

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 02/03/2025.

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

**PREDICTING GASTROINTESTINAL TRACT CONTENT
AND BODY COMPOSITION IN SMALL RUMINANTS**

**Paola Rezende Ribeiro
MSc in Animal Science**

2024

T
E
S
E

/

R
I
B
E
I
R
O

R.
P.

2
0
2
4

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

**PREDICTING GASTROINTESTINAL TRACT CONTENT
AND BODY COMPOSITION IN SMALL RUMINANTS**

Paola Rezende Ribeiro

Advisor: Profa. Dra. Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira

Co-advisor: Dr. Marcelo Gindri

Thesis presented to the Faculty of Agricultural and
Veterinary Sciences – Unesp, Jaboticabal Campus,
as part of the requirements for obtaining the title of
Doctor in Animal Science

2024

R484p Ribeiro, Paola Rezende
Predicting gastrointestinal tract content and body composition in small ruminants / Paola Rezende Ribeiro. -- Jaboticabal, 2024
144 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira
Coorientador: Marcelo Gindri

1. Meta-analysis. 2. Gastrointestinal tract. 3. Body composition. 4. Sheep. 5. Goats. I. Título.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research developed several prediction models to potentially increase the understanding of factors that influence small ruminants' production. The models were created to improve the prediction potential of the gastrointestinal tract content of goats and sheep, as well as the chemical composition of the body and carcass of goats. In this way, it aims to assist both academic research and industry.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa desenvolveu diversos modelos de predição com potencial de aumentar a compreensão sobre fatores que influenciam a produção de pequenos ruminantes. Os modelos foram gerados para melhorar o potencial de predição do conteúdo do trato gastrointestinal de caprinos e ovinos, e da composição química do corpo e da carcaça de caprinos. E dessa forma, auxiliar tanto a pesquisa acadêmica quanto a indústria.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA TESE: PREDICTING GASTROINTESTINAL TRACT CONTENT AND BODY COMPOSITION IN SMALL RUMINANTS

AUTORA: PAOLA REZENDE RIBEIRO

ORIENTADORA: IZABELLE AUXILIADORA MOLINA DE ALMEIDA TEIXEIRA


COORIENTADOR: MARCELO GINDRI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciência Animal, área: Nutrição Animal pela Comissão Examinadora:


Documento assinado digitalmente
 IZABELLE AUXILIADORA MOLINA DE ALMEIDA TI
Data: 30/08/2024 19:29:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Assistente IZABELLE AUXILIADORA MOLINA DE ALMEIDA TEIXEIRA (Participação Virtual)
Department of Animal Veterinary and Food Sciences / University of Idaho - Twin Falls/EUA


Profa. Dra. ANAIANE PEREIRA SOUZA (Participação Virtual)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) / Xinguara/PA

Documento assinado digitalmente
 ANAIANE PEREIRA SOUZA
Data: 31/08/2024 10:02:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profa. Dra. CARLA JOICE HÄRTER (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) - Capão do L

Documento assinado digitalmente
 CARLA JOICE HARTER
Data: 02/09/2024 12:08:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.Dr. JOSÉ AUGUSTO GOMES AZEVEDO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais / Universidade Estadual de S

Documento assinado digitalmente
 JOSE AUGUSTO GOMES AZEVEDO
Data: 02/09/2024 13:11:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesquisadora Dra. MÁRCIA HELENA MACHADO DA ROCHA FERNANDES (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 MARCIA HELENA MACHADO DA ROCHA FERNANDES
Data: 02/09/2024 14:36:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 30 de agosto de 2024

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

PAOLA REZENDE RIBEIRO – Filha de Paulo Ribeiro e Magda Celeste Rezende, nascida em Uberlândia, Minas Gerais, no dia 26 de outubro de 1991. Em março de 2010, iniciou o Curso de Graduação em Zootecnia, na Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Câmpus de Uberlândia, onde foi membro bolsista da primeira turma do Programa de Educação Tutorial – PET Zootecnia durante o período de dezembro de 2011 a maio de 2013. Conduziu e auxiliou no desenvolvimento de projetos experimentais com ovinos, como voluntária do Programa Institucional de Iniciação Científica Voluntária PIVIC/UFU, de janeiro de 2012 a maio de 2013, no setor de ovinos e caprinos da UFU, com orientação do Prof. Dr. Gilberto de Lima Macedo Junior. Realizou intercâmbio na The University of Western Australia em Perth, Austrália, no período de agosto de 2013 a dezembro de 2014 através do programa Ciências Sem Fronteiras fomentado pela CAPES. Obteve o título de Bacharelado em Zootecnia em novembro de 2016. Em fevereiro de 2017, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação (PPG) em Zootecnia (PPGZ) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp/FCAV, Câmpus de Jaboticabal, onde foi bolsista do CNPq, com orientação do Prof. Dr. Kléber T. de Resende e coorientação do Dr. Bruno Biagioli e da Profa. Dra. Silvana M. B. Artoni. Durante o mestrado se dedicou a aplicabilidade de um método não-invasivo para mensurar a composição corporal de caprinos, denominado absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA), obtendo o título de Mestre em novembro de 2019. Em março de 2020, na mesma universidade iniciou o Doutorado no PPGZ que viria se tornar PPG em Ciência Animal, sendo bolsista da CAPES, com orientação da Profa. Dra. Izabelle A.M.A.Teixeira e do Dr. Marcelo Gindri. Durante o doutorado ministrou a disciplina Caprinocultura no período de março a julho de 2022 para a turma de graduação em Zootecnia. Além disso, realizou estágio docente na disciplina Nutrição e Alimentação Animal para o curso de graduação em Agronomia, sob supervisão da Dra. Juliana Messana, no período de setembro 2022 a janeiro de 2023. Na sua tese se dedicou a desenvolver modelos de predição do conteúdo do trato gastrointestinal de pequenos ruminantes, assim como, a predizer a composição química do corpo vazio e da carcaça em caprinos em crescimento utilizando uma abordagem meta-analítica.

When you're weary
Feeling small
When tears are in your eyes
I'll dry them all
I'm on your side
Oh, when times get rough
And friends just can't be found
Like a bridge over troubled water
I will lay me down
Like a bridge over troubled water
I will lay me down
When you're down and out
When you're on the street
When evening falls so hard
I will comfort you
I'll take your part
Oh, when darkness comes
And pain is all around
Like a bridge over troubled water
I will lay me down
Like a bridge over troubled water
I will lay me down
Sail on, silver girl, sail on by
Your time has come to shine
All your dreams are on their way
See how they shine
Oh, if you need a friend
I'm sailing right behind
Like a bridge over troubled water
I will ease your mind
Like a bridge over troubled water
I will ease your mind **(Bridge Over Troubled Water by Paul Simon, 1969)**

DEDICO,

Aos meus pais, Paulo e Magda sem os quais eu não estaria aqui,
A meu esposo, Joelson a pessoa que melhor compreende a luta diária e por
vezes, sacrificante de ser pós-graduanda,
A meu filho, Rafael que faz tudo valer a pena.

A vocês meu eterno amor!

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela sua eterna presença que jamais me desampara, por me dar desafios e a capacidade de concretizá-los, pelo amor e benevolência que transcendem as palavras e o entendimento, mas podem ser sentidos.

Aos meus pais Paulo e Magda, por todo o amor, dedicação e esforço a mim concedidos. Por estarem sempre ao meu lado, me incentivando e tornando meus sonhos passíveis de serem realizados. Os melhores amigos e professores que Deus poderia me conceder. Amo vocês!

Ao meu irmão Marcos Paulo, meu compadre e parceiro de todas as horas. Obrigada pela amizade e amor que me transmite.

Ao meu esposo Joelson, que suporta com amor e paciência a vida exaustiva que a pós-graduação nos impõe. Por ser meu amigo, parceiro, por me auxiliar e torcer para o meu sucesso, mesmo que isso nos custe horas de convívio.

Ao meu filho Rafael, meu tesouro, que chegou de repente decidido com é. Veio com sua personalidade marcante, nos ensinando o que realmente importa na vida – a presença, o carinho, o colo, o afeto, o cuidar. A você meu filho devo o propósito da minha vida, e um amor incondicional que desconhecia antes de te conhecer.

A minha orientadora Izabelle Auxiliadora Teixeira por aceitar minha orientação e me auxiliar a desenvolver minhas habilidades profissionais e pessoais.

Ao meu coorientador Marcelo Gindri por todos os ensinamentos, pelo seu tempo e paciência, pela paixão que exerce sua profissão, pelo humanismo que conduz as pessoas - sem você eu não teria chegado até aqui. O coorientador que se tornou meu amigo, psicólogo. Uma pessoa maravilhosa que guardo em meu coração e pretendo levar pelo resto da vida.

Ao Bruno Biagioli que esteve presente na minha formação desde meu estágio obrigatório de graduação e me auxilia desde então.

Aos professores Gilberto de Lima Macedo Junior, e Elzania Pereira por cederem seus dados permitindo o desenvolvimento da minha tese de forma mais robusta.

A toda equipe Cabritolândia: Izabelle Teixeira, Márcia Fernandes, Kléber Resende, Bruno Biagioli, e aos colegas que passaram por aqui: Walter Gallardo, Illis Janes,

Letícia Estéfani, Gabriel Moreira, Yumi Taguti, Queila Ameno, Pedro Archanjo, obrigada pela convivência.

A toda equipe do Centro de Convivência Infantil (CCI) “Recanto dos Pequenininhos” da Unesp Jaboticabal, especialmente à Letícia Marques que cuidou do meu bem mais precioso enquanto eu trabalhava. Obrigada pelo cuidado, atenção e carinho dedicados ao Rafael nesse período.

A Marina Elizabeth Barbosa Andrade pela amizade de sempre, por estar presente mesmo na distância, por me auxiliar seja de forma ativa ou passiva. Pela alegria e positividade que sempre transmite aos demais, pelo ser humano maravilhoso que tenho muita alegria em poder conviver, e ter como AMIGA!

A minha sogra Fátima e minha cunhada Jéssica pelo auxílio e por torcerem por mim. A minha cunhada Júlia pela alegria do convívio, por tornar a vida passível de encontros e por nos conceder as joias raras e maravilhosas que são meus sobrinhos Antônio e Eva.

A Camila Eduardo que me auxiliou tantas vezes com ofícios, formulários e burocracias.

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

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo fomento da bolsa de estudos que permite a permanência dos pós-graduandos em suas atividades acadêmicas.

A todos que torceram por mim e acreditaram que mais esse ciclo seria concluído, meu muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMMARY

	Page
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
LIST OF ABBREVIATIONS	vii
LIST OF FIGURES.....	viii
LIST OF TABLES.....	xii
CHAPTER 1 – General considerations	1
1. Introduction	1
2. Literature Review	2
2.1. Gastrointestinal tract content in small ruminants	2
2.2. Body composition and assessment methods.....	3
2.3. Empty body and carcass chemical composition estimation using body	4
components in goats.....	4
3. References	7
CHAPTER 2 – Modeling gastrointestinal tract wet pool size in small ruminants	12
1. Introduction.....	13
2. Materials and Methods	13
2.1. Data Set	13
2.2. Models’ Development.....	15
2.3. Model’s Evaluation	15
3. Results	15
3.1. Models’ Development.....	15
3.2. Model Evaluation.....	18
4. Discussion	21
4.1. Goats Fed with the Ad Libitum Suckling Diet	21
4.2. Animals Fed with Feeding Levels of Solid Diet	21
4.3. Animals Fed with an Ad Libitum Solid Diet.....	22
5. Conclusions.....	24
6. References	25
CHAPTER 3 – Predicting the empty body chemical composition of growing goats....	
using ribs, shoulder, and neck.....	29
ABSTRACT.....	29

1. Introduction.....	30
2. Material and methods	31
2.1. Data set.....	31
2.2. Slaughter procedures and chemical analysis	33
2.3. Statistical analysis	33
2.3.1. Cluster analysis.....	33
2.3.2. Models' development	35
3. Results and Discussion	37
3.1. Cluster analysis.....	37
3.2. Selected body parts.....	39
4. Conclusion	49
5. References.....	49
CHAPTER 4 – Predicting the chemical carcass composition of capretto and.....	53
chevon goats using commercial cuts in a meta-analytical approach	53
ABSTRACT	53
1. Introduction	54
2. Material and methods.....	55
2.1. Data set.....	55
2.2. Slaughter procedures and chemical analysis	57
2.3. Statistical analysis.....	57
2.3.1. Clustering	57
2.3.2. Models' development	58
3. Results and Discussion	60
3.1. Cluster analysis.....	60
3.2. Selected carcass components	62
4. Conclusion	68
5. References.....	69
APPENDIX.....	72
APPENDIX I.....	76
APPENDIX II.....	82
APPENDIX III.....	96
APPENDIX IV	99

PREDIÇÃO DO CONTEÚDO DO TRATO GASTROINTESTINAL E DA COMPOSIÇÃO CORPORAL EM PEQUENOS RUMINANTES

RESUMO – Esta tese foi conduzida com o objetivo de desenvolver modelos abrangentes para prever o conteúdo do trato gastrointestinal (TGlc), e a composição química do corpo vazio e da carcaça usando uma abordagem de meta-regressão. O TGlc é a quantidade total de conteúdo presente no TGI. O entendimento do TGlc é essencial em estudos que avaliam a digestão e a passagem de nutrientes pelo TGI. Além disso, o conhecimento da dinâmica do TGlc é crucial para o desenvolvimento de estratégias alimentares eficazes, modelos acurados de previsão do TGlc, refinamento de modelos preditivos para a taxa de passagem e melhoria da previsão do rendimento de carcaça e do peso corporal vazio (PCVZ). Por sua vez, o termo composição corporal refere-se à composição química de todo o corpo do animal. A composição química corporal é de grande importância, permitindo avaliar as exigências nutricionais do animal e selecionar geneticamente animais que apresentam características desejáveis. Para a previsão do TGlc, um conjunto de dados foi compilado a partir de 21 estudos com 750 registros individuais de caprinos e ovinos de diferentes sexos, raças, tipos de dieta, estados fisiológicos, estágios de gestação em dias e tipo de gestação. Essas variáveis preditoras foram inicialmente analisadas por meio de regressão linear simples. Posteriormente, as variáveis foram ajustadas usando transformações de logaritmo natural, considerando o efeito aleatório do estudo e o erro residual, empregando um procedimento de seleção supervisionada. No geral, os modelos de previsão confirmaram que a relação entre o TGlc e o peso corporal é robusta para animais alimentados com dieta sólida. Além disso, a gestação influencia o TGlc, e o efeito da ingestão de fibra em detergente neutro no TGlc é consistente em diferentes espécies. Por sua vez, considerando a previsão da composição química do corpo vazio, um conjunto de dados compilado a partir de 4 estudos com registros individuais de 165 caprinos machos de diferentes aptidões (leite e carne) e níveis de ingestão (ad libitum, intermediate, and maintenance) foi analisado. Órgãos+vísceras, cabeça+pés, 9^a-11^a costelas, pescoço, paleta, costelas, lombo e perna foram considerados como possíveis preditores da composição do corpo vazio. Primeiro, uma análise de agrupamento foi realizada para identificar as partes do corpo mais frequentemente associadas à composição do corpo vazio. Em seguida, a análise de regressão foi empregada considerando como variáveis preditoras: composição química (ou seja, cinzas, proteínas, gordura e água) expressa como porcentagem das partes selecionadas do corpo (ou seja, costelas, paleta e pescoço), aptidão, níveis de ingestão e PCVZ (kg). Entre os modelos desenvolvidos, apenas um para cada nutriente de cada parte do corpo foi selecionado. Os modelos de costelas demonstraram o melhor ajuste para prever a composição química corporal, seguidos pela paleta e pescoço. A aptidão influenciou significativamente as previsões da composição química corporal. O nível de ingestão afetou a previsão da gordura na paleta e no pescoço, refletindo o impacto dietético no acúmulo de gordura. Finalmente, para prever a composição química da carcaça, um conjunto de dados contendo registros individuais da composição química da carcaça e componentes da carcaça (pescoço, paleta, perna, lombo, costelas e seção da 9^a a 11^a costelas) foi compilado

a partir de 4 estudos com 129 caprinos de diferentes aptidões (leite e carne) e sexos (machos inteiros e castrados) alimentados ad libitum. Os caprinos foram classificados de acordo com os pesos ao abate maiores ou menores que 22 kg em capretto e chevon, respectivamente. Após a seleção dos componentes da carcaça por meio de análise de agrupamento, foi realizado um procedimento de regressão supervisionado. Nossos resultados revelaram que diferentes componentes da carcaça, preveem com precisão e acurácia a composição da carcaça para capretto, ou seja, costelas, a seção da 9ª a 11ª costelas e a paleta, e para chevon, ou seja, lombo, pescoço, paleta e perna, independentemente da aptidão. A aptidão mostrou um forte efeito na predição da composição da carcaça de capretto e chevon, enquanto o peso da carcaça teve maior influência na composição da carcaça de chevon usando o lombo e pescoço, regiões com desenvolvimento tardio.

Palavras-chave: caprinos, composição química, meta-análise, ovinos, preenchimento do trato gastrointestinal, requerimentos nutricionais

PREDICTING GASTROINTESTINAL TRACT CONTENT AND BODY COMPOSITION IN SMALL RUMINANTS

ABSTRACT – This thesis was conducted to develop comprehensive models for predicting the gastrointestinal tract (GIT) wet pool size (GITwps), and chemical composition of empty body and carcass using a meta-regression approach. The GITwps is the total amount of wet contents in the GIT. Understanding GITwps is essential in studies that evaluate digestion and nutrient passage through GIT. In addition, the knowledge of GITwps dynamics is crucial for developing effective feeding strategies, accurate prediction models for GITwps, refining predictive models for passage rate, and improving the prediction of dressing percentage and empty body weight (EBW). In turn, body composition refers to the chemical composition of the animal's entire body. The body's chemical composition is of great importance. It allows for evaluating the animal's nutritional requirement, and genetically selecting animals with desirable traits. For the GITwps prediction, a data set was compiled from 21 studies comprising 750 individual records of goats and sheep of different sexes, breeds, types of diet, physiological states, stages of pregnancy in days, and type of pregnancy. These predictor variables were initially analyzed through simple linear regression. Subsequently, the variables were fitted using natural logarithm transformations, considering the random effect of the study and residual error, employing a supervised forward selection procedure. Overall, the prediction models confirm that the relationship between GITwps and BW is robust for animals fed a solid diet. Additionally, pregnancy influences GITwps, and the effect of neutral detergent fiber intake on GITwps is consistent across different species. Considering the empty body chemical composition prediction, a dataset from 4 studies comprising individual records from 165 male goats of different aptitudes (dairy, and meat), and feed intake level was analyzed. The organs+viscera, head+feet, 9th –11th ribs, neck, shoulder, ribs, loin, and leg were considered possible body parts predictors of empty body composition. First, a cluster analysis was performed to identify body parts most frequently associated with empty body composition. Then, regression analysis was employed considering as predictor variables: chemical composition (i.e., ash, protein, fat, and water) expressed as a percentage of the selected body parts (i.e., ribs, shoulder, and neck), aptitude, intake level, and EBW (kg). Among the developed models only one for each nutrient of each body part was selected. Ribs models demonstrated the best fit to predict body chemical composition, followed by the shoulder and neck. Aptitude significantly influences predictions of body chemical composition. Intake level affected fat body prediction in the shoulder and neck, reflecting the dietary impact on fat accretion. Finally, to predict carcass chemical composition a dataset containing individual records of carcass chemical composition and carcass components (neck, shoulder, leg, loin, ribs, and 9th to 11th ribs section) was compiled from four studies comprising 129 goats of different aptitudes (dairy, and meat) and sexes (intact males, and castrated males) fed ad libitum. The goats were classified according to slaughter weights greater or lesser than 22 kg as capretto and chevon, respectively. After the election of the carcass components by cluster analysis, a supervised forward procedure was employed. Our found revealed

that different carcass components precisely and accurately predict the carcass for capretto, i.e., ribs, the 9th to 11th ribs section, and shoulder, and for chevon goats, i.e., loin, neck, shoulder, and leg, regardless of aptitude. The aptitude showed a strong effect in the prediction of capretto and chevon carcass composition, while the carcass weight was more influential on chevon carcass composition using the loin and neck carcass components, regions with later development.

Keywords: chemical composition, goats, gut fill, nutritional requirements, meta-analysis, sheep

LIST OF ABBREVIATIONS

AD	Average distance
ADM	Average distance between means
AICC	Akaike's information criterion with a small sample correction
APN	Average proportion of non-overlap
BW	Body weight
CCC	Concordance correlation coefficient
DMI	Dry matter intake
EBW	Empty body weight
FOM	Figure of merit
GIT	Gastrointestinal tract
GITwps	Gastrointestinal tract wet pool size
MRT	Mean retention time
MSPE	Mean square prediction error
NDFI	Neutral detergent fiber intake
PCVZ	Peso de corpo vazio
R ²	Coefficient of determination
RMSE	Root means square prediction error
RMSPE	Positive square root of mean square prediction error
SBW	Shrunk body weight
TGI	Trato gastrointestinal
TGlc	Conteúdo do trato gastrointestinal
VIF	Variance inflation factor

LIST OF FIGURES

CHAPTER 2

- Figure 1.** Small ruminants' gastrointestinal wet pool size (GITwps; g/kg BW) along the range of body weight (BW; kg) of all individuals in the dataset (black line) or suckling (blue dots and line) and solid diet animals (orange dots and line)..... 16
- Figure 2.** Breed distribution along gastrointestinal wet pool size (GITwps; g/kg BW) and body weight (BW; kg) relationship for small ruminants fed solid diet..... 17
- Figure 3.** Standardized regression coefficients obtained from standardized (*) predictor and predicted variables of the developed models of gastrointestinal wet pool size (GITwps; g/kg BW) in growing small ruminants fed ad libitum (Equation (5), Goat: $\text{GITwps g/kg BW} = 223.85 \pm 14.38 - 1.36 \pm 0.42 \times \text{BW kg}$, Sheep: $\text{GITwps g/kg BW} = 309.22 \pm 21.47 - 2.77 \pm 0.58 \times \text{BW kg}$; Equation (6), Goat: $\text{GITwps g/kg BW} = 225.04 \pm 21.14 - 1.42 \pm 0.42 \times \text{BW kg} + 0.10 \pm 0.66 \times \text{DMI g/kg BW}$, Sheep: $\text{GITwps g/kg BW} = 399.55 \pm 33.69 - 3.07 \pm 0.62 \times \text{BW kg} - 2.88 \pm 0.84 \times \text{DMI g/kg BW}$; Equation (7), Goat and Sheep: $\text{GITwps g/kg BW} = 200.77 \pm 16.7 - 1.15 \pm 0.35 \times \text{BW kg} + 2.84 \pm 0.66 \times \text{NDFI g/kg BW}$; Equation (8), Goat and Sheep: $\text{GITwps g/kg BW} = 110.11 \pm 17.46 - 0.5 \pm 0.33 \times \text{BW kg} + 238.05 \pm 21.8 \times \text{NDFI g/g DMI}$; Equation (9), Goat: $\text{GITwps g/kg BW} = 525.5 \pm 1.18 \times \text{BW kg}^{-0.33 \pm 0.05}$, Sheep: $\text{GITwps g/kg BW} = 653.8 \pm 1.05 \times \text{BW kg}^{-0.33 \pm 0.05}$; Equation (10), Goat: $\text{GITwps g/kg BW} = 573.9 \pm 1.2 \times \text{BW kg}^{-0.39 \pm 0.05} \times e^{0.00461 \pm 0.003 \times \text{DMI g/kg BW}}$, Sheep: $\text{GITwps g/kg BW} = 1185.8 \pm 1.14 \times \text{BW kg}^{-0.39 \pm 0.05} \times e^{-0.014145 \pm 0.005 \times \text{DMI g/kg BW}}$; Equation (11), Goat: $\text{GITwps g/kg BW} = 430.04 \pm 1.23 \times \text{BW kg}^{-0.29 \pm 0.05} \times e^{0.00788 \pm 0.004 \times \text{NDFI g/kg BW}}$, Sheep: $\text{GITwps g/kg BW} = 512.2 \pm 1.06 \times \text{BW kg}^{-0.29 \pm 0.05} \times e^{0.00788 \pm 0.004 \times \text{NDFI g/kg BW}}$; Equation (12) Goat: $\text{GITwps g/kg BW} = 185.2 \pm 1.27 \times \text{BW kg}^{-0.13 \pm 0.06} \times e^{1.01 \pm 0.14 \times \text{NDFI g/g DMI}}$, Sheep: $\text{GITwps g/kg BW} = 200.55 \pm 1.08 \times \text{BW kg}^{-0.13 \pm 0.06} \times e^{1.01 \pm 0.14 \times \text{NDFI g/g DMI}}$)..... 19
- Figure 4.** Linear models' cross-evaluation results for predicting gastrointestinal wet pool size (GITwps; g/kg BW) in growing small ruminants fed ad libitum. Regression between adjusted observed GITwps, adjusted for the random effect of study, and predicted GITwps, in the top part of the graphics, or studentized residuals, in the bottom

part of the graphics, using the developed models (Equation (5), Goat: GITwps g/kg BW = $223.85 \pm 14.38 - 1.36 \pm 0.42 \times \text{BW kg}$, Sheep: GITwps g/kg BW = $309.22 \pm 21.47 - 2.77 \pm 0.58 \times \text{BW kg}$; Equation (6), Goat: GITwps g/kg BW = $225.04 \pm 21.14 - 1.42 \pm 0.42 \times \text{BW kg} + 0.10 \pm 0.66 \times \text{DMI g/kg BW}$, Sheep: GITwps g/kg BW = $399.55 \pm 33.69 - 3.07 \pm 0.62 \times \text{BW kg} - 2.88 \pm 0.84 \times \text{DMI g/kg BW}$; Equation (7), Goat and Sheep: GITwps g/kg BW = $200.77 \pm 16.7 - 1.15 \pm 0.35 \times \text{BW kg} + 2.84 \pm 0.66 \times \text{NDFI g/kg BW}$; Equation (8), Goat and Sheep: GITwps g/kg BW = $110.11 \pm 17.46 - 0.5 \pm 0.33 \times \text{BW kg} + 238.05 \pm 21.8 \times \text{NDFI g/g DMI}$).....20

Figure 5. Nonlinear models' cross-evaluation results for predicting gastrointestinal wet pool size (GITwps; g/kg BW) in growing small ruminants fed ad libitum. Regression between adjusted observed GITwps, adjusted for the random effect of study and predicted GITwps, in the top part of the graphics, or studentized residuals, in the bottom part of the graphics, using the developed models (Equation (9), Goat: GITwps g/kg BW = $525.5 \pm 1.18 \times \text{BW kg}^{-0.33 \pm 0.05}$, Sheep: GITwps g/kg BW = $653.8 \pm 1.05 \times \text{BW kg}^{-0.33 \pm 0.05}$; Equation (10), Goat: GITwps g/kg BW = $573.9 \pm 1.2 \times \text{BW kg}^{-0.39 \pm 0.05} \times e^{0.00461 \pm 0.003 \times \text{DMI g/kg BW}}$, Sheep: GITwps g/kg BW = $1185.8 \pm 1.14 \times \text{BW kg}^{-0.39 \pm 0.05} \times e^{-0.014145 \pm 0.005 \times \text{DMI g/kg BW}}$; Equation (11), Goat: GITwps g/kg BW = $430.04 \pm 1.23 \times \text{BW kg}^{-0.29 \pm 0.05} \times e^{0.00788 \pm 0.004 \times \text{NDFI g/kg BW}}$, Sheep: GITwps g/kg BW = $512.2 \pm 1.06 \times \text{BW kg}^{-0.29 \pm 0.05} \times e^{0.00788 \pm 0.004 \times \text{NDFI g/kg BW}}$; Equation (12) Goat: GITwps g/kg BW = $185.2 \pm 1.27 \times \text{BW kg}^{-0.13 \pm 0.06} \times e^{1.01 \pm 0.14 \times \text{NDFI g/g DMI}}$, Sheep: GITwps g/kg BW = $200.55 \pm 1.08 \times \text{BW kg}^{-0.13 \pm 0.06} \times e^{1.01 \pm 0.14 \times \text{NDFI g/g DMI}}$).....21

CHAPTER 3

Figure 1. Clustering results of the 22 subsets performed to identify the frequency of grouping between empty body chemical composition and body part chemical composition.....38

Figure 2. Linear models' results for predicting body chemical composition (BC, % of empty body weight) by ribs chemical composition (% of ribs weight) of dairy and meat male growing goats weighing 5 to 35 kg fed ad libitum to maintenance. Regression between observed BC, and predicted BC using developed models (A, Equation (1), Meat: Body Ash % = $2.2 \pm 0.191 + 0.40 \pm 0.0458 \times \text{Ash Ribs \%}$, Dairy: Body Ash % =

0.78 ± 0.260 + 0.77 ± 0.0356 × Ash Ribs %; B, Equation (2), Meat: Body Protein % = 13 ± 0.737 + 0.30 ± 0.0406 × Protein Ribs %, Dairy: Body Protein % = 7.5 ± 0.954 + 0.62 ± 0.0280 × Protein Ribs %; C, Equation (3), Meat: Body Fat % = 1.5 ± 0.213 + 0.69 ± 0.0164 × Fat Ribs %, Dairy: Body Fat % = 0.51 ± 0.330 + 0.84 ± 0.0191 × Fat Ribs %; D, Equation (4), Meat: Body Water % = 30.9 ± 2.52 + 0.57 ± 0.0378 × Water Ribs %, Dairy: Body Water % = 7.6 ± 3.14 + 0.92 ± 0.0289 × Water Ribs %). 42

Figure 3. Linear models' results for predicting body chemical composition (BC, % of empty body weight) by shoulder chemical composition (% of shoulder weight) of dairy and meat male growing goats weighing 5 to 35 kg. For letters A, B, and D animals were fed ad libitum to maintenance. For letter C animals were divided into Ad libitum, bellow ad libitum (i.e., any intake level other than ad libitum), ad libitum* (i.e., comprise the intermediate intake level and above), and maintenance according to orthogonal contrast. Regression between observed BC, and predicted BC using developed models (A, Equation (5), Meat: Body Ash % = 2 ± 0.22 + 0.33 ± 0.0394 × Ash Shoulder %, Dairy: Body Ash % = 0.30 ± 0.241 + 0.72 ± 0.0191 × Ash Shoulder %; B, Equation (6), Meat: Body Protein % = 11 ± 1.4 + 0.38 ± 0.0711 × Protein Shoulder %, Dairy: Body Protein % = 7.2 ± 1.52 + 0.63 ± 0.0313 × Protein Shoulder %; C, Equation (7), Meat: Body Fat % Ad Libitum* = 1.2 ± 0.257 + 0.94 ± 0.0264 × Fat Shoulder %, Meat: Body Fat % Maintenance = 1.2 ± 0.257 + 0.77 ± 0.0310 × Fat Shoulder %, Dairy: Body Fat % Ad Libitum = -0.95 ± 0.431 + 1.3 ± 0.0341 × Fat Shoulder %, Dairy: Body Fat % Bellow Ad Libitum = -0.95 ± 0.431 + 1.2 ± 0.0401 × Fat Shoulder %; D, Equation (8), Meat and Dairy: Body Water % = -6.4 ± 2.45 + 1.1 ± 0.0367 × Water Shoulder %). 45

Figure 4. Linear models' results for predicting body chemical composition (BC, % of empty body weight) by neck chemical composition (% of neck weight) of dairy and meat male growing goats weighing 5 to 35 kg. For letters A, B, and D animals were fed ad libitum to maintenance. For letter C dairy goats were divided into Ad libitum, and bellow ad libitum (i.e., any intake level other than ad libitum) according to orthogonal contrast. Regression between observed BC, and predicted BC using developed models (A, Equation (9), Meat: Body Ash % = 0.86 ± 0.172 + 0.71 ± 0.0438 × Ash Neck %, Dairy: Body Ash % = 0.86 ± 0.172 + 0.77 ± 0.0415 × Ash Neck %; B, Equation (10), Meat: Body Protein % = 12.8 ± 1.32 + 0.30 ± 0.0718 × Protein Neck %, Dairy: Body Protein % = 1.7 ± 1.70 + 0.92 ± 0.0507 × Protein Neck %; C, Equation (11), Meat: Body

Fat % All = $0.73 \pm 0.365 + 0.96 \pm 0.0368 \times \text{Fat Neck \%}$, Dairy: Body Fat % Ad Libitum = $-0.95 \pm 0.601 + 1.6 \pm 0.0574 \times \text{Fat Neck \%}$, Dairy: Body Fat % Bellow Ad Libitum = $-0.95 \pm 0.601 + 1.4 \pm 0.0664 \times \text{Fat Neck \%}$; D, Equation (12), Meat: Body Water % = $15.5 \pm 5.29 + 0.77 \pm 0.0760 \times \text{Water Neck \%}$, Dairy: Body Water (%) = $-20.9 \pm 6.58 + 1.3 \pm 0.0569 \times \text{Water Neck \%}$).....48

CHAPTER 4

Figure 1. Clustering results between carcass components and corresponding capretto and chevon carcasses considering aptitude as an influent variable.....61

LIST OF TABLES

CHAPTER 2

Table 1. Summary of animal characteristics in the 21 studies used to assemble the dataset used in the meta-regression.....	14
Table 2. Selected linear equations for predicting gastrointestinal wet pool size (GITwps) of growing small ruminants fed ad libitum.....	17
Table 3. Selected nonlinear equations for predicting gastrointestinal wet pool size (GITwps) of growing small ruminants fed ad libitum.....	18

CHAPTER 3

Table 1. Descriptive statistics of the chemical composition of dairy and meat goats subjected to different levels of intake and body weight varying from 5 to 35 kg (n=165).....	32
Table 2. Prediction of empty body chemical composition (% EBW) using the ribs composition (% of ribs weight) of growing goats.....	41
Table 3. Prediction of empty body chemical composition (% EBW) using the shoulder composition (% of shoulder weight) of growing goats.....	44
Table 4. Prediction of empty body chemical composition (% EBW) using the neck composition (% of neck weight) of growing goats.....	47

CHAPTER 4

Table 1. Descriptive statistics of the carcass and carcass components' chemical composition of the capretto and chevon goats used to assemble this meta-analysis (n = 129).....	56
Table 2. Selected linear equations to predict the carcass composition ¹ using the carcass components ² composition ³ of Capretto goats.....	64
Table 3. Selected linear equations to predict the carcass composition ¹ using the carcass components ² composition ³ of Chevon goats.....	67

CHAPTER 1 – General considerations

1. Introduction

The content of the gastrointestinal tract (GITwps) can vary due to factors associated with diet or the animal, such as diet quality, intake level, the animal's physiological condition, and sex (Owens et al., 1995). The GIT content is obtained after the animal's slaughter. Therefore, equations are necessary for predicting GITwps since despite limited research on the topic, measuring GITwps is crucial for studies evaluating digestion and nutrient passage through GIT. It also provides insights into how animals respond to diet and the associated physiology.

In turn, knowledge of body composition reflects the animals' energy reserves (Maeno et al., 2013). It can be used to predict nutrient utilization efficiency, nutrient partitioning under various physiological conditions, chemical maturity, and compensatory growth after undernutrition periods (Mitchell, 2007). The variation in body constituents throughout an animal's life and during specific physiological periods is a natural process (CSIRO, 2007). It directly affects carcass composition at slaughter (i.e., muscle and fat deposition). Consequently, scientific research continually seeks methods to estimate such variations to provide better nutritional management while minimizing costs.

Body composition can be estimated using direct or indirect methods. Direct methods involve chemically analyzing all body components. Despite their high precision, these methods have technical, financial, and ethical limitations (Teixeira, 2004). Indirect methods aim to reduce costs and analysis time while partially preserving the carcass for commercial purposes. However, indirect methods require validation to measure body composition accurately and may accumulate errors.

Modeling based on previously collected data is an alternative to direct methods and animal slaughter. This approach yields better insights into research interests (i.e., predicting gastrointestinal content or body composition) by utilizing a larger number of individuals and considering a wide range of factors affecting the variable of interest. Thus, the objective of this study was to develop equations for predicting gastrointestinal tract content and estimating the empty body and carcass chemical composition of goats using a meta-analytical approach.

4. Conclusion

This meta-analysis identified the group of animals, i.e., capretto or chevon, as a determinant in selecting the main carcass components to predict the chemical carcass composition of growing dairy and meat male goats fed ad libitum. Among the capretto group the ribs, 9th to 11th ribs section, and shoulder were identified as single carcass components to predict protein, fat, and water. For the chevon group the selected carcass components were the loin, neck, shoulder, and leg. Overall, this study provides results of goat's composition that could assist the creation of an official system for carcass classification and allow for better marketing, as cuts with good tissue conformation have higher added sales value.

5. References

AOAC, 1990. **Official Methods and Analysis**, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

Arguello, A, Capote, J., Gines, R., & Lopez, J. L. (2001). Prediction of kid carcass composition by use of joint dissection. **Livestock Production Science**, 67.

Carroll, M. A. (1972). Symp. **Aspects of Carcass Evaluation.**, Proc. Br. Soc. Anita. Prod., p. 123.

Chaosap, C., Chauychuwong, N., Chauychuwong, R., Sriprem, C., Sivapirunthep, P., & Sazili, A. Q. (2021). Carcass composition, meat quality, calpain activity, fatty acid composition and ribonucleotide content in southern Thai native goats and three-way crossbred goats. **Foods**, 10(6), 1323. <https://doi.org/10.3390/foods10061323>

Charrad, M., Ghazzali, N., Laval, U., & Niknafs, A. (2014). NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set Véronique Boiteau. **Journal of Statistical**, 61(6).

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 Ruminant Research**, 7(2), 161–173. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(92\)90205-1](https://doi.org/10.1016/0921-4488(92)90205-1)

Dhanda, J. S., Taylor, D. G., Mccosker, J. E., & Murray, P. J. (1999). The influence of goat genotype on the production of Capretto and Chevon carcasses. 3. Dissected carcass composition. **Meat Science**, 52, 369–374.

Dhanda, J. S., Taylor, D. G., & Murray, P. J. (2003a). Part 1. Growth, carcass and meat quality parameters of male goats: Effects of genotype and liveweight at slaughter. **Small Ruminant Research**, 50(1–2), 57–66. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00112-3)

Dhanda, J. S., Taylor, D. G., & Murray, P. J. (2003b). Part 2. Carcass composition and fatty acid profiles of adipose tissue of male goats: Effects of genotype and liveweight at slaughter. **Small Ruminant Research**, 50(1–2), 67–74. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00113-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00113-5)

Dhanda, J. S., Taylor, D. G., Murray, P. J., Pegg, R. B., & Shand, P. J. (2003). Goat Meat Production: Present Status and Future Possibilities. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 16(12), 1842–1852.

Dubeuf, J. P., Morand-Fehr, P., & Rubino, R. (2004). Situation, changes and future of goat industry around the world. **Small Ruminant Research**, 51(2), 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.007>

Etheridge, R.D., Pesti, G.M., Foster, E.H., 1998. Comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS 2000) on sample typical of animal nutrition analytical laboratory. **Animal Feed Science Technology**, 73, 21–28.

Fernandes, M. H. M. R., Resende, K. T., Tedeschi, L. O., Fernandes, J. S., Teixeira, I. A. M. A., Carstens, G. E., & Berchielli, T. T. (2008). Predicting the chemical composition of the body and the carcass of $\frac{3}{4}$ Boer \times $\frac{1}{4}$ Saanen kids using body components. **Small Ruminant Research**, 75(1), 90–98.

<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.09.005>

Ferreira, A. C.D., Yáñez, E. A., Medeiros, A. N., Resende, K. T., Pereira Filho, J. M., Fernandes, M. H. M.R, Almeida, A. K., & Teixeira, I. A.M.A. (2015). Protein and energy requirements of castrated male Saanen goats. **Small Ruminant Research**, 123(1), 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.10.017>

Gawat, M., Boland, M., Singh, J., & Kaur, L. (2023). Goat Meat: Production and Quality Attributes. **Foods**, 12(16). <https://doi.org/10.3390/foods12163130>

Johnson, D. D., McGowan, C. H., Nurse, G., & Anous, M. R. (1995). Breed type and sex effects on carcass traits, composition and tenderness of young goats. **Small Ruminant Research**, 17.

Lamikanra, V. T., Musingo, M. N. and James, N. A. (1993). Evaluation of unconventional meats, final report of project no. SOL DAAK 60-92-R-2031 to the U.S. **Army Natick Research and Development Center**, Natick, MA.

Mahgoub, O., & Lu, C. D. (1998). Growth, body composition and carcass tissue distribution in goats of large and small sizes. **Small Ruminant Research**, 27.

Medeiros, A. N., Resende, K. T., Teixeira, I. A. M. A., Araújo, M. J., Yáñez, E. A., & Ferreira, A. C. D. (2014). Energy requirements for maintenance and growth of male Saanen goat kids. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 27(9), 1293–1302. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13766>

Pereira Filho, J., Resende, K.T, Teixeira, I.A.M.A., Silva Sobrinho, A.G, Yáñez, E.A, & Ferreira, A.C.D. (2008). Características da carcaça e alometria dos tecidos de cabritos F1 Boer \times Saanen. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 3(5), 905–912.

Naude, R. T., & Hofmeyr, H. S. (1981). Meat production. In C. Gall (Ed.), **Goat Production**, London: Academic Press, pp. 285-307.

Owen, J. E., & Norman, G. A. (1977). Studies on the meat production characteristics of botswana goats and sheep-part II: General body composition, carcass measurements and joint composition. **Meat Science**, 283–306.

Potchoiba, M. J., Lu, C. D., Pinkerton, F., & Sahl, T. (1990). Effects of all-milk diet on weight gain, organ development, carcass characteristics and tissue composition, including fatty acids and cholesterol contents, of growing male goats. **Small Ruminant Research**, 3.

Rhee, K. S., Waldron, D. F., Ziprin, Y. A., & Rhee, K. C. (2000). Fatty acid composition of goat diets vs intramuscular fat. **Meat Science**, 54, 313–318.

Simela, L., Merkel, R. (2008). The contribution of chevon from Africa to global meat production. **Meat Science**, 80 (1), 101-109.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.037>.

Skapetas, B., & Bampidis, V. (2016). Goat production in the world: Present situation and trends. **Livestock Research for Rural Development**, 28(11).

Tahir, M. A., Al-Jassim, A. F., & Abdulla, A. H. H. (1994). Influence of live weight and castration on distribution of meat, fat and bone in the carcass of goats. **Small Ruminant Research**, 14, 219-223.

Teixeira, A., Azevedob, J., Delfa, R., Morand-Fehrd, P., & Costa, C. (1995). Growth and development of Serrana kids from Montesinho Natural Park (NE of Portugal). **Small Ruminant Research**, 16.

Teixeira, I. A. M. A., Fernandes, M. H. M. R., Pereira Filho, J. M., Canesin, R. C., Gomes, R. A., & Resende, K. T. (2017). Body composition, protein and energy efficiencies, and requirements for growth of F1 Boer x Saanen goat kids. **Journal of Animal Science**, 95(5), 2121–2132. <https://doi.org/10.2527/jas2016.1252>

Yáñez, E.A, Resende, K.T., Ferreira, Â.C.D., Pereira Filho, J.M., Medeiros, A.N., & Teixeira, I.A.M.A. (2009). Relative development of tissues, commercial meat cuts and live weight components in Saanen goats. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 38(2), 366-373.

Yáñez, E.A., Resende, K.T., Ferreira, Â.C.D., Medeiros, A.N.M., Silva Sobrinho, A.G., & Artoni, S.M.B. (2007). Effects of feed restriction on yield, retail cuts and tissue composition of carcass of Saanen kids. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36(3), 666–673.

Webb, E. C., Casey, N. H., & Simela, L. (2005). Goat meat quality. **Small Ruminant Research**, 60(1-2 SPEC. ISS.), 153–166. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.009>

Zygoiannis, D., Kufidis, D., Katsaounis, N., & Phillips, P. (1992). Fatty acid composition of carcass fat of indigenous (*Capra prisca*) suckled Greek kids and milk of their does. **Small Ruminant Research**, 8.