented a variation of 0.33 in BCS of Saanen goats and Sarda ewes with a same amount of visceral fat, whereas Ronchi *et al.* (1993) observed that Sarda ewes with a BCS equal to 2.0 presented the same amount of visceral fat than Lacaune ewes with a BCS equal to 3.0.

Some studies reported different correlations between BCS from different anatomic regions and fat depots. In non-lactating Sarda ewes, Gaias (2012) did not find any difference between sternal fat, measured by a digital caliper *post-mortem*, and body fat. For this reason, we evaluated the sternal region assessed by BCS and ultrasound only in the goat species. In Blanca Celtibérica goats, Mendizabal *et al.* (2010) found a higher coefficient of determination when total fat (sum of omental, mesenteric, perirenal, subcutaneous and intramuscular fat) was estimated using sternal BCS ($R^2 = 0.90$) compared to lumbar BCS ($R^2 = 0.59$) and reported that the large amount of substernal fat could be felt on palpation and thus could be used to assign a BCS. This may be the reason why BCS obtained in the sternal region is more effective than BCS obtained in the lumbar region in predicting fat reserves in goats. However, in our study, the determination of fat in the sternal region by the BCS_s and FTUS_s methods was not adequate to estimate fat composition, showing a low coefficient of determination (0.38 and 0.51, respectively). Probably, Saanen goats do not deposit fat in the sternal region proportionally to the visceral fat depot, which is normally the major deposit of fat in dairy goats (Mendizabal *et al.*, 2011), or palpation of sternal adipose tissue is not sensitive enough to detect such differences (Aumont *et al.*, 1994).

Body weight has been shown to be a good predictor of body reserves in various experiments on goats and ewes. In adult Blanca Celtibérica goats, Teixeira *et al.* (2008) and Mendizabal *et al.* (2010) obtained R^2 values of 0.79 and 0.80 for the relationship between total fat and BW. In mature Churra ewes, Mendizabal *et al.* (2003) reported an accuracy of 0.81 when estimating total fat using BW. Silva *et al.* (2005) reported that BW per se was the best predictor of the absolute quantity of protein, accounting for 97% of the variation observed in the empty body in Churra da Terra Quente and Île de France. These results were better than those obtained in the present work when estimating fat and protein using BW in Saanen goats (0.55 and 0.52, respectively) and in Sarda ewes (0.72 and 0.75, respectively).

On the other hand, using BCS assessed in the tail region in Sarda ewes as a single independent variable explained at least 84% of the total amount of protein, fat or energy of the empty body (Table 4). Teixeira *et al.* (1989) proposed the tail fat deposition employing a 1 to 3 score range with intervals of 0.50 units as a method of estimation of body condition in Aragonesa ewes, concluding that tail fatness score could be used as an additional alternative method for that breed. In fat-tailed sheep breeds, although the level of fatness of the tail is clearly visible and can be palpated easily, scoring of the tail in a systematic manner has not been widely adopted. In Tunisian Barbarine sheep, Atti (1992) found that the weights of some fat depots and total fat were more closely correlated with tail score than with either lumbar score on the scale of Russel *et al.* (1969) or body weight. Moreover, Gaias (2012) found a high amount of fat accumulation on the tail region, measured *post-mortem* by a digital caliper, in Sarda sheep. Therefore, to the best of our knowledge, the

present work is the first study testing tail region measurements, assessed by BCS (with a new scale) and ultrasound, as a tool to predict body composition in Sarda ewes. In contrast, it is well known that Saanen is not a fat-tailed goat breed and, for this reason, we did not assessed the fatness of the tail.

In Saanen goats, the best method to predict the amount and proportion of chemical empty body composition, except for the amount of water, was FTUS_{pr}. Our results are in agreement with those of Härter *et al.* (2014), who developed this method in pregnant Saanen goats. However, the authors reported values of perirenal fat thickness lower than 0.4 cm in animals ranging from 41 to 66 kg of BW, whereas we found FTUS_{pr} values ranging from 0.4 to 2.3 cm in goats and from 0.3 to 2.0 cm in ewes. It would be difficult to explain this difference because of the lack of available information from pregnancy until the end of lactation. Ngwa *et al.* (2009) reported that Alpine goats increased empty body fat by 81% from 2 to 6 months of lactation and suggested that goats mobilize a large amount of fat in early lactation, particularly in diets containing a moderate or high proportion of forage.

Multiple regressions were performed using all measurement taken as independent variables. The present results suggest that empty body composition can be predicted with high accuracy in both species. We chose to generate the equations for both species separately although significant differences were not found in some cases, e.g. amount of protein, fat and energy, because some measurements used in the goat species were not used in the sheep species, and vice-versa. For each of the different variables considered in this evaluation, in Saanen goats perirenal fat thickness measured by ultrasound was the most effective, being included in all equations, whereas

in Sarda ewes the most reliable independent variable was BCS_t , being included in 8 out of the 9 equations developed.

In an attempt to develop practical methods for the prediction of fat, the most important chemical composition to be monitored during lactation, we developed simple equations without the use of the ultrasound, where equations 1 and 2 are from Saanen goats and equations 3 and 4 are from Sarda ewes:

$$(1) \text{ Fat (kg): } -4.20 + 6.12 \times BCS_l - 0.21 \times WH - 0.38 \times SW + 0.36 \times BW$$

$$(2) \text{ Fat (\% of EBW): } -8.22 + 14.07 \times BCS_l - 0.40 \times RL$$

$$(3) \text{ Fat (kg): } -2.07 + 4.38 \times BCS_t - 0.30 \times SH + 0.19 \times BW$$

$$(4) \text{ Fat (\% of EBW): } 14.00 + 11.50 \times BCS_t - 0.36 \times BL$$

Where BCS_l : lumbar BCS; WH: withers height; SW: shoulder width; BW: body weight; RL: rump length; BCS_t : tail BCS; SH: sternum height; BL: body length. The coefficients of determination were 0.78; 0.59; 0.93 and 0.90, respectively.

Conclusions

In Saanen goats, perirenal fat thickness measured by ultrasound was proven to be easily obtainable and the most accurate method to estimate chemical composition. In Sarda ewes, the use of the re-scaled method of BCS from the tail region proposed in this work (ranging from 1 – 5 points) showed a large potential in Sarda breed. These two methods are advantageous because they do not involve many people and can be conducted several times without requiring slaughtering the animals. Nevertheless, the developed models using multiple regressions may contribute to more accurately monitoring the chemical body composition, especially the amount and proportion of fat and protein, throughout lactation in sheep and goats.

474

475 **Acknowledgements**

476 This research was financially supported by the Autonomous Region of Sardinia.

477 We would like to thank the staff of the Department of AGRIS for scientific and

478 technical support. The authors are grateful to CNPq (Conselho Nacional de

479 Desenvolvimento Científico e Tecnológico) for giving a doctor scholarship and

480 to CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) for

481 giving a intership (“Sandwich Program”) to the first author in Italy (BEX:

482 1865/14-5) to Leonardo Sidney Knupp.

483

484 **Conflict of interest statement**

485 The authors declare no conflict of interest.

486

487 **References**

488 Agricultural Research Council (ARC) 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant

489 Livestock. Technical review. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, UK.

490 Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2000. Official Methods of Analysis,

491 17th ed. AOAC International, Arlington, VA, USA.

492 Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2005. Official Methods of Analysis,

493 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.

494 Atti N 1992. Relations entre l'état corporel et les dépôts adipeux chez la brebis

495 Barbarine. In Etat corporel des brebis et chèvres (ed. A Purroy), pp. 31–34,

496 CIHEAM, Zaragoza, Spain.

497 Aumont G, Poisot F, Saminadin G, Borel H and Alexandre G 1994. Body condition

498 score and adipose cell size determination for in vivo assessment of body

- 499 composition and post-mortem predictors of carcass components of Creole goats.
500 Small Ruminant Research 15, 77–85.
- 501 Bautista-Díaz E, Salazar-Cuytun R, Chay-Canul AJ, García Herrera RA, Piñeiro-
502 Vázquez ÁT, Magaña Monforte JG, Tedeschi LO, Cruz-Hernández A and
503 Gómez-Vázquez A 2017. Determination of carcass traits in Pelibuey ewes using
504 biometric measurements. Small Ruminant Research 147, 115–119.
- 505 Butler-Hogg BW 1984. The growth of Clun and Southdown sheep: body composition
506 and the partitioning of total body fat. Animal Science 39, 405–411.
- 507 Cam MA, Olfaz M and Soydan E 2010. Possibilities of using morphometrics
508 characteristics as a tool for body weight prediction in Turkish hair goats (Kilkeci).
509 Asian Journal of Animal and Veterinary Advances 5, 52–59.
- 510 Costa RG, Lima AGVO, Oliveira CFS, Azevedo PS and Medeiros AN 2012. Using
511 different methodologies to determination the loin eye area in sheep. Archivos de
512 Zootecnia 61, 615–618.
- 513 Eknæs M, Kolstad K, Volden H and Hove K 2006. Changes in body reserves and milk
514 quality throughout lactation in dairy goats. Small Ruminant Research 63, 1–11.
- 515 Forbes JM 2007. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. CABI,
516 London, UK.
- 517 Frutos P, Mantecon AR, Revesado PR and Gonzalez JS 1995. Body fat depots and
518 body condition score relationship: a comparison of two Spanish sheep breeds
519 (Churra vs Merina). Options Méditerranéennes Série A 27, 19–23.
- 520 Frutos P, Mantecón AR and Giráldez FJ 1997. Relationship of body condition score
521 and live weight with body composition in mature Churra ewes. Animal Science
522 64, 447–452.
- 523 Gaias G 2012. Body condition score and body composition of Sarda dairy ewes. PhD
524 Thesis. University of Sassari, Sassari, Italy.
- 525 Härter CJ, Silva HGO, Lima LD, Castagnino DS, Rivera AR, Neto OB, Gomes RA,
526 Canola JC, Resende KT and Teixeira IAMA 2014. Ultrasonographic

- 527 measurements of kidney fat thickness and *Longissimus* muscle area in predicting
528 body composition of pregnant goats. *Animal Production Science* 54, 1481–1485.
- 529 Hervieu J, Morand-Fehr P, Schmidely P, Fedele V and Delfa R 1992. Mesures
530 anatomiques permettant d'expliquer les variations des notes sternales, lombaires
531 et caudales utilisées pour estimer l'état corporel des chèvres laitières. In *Etat*
532 *corporel des brebis et chèvres* (ed. A Purroy), pp. 43–56. CIHEAM, Zaragoza,
533 Spain.
- 534 Mendizabal JA, Delfa R, Arana A, Eguinoa P, González C, Treacher T and Purroy A
535 2003. Estimating fat reserves in Rasa Aragonesa ewes: A comparison of different
536 methods. *Canadian Journal of Animal Science* 83, 695–701.
- 537 Mendizabal JA, Delfa R, Arana A and Purroy A 2010. A comparison of different pre and
538 post-slaughter measurements for estimating fat reserves in Spanish Blanca
539 Celtibérica goats. *Canadian Journal of Animal Science* 90, 437–444.
- 540 Mendizabal JA, Delfa R, Arana A and Purroy A 2011. Body condition score and fat
541 mobilization as management tools for goats on native pastures. *Small Ruminant*
542 *Research* 98, 121–127.
- 543 Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Tovar-Luna I, Sahlu T,
544 Ferrell CL and Goetsch AL 2007. Urea space and body condition score to predict
545 body composition of meat goats. *Small Ruminant Research* 73, 27–36.
- 546 Ngwa AT, Dawson LJ, Puchala R, Detweiler G, Merkel RC, Wang Z, Tesfai K, Sahlu T,
547 Ferrell CL and Goetsch AL 2009. Effects of stage of lactation and dietary forage
548 level on body composition of Alpine dairy goats. *Journal of Dairy Science* 92,
549 3374–3385.
- 550 Oman JS, Waldron DF, Griffin DB and Savell JW 2000. Carcass traits and retail
551 display-life of chops from different goat breed types. *Journal of Animal Science*
552 78, 1262–1266.
- 553 Ronchi B, Bernabucci U and Bertoni G 1993. Valutazione comparata del metodo body
554 condition score (BCS) nelle razze ovine Sarda e Lacune. *Proceedings of the 47th*

- 555 SISVet Congress (Italian Society of Veterinary Science), Riccione, Italy, pp.
556 1985–1989.
- 557 Russel AJF, Doney JM and Gunn RG 1969. Subjective assessment of body fat in live
558 sheep. *The Journal of Agricultural Science* 72, 451–454.
- 559 Scholz AM, Bünger L, Kongsro J, Baulain U and Mitchell AD 2015. Non-invasive
560 methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-
561 energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance
562 imaging and ultrasound: invited review. *Animal* 9, 1250–1264.
- 563 Silva SR, Gomes MJ, Dias-da-Silva A, Gil LF and Azevedo JMT 2005. Estimation in
564 vivo of the body and carcass chemical composition of growing lambs by real-time
565 ultrasonography. *Journal of Animal Science* 83, 350–357.
- 566 Teixeira A, Delfa R and Colomer-Rocher F 1989. Relationships between fat depots and
567 body condition score or tail fatness in the Rasa Aragonesa breed. *Animal*
568 *Science* 49, 275–280.
- 569 Teixeira A, Matos S, Rodrigues S, Delfa R and Cadavez V 2006. In vivo estimation of
570 lamb carcass composition by real-time ultrasonography. *Meat Science* 74, 289–
571 295.
- 572 Teixeira A, Joy M and Delfa R 2008. In vivo estimation of goat carcass composition
573 and body fat partition by real-time ultrasonography. *Journal of Animal Science* 86,
574 2369–2376.
- 575 Wood JD, MacFie HJH, Pomeroy RW and Twinn DJ 1980. Carcass composition in four
576 sheep breeds: the importance of type of breed and stage of maturity. *Animal*
577 *Science* 30, 135–152.

Table 1 Somatic measurements, body weight, lumbar, sternal and tail body condition scores (BCS), lumbar, sternal, tail and perirenal fat thickness depth measured by ultrasound ($FTUS_l$, $FTUS_s$, $FTUS_t$ and $FTUS_{pr}$, respectively) in lactating Saanen goats and Sarda ewes.

	Saanen goats			Sarda ewes		
	Mean	Range	SD	Mean	Range	SD
Somatic measurements (cm)						
Wither height	70.9	65.0 – 77.0	3.4	62.8	58.0 – 68.0	2.5
Height of rump	73.6	69.0 – 82.0	3.3	67.2	60.0 – 74.0	3.4
Rump length	21.6	17.5 – 28.0	3.0	18.8	15.0 – 24.0	2.2
Pelvis width	18.7	16.0 – 25.0	1.9	19.4	15.0 – 26.0	2.5
Depth of chest	35.1	29.0 – 39.0	2.1	30.7	25.0 – 34.0	1.8
Shoulder width	18.1	13.5 – 24.0	2.5	19.3	16.5 – 24.0	2.1
Heart girth	94.2	86.0 – 104.0	4.8	90.9	78.0 – 98.0	4.5
Body length	74.7	68.0 – 90.0	4.7	65.7	56.0 – 75.0	4.9
Sternum height	35.3	28.0 – 44.0	3.9	30.7	25.0 – 40.0	3.8
Body weight (kg)	56.4	43.6 – 69.4	6.8	46.8	31.4 – 58.2	6.9
BCS lumbar (scale 0 – 5)	2.64	1.84 – 2.96	0.3	3.01	1.88 – 3.75	0.4
BCS sternal (scale 0 – 5)	2.64	1.75 – 3.00	0.3	-	-	-
BCS tail (scale 1 – 5)	-	-	-	3.00	1.29 – 3.69	0.5
$FTUS_l$ (mm)	2.3	1.1 – 3.5	0.6	5.3	1.4 – 10.1	3.0
$FTUS_s$ (mm)	22.7	9.7 – 27.9	4.5	-	-	-
$FTUS_t$ (mm)	-	-	-	9.4	2.4 – 19.4	4.8
$FTUS_{pr}$ (cm)	1.21	0.44 – 2.34	0.5	1.12	0.31 – 2.01	0.4
<i>Longissimus</i> muscle area (cm ²)	9.1	5.9 – 15.9	2.4	8.5	4.6 – 11.7	1.9

Table 2 Effect of specie on carcass and non-carcass components (NCC) and yield in relation to empty body weight in lactating Saanen goats and Sarda ewes.

Item	Specie		P-value	SEM
	Goats	Sheep		
Weight (kg)				
Carcass	24.3 ^a	20.3 ^b	0.008	1.1
Head + Distal limb	4.1 ^a	3.0 ^b	<0.001	0.1
Blood	3.0 ^a	2.7 ^b	0.040	0.2
Skin + Wool	2.4 ^b	2.9 ^a	<0.001	0.1
Udder	2.4 ^a	1.5 ^b	<0.001	0.9
Liver	1.3 ^a	1.0 ^b	<0.001	0.1
Kidney	0.2 ^a	0.1 ^b	<0.001	0.01
Reticulorumen + omasum	1.7 ^a	1.2 ^b	<0.001	0.1
Abomasum + small intestine	1.4 ^a	1.0 ^b	<0.001	0.1
Large intestine	0.7 ^a	0.5 ^b	<0.001	0.1
Other organs	1.6 ^a	1.5 ^b	0.023	0.01
Visceral fat	3.8	4.0	0.782	0.6
NCC	23.5 ^a	19.9 ^b	0.001	1.0
Yield in relation to empty body weight (%)				
Carcass	50.1	50.9	0.260	0.7
Head + Distal limb	8.8 ^a	7.6 ^b	<0.001	0.3
Blood	6.3	6.6	0.267	0.3
Skin + Wool	5.0 ^b	7.4 ^a	<0.001	0.4
Udder	5.0 ^a	4.0 ^b	0.013	0.4
Liver	2.7	2.5	0.286	0.1
Kidney	0.4	0.4	0.129	0.03
Reticolo-rumen + omasum	3.5 ^a	3.1 ^b	0.010	0.2
Abomasum + Small intestine	2.9	2.7	0.209	0.2
Large intestine	1.5	1.5	0.815	0.1
Other organs	3.5	3.8	0.181	0.2
Visceral fat	7.6	9.1	0.207	1.2
NCC	49.9	49.1	0.259	0.7

^{a,b} Values within a row differ significantly ($P < 0.05$) according to Tukey's test

Other organs: heart, windpipe, peritoneum, reproductive system, lymph nodes and spleen; Visceral fat: omental, mesenteric, kidney and other internal fat; NCC: sum of all non-carcass components.

588 **Table 3** Tissue mass and composition in lactating Saanen goats and Sarda ewes

Item	Specie		SE	P-value
	Goats	Sheep		
Carcass mass, in kg				
Water	14.6 ^a	10.4 ^b	0.4	<0.001
Crude protein	3.2	3.7	0.3	0.145
Fat	4.6	5.4	0.5	0.130
Ash	1.8 ^a	0.9 ^b	0.1	<0.001
Energy (MJ)	255	296	26.7	0.134
Non-carcass mass, in kg				
Water	13.9 ^a	10.8 ^b	0.5	<0.001
Crude protein	4.7	4.8	0.4	0.858
Fat	5.6	5.5	0.6	0.842
Ash	0.9 ^a	0.7 ^b	0.1	0.025
Energy (MJ)	329	326	33.1	0.934
Empty body mass, in kg				
Water	28.5 ^a	21.1 ^b	0.8	<0.001
Crude protein	7.9	8.4	0.7	0.448
Fat	10.2	10.9	1.0	0.549
Ash	2.7 ^a	1.6 ^b	0.2	<0.001
Energy (MJ)	584	622	58.0	0.517
Carcass composition, in %				
Water	60.8 ^a	52.6 ^b	1.7	<0.001
Crude protein	12.9 ^b	17.4 ^a	0.9	<0.001
Fat	18.8 ^b	25.4 ^a	1.3	<0.001
Ash	7.5 ^a	4.6 ^b	0.7	<0.001
Energy (MJ/kg)	10.3 ^b	14.0 ^a	0.7	<0.001
Non-carcass composition, in %				
Water	56.1 ^a	50.4 ^b	2.3	0.020
Crude protein	18.6	21.1	1.4	0.073
Fat	22.1	24.1	1.9	0.296
Ash	3.8	3.3	0.4	0.242
Energy (MJ/kg)	13.7 ^b	16.0 ^a	1.1	0.048
Empty body composition, in %				
Water	58.5 ^a	51.5 ^b	1.9	0.001
Crude protein	15.5 ^b	19.2 ^a	1.1	0.001
Fat	20.4 ^b	24.7 ^a	1.6	0.009
Ash	5.8 ^a	4.0 ^b	0.5	0.001
Energy (MJ/kg)	12.0 ^b	14.9 ^a	0.9	0.001

589 ^{a,b} Values within a row differ significantly ($P < 0.05$) according to Tukey's test.

Table 4 Simple regression equations between the amount and proportion of empty body components and in vivo measurements for Saanen goats and Sarda ewes

Whole body component	Variable	Amount				Proportion			
		Goats		Ewes		Goats		Ewes	
		R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Water	BW	0.66	1.92	0.63	1.43	0.22	5.38	0.52	5.35
	BCS _l	0.01 ^{ns}	3.28	0.27	2.01	0.49	4.37	0.76	3.80
	BCS _s	0.03 ^{ns}	3.25	-	-	0.40	4.73	-	-
	BCS _t	-	-	0.25	2.04	-	-	0.84	3.06
	HG	0.58	2.12	0.46	1.63	0.16	5.61	0.47	5.62
	FTUS _l	0.03 ^{ns}	3.25	0.09 ^{ns}	2.24	0.26	5.25	0.59	4.95
	FTUS _s	0.01 ^{ns}	3.27	-	-	0.54	4.13	-	-
	FTUS _t	-	-	0.04 ^{ns}	2.30	-	-	0.74	3.94
	FTUS _{pr}	0.01 ^{ns}	3.29	0.12 ^{ns}	2.21	0.67	3.49	0.77	3.73
	LMA	0.10 ^{ns}	3.12	0.22	2.08	0.41	4.68	0.71	4.19
Protein	BW	0.52	1.80	0.75	1.47	0.23	3.11	0.51	3.06
	BCS _l	0.41	1.99	0.82	1.26	0.47	2.57	0.76	2.13
	BCS _s	0.36	2.08	-	-	0.40	2.73	-	-
	BCS _t	-	-	0.86	1.11	-	-	0.85	1.71
	HG	0.39	2.02	0.65	1.72	0.16	3.23	0.48	3.23
	FTUS _l	0.32	2.14	0.57	1.91	0.28	3.01	0.56	2.91
	FTUS _s	0.50	1.84	-	-	0.55	2.38	-	-
	FTUS _t	-	-	0.69	1.63	-	-	0.78	2.08
	FTUS _{pr}	0.67	1.48	0.80	1.31	0.68	2.01	0.73	2.29
	LMA	0.56	1.73	0.74	1.50	0.42	2.70	0.70	2.40
Fat	BW	0.55	2.25	0.72	2.24	0.26	4.01	0.51	4.83
	BCS _l	0.45	2.50	0.80	1.91	0.52	3.21	0.74	3.49
	BCS _s	0.38	2.64	-	-	0.43	3.50	-	-
	BCS _t	-	-	0.84	1.66	-	-	0.83	2.85
	HG	0.43	2.55	0.62	2.49	0.20	4.17	0.45	4.94
	FTUS _l	0.32	2.76	0.61	2.62	0.28	3.94	0.62	4.24
	FTUS _s	0.51	2.36	-	-	0.56	3.08	-	-
	FTUS _t	-	-	0.67	2.42	-	-	0.73	3.58
	FTUS _{pr}	0.64	2.03	0.81	1.84	0.64	2.78	0.75	3.43
	LMA	0.55	2.25	0.77	2.02	0.43	3.52	0.76	3.37
Energy	BW	0.54	129.9	0.73	121.3	0.24	2.42	0.48	2.55
	BCS _l	0.44	143.8	0.80	103.0	0.48	2.00	0.74	1.81
	BCS _s	0.38	151.8	-	-	0.38	2.19	-	-
	BCS _t	-	-	0.85	90.0	-	-	0.81	1.53
	HG	0.42	146.6	0.63	136.7	0.19	2.50	0.46	2.43
	FTUS _l	0.33	157.6	0.60	146.6	0.32	2.28	0.63	2.14
	FTUS _s	0.51	134.8	-	-	0.52	1.92	-	-
	FTUS _t	-	-	0.68	131.8	-	-	0.77	1.70
	FTUS _{pr}	0.65	113.7	0.81	101.8	0.68	1.57	0.76	1.52
	LMA	0.55	128.3	0.76	113.1	0.47	2.01	0.77	1.69

All correlation coefficients are significant ($P < 0.05$) except those marked with ns ($P > 0.05$).
 BCS_l, BCS_s, BCS_t: body condition score assessed in the lumbar, sternal and tail region, respectively;
 HG: heart girth; FTUS_l, FTUS_s, FTUS_t and FTUS_{pr}: fat thickness depth measured by ultrasound in the lumbar, sternal, tail and perirenal region, respectively; LMA: *Longissimus* muscle area.

596 **Table 5** Development of equations to predict empty body composition for lactating Saanen goats and Sarda ewes.

Eq.	Dependent variable	Specie	Best fit equation ^a	R ² adjusted	RMSE ^b
1	Water, kg	Goats	$y = 21.96 - 3.66 \cdot BCS_s - 0.17 \cdot WH - 0.30 \cdot SW - 3.28 \cdot FTUS_{pr} + 0.66 \cdot BW$	0.95	0.72
2		Sheep	$y = -0.72 - 2.93 \cdot BCS_t + 0.15 \cdot HR - 0.17 \cdot RL + 0.69 \cdot LMA - 3.11 \cdot FTUS_{pr} + 0.44 \cdot BW$	0.88	0.81
3	Water, % of total	Goats	$y = 95.15 - 10.78 \cdot BCS_l - 7.61 \cdot FTUS_{pr}$	0.86	2.26
4		Sheep	$y = 66.42 - 7.23 \cdot BCS_t - 1.26 \cdot SW + 0.39 \cdot BL + 0.28 \cdot LT - 0.40 \cdot FTUS_l - 0.67 \cdot FTUS_t$	0.94	1.86
5	Fat, kg	Goats	$y = -31.16 + 4.25 \cdot BCS_l + 0.16 \cdot WH - 0.18 \cdot SW + 0.19 \cdot HG + 3.98 \cdot FTUS_{pr}$	0.91	0.97
6		Sheep	$y = 0.17 + 1.41 \cdot BCS_t - 0.18 \cdot BL + 0.17 \cdot FTUS_l + 0.22 \cdot FTUS_t + 0.32 \cdot BW$	0.96	0.82
7	Fat, % of total	Goats	$y = -3.67 + 8.76 \cdot BCS_l - 0.13 \cdot SH + 5.31 \cdot FTUS_{pr}$	0.87	1.66
8		Sheep	$y = 19.66 + 7.25 \cdot BCS_t + 0.91 \cdot DC - 0.35 \cdot HG - 0.30 \cdot BL + 0.39 \cdot FTUS_l + 0.50 \cdot FTUS_t$	0.93	1.74
9	Protein, kg	Goats	$y = -22.35 + 2.97 \cdot BCS_l + 0.12 \cdot WH - 0.14 \cdot SW + 0.13 \cdot HG + 3.27 \cdot FTUS_{pr}$	0.91	0.77
10		Sheep	$y = -6.28 + 0.08 \cdot HG - 0.11 \cdot BL + 0.23 \cdot FTUS_t + 0.25 \cdot BW$	0.96	0.56
11	Protein, % of total	Goats	$y = -5.27 + 6.08 \cdot BCS_l + 4.44 \cdot FTUS_{pr}$	0.85	1.35
12		Sheep	$y = -0.05 + 3.86 \cdot BCS_t + 0.36 \cdot DC - 0.11 \cdot BL + 0.41 \cdot FTUS_t$	0.92	1.21
13	Ash, kg	Goats	$y = 5.17 - 1.41 \cdot BCS_l - 0.84 \cdot FTUS_{pr} + 0.04 \cdot BW$	0.66	0.39
14		Sheep	$y = 3.05 - 0.30 \cdot BCS_t - 0.06 \cdot FTUS_t$	0.69	0.29
15	Ash, % of total	Goats	$y = 17.40 - 3.66 \cdot BCS_l - 1.79 \cdot FTUS_{pr}$	0.75	0.88
16		Sheep	$y = 11.60 - 2.14 \cdot BCS_t - 0.13 \cdot FTUS_t$	0.84	0.75
17	Energy, MJ	Goats	$y = -1740.99 + 235.67 \cdot BCS_l + 9.28 \cdot WH - 10.17 \cdot SW + 10.42 \cdot HG + 231.79 \cdot FTUS_{pr}$	0.91	55.20
18		Sheep	$y = 94.43 + 97.57 \cdot BCS_t - 9.46 \cdot SW - 5.80 \cdot BL - 5.55 \cdot SH + 12.24 \cdot FTUS_{pr} + 18.25 \cdot BW$	0.97	41.52

597 ^a BCS_l, BCS_s, BCS_t: body condition score measured in lumbar, sternal and tail region, respectively; WH: wither height; SH: sternal height; FTUS_l, FTUS_s,
598 FTUS_t, FTUS_{pr}: fat thickness measured by ultrasound assessed in lumbar, sternal, tail and perirenal region, respectively; BW: body weight; HR: height of
599 rump; RL: rump length; LMA: *Longissimus* muscle area; SW: shoulder width; HG: heart girth; BL: body length; DC: depth of chest.

600 ^b RMSE: root mean square error.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar metodologias indiretas para a determinação dos depósitos de gordura, principal reserva energética em animais leiteiros, além de estimar a composição corporal utilizando métodos simples como o escore de condição corporal, peso vivo, medidas corporais e a ultrassonografia. Nos últimos anos muitas pesquisas com o uso de ferramentas sofisticadas, como a tomografia computadorizada, exames de raio-X, ressonância magnética, entre outros, foram testados em pequenos ruminantes. Todavia, tais métodos são lentos e extremamente onerosos, o que dificulta sua utilidade nas fazendas. A estimativa dos depósitos de gordura e da composição corporal se fazem necessários para o adequado manejo nutricional do rebanho. Sem o conhecimento do status nutricional, o produtor de leite pode super ou sub-alimentar seus animais, comprometendo, assim, os índices zootécnicos do plantel.

A maior dificuldade em se obter informações de status nutricional em caprinos e ovinos leiteiros se dá pelo fato dos animais de origem leiteira, diferentemente dos de origem para corte, depositarem suas reservas energéticas, em maior parte, nas cavidades viscerais. Assim, o uso de ferramentas simples e acuradas para o conhecimento dos depósitos de gordura são imprescindíveis. No presente estudo, observou-se que métodos como o uso da ultrassonografia perirrenal em cabras e o escore de condição corporal caudal em ovelhas, reescalado nesta pesquisa (escala de 1 – 5), apresentaram boa resposta de precisão na maioria das variáveis de interesse do estudo. Além disso, quando utilizadas equações de regressão múltipla, o coeficiente de determinação era acrescido consideravelmente embora, em algumas situações, com um número razoável de metodologias requeridas para obter-se essa precisão. Porém, para que a pesquisa se aproxime da realidade do produtor rural, equações com poucas variáveis, simples, foram desenvolvidas sem comprometer a relevante precisão obtida.

Por fim, conclui-se que o método mais promissor e que a comunidade científica deveria buscar o progresso é a ultrassonografia perirrenal. Há de se ressaltar, no entanto, que dados obtidos em determinados animais podem não representar, satisfatoriamente, a realidade de outras raças. Requer-se, portanto, estudos com essa técnica nas diferentes raças existentes de caprinos e ovinos. Sob uma óptica mais econômica e rápida, ou seja, excluindo a possibilidade de uso do ultrassom, sugere-se que a composição corporal de cabras Saanen e ovelhas Sarda em lactação sejam estimadas com as fórmulas apresentadas no presente estudo. Para as demais raças leiteiras, acredita-se que é necessário conduzir-se pesquisas similares a essa para elaboração de equações de predição, com vistas a facilitar as estimativas de campo.