

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Curvas de crescimento e consumo de alimentos em novilhas
leiteiras de reposição**

Marcos Busanello

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal
e Pastagens

**Piracicaba
2021**

Marcos Busanello
Zootecnista

**Curvas de crescimento e consumo de alimentos em novilhas leiteiras de
reposição**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **DANTE PAZZANESE DUARTE LANNA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal
e Pastagens

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Busanello, Marcos

Curvas de crescimento e consumo de alimentos em novilhas leiteiras de reposição / Marcos Busanello. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2021.

142 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Bovinos de leite 2. Crescimento animal 3. Modelagem 4. *Bos taurus* x *Bos indicus* I. Título

AGRADECIMENTOS

À minha família (pai, mãe, irmãs, tios ...), foi difícil abdicar de passar tempo com eles para estudar esses anos todos, ainda mais com a pandemia que vivemos.

Ao meu orientador Dante Pazzanese Duarte Lanna, pela orientação, ensinamentos e experiência. Com certeza aprendi muito nesse período.

À toda equipe do Laboratório de Nutrição e Crescimento Animal (colegas e técnicos) por toda a ajuda durante esse período de estudos.

À Tuka (Maria Antonia Ladalardo Echegaray) que sempre esteve prontamente disponível para nos ajudar em diversas questões dentro do laboratório.

Aos professores Dra. Carla Machado Maris Bittar e Dr. Rodrigo de Almeida pelas considerações, correções e ajuda no planejamento da pesquisa, além de ajudar a contatar fazendas leiteiras para coleta de dados. Sem a ajuda de vocês, acredito que essa pesquisa teria sido muito mais difícil de conduzir.

À Dra. Veridiana Lourenço Daley pela ajuda e ensinamentos com o capítulo de avaliação de equações de consumo de matéria seca de novilhas leiteiras.

A todos os produtores que permitiram a coleta de dados em suas fazendas e as pessoas envolvidas na coleta no dia que fomos visitá-los. Cito-os aqui: ao pessoal dos grupos de pesquisa dos professores Dra. Carla Machado Maris Bittar, Dr. Luiz Gustavo Nussio e Dr. Flávio Augusto Portela dos Santos por permitirem e auxiliarem na coleta de dados do rebanho leiteiro da ESALQ/USP; ao Maurício Silveira Coelho (Fazenda Sta. Luzia); Ari Agustinho Busanello; Luis Sotili; Maicon Favretto, Arestides Turra, Propriedade Hanauer; Carlos Eduardo M. Almeida, João Paulo Nunes; Nico Biersteker, Marlene Kaiut; Felipe Miranda; Carlos Eduardo Los; Roberto Sleutjes; Milaine Poczynek; Kátya Castro (Black Bridge).

À Capes, CNPq e FAPESP pela concessão de bolsa de estudos.

*“Após muito tempo guardando
Os limites do Sul do Brasil
O gaúcho migrou para o norte
E do norte mudou o perfil*

*Deixou para trás a campanha
E a beleza dos campos dourados
E se foi a buscar nova vida
Numa terra de mato fechado*

*Este é o Brasil de bombacha
É a saga da raça guerreira
Nos fundões desta pátria se acha
Um gaúcho abrindo fronteiras*

*Este é o Brasil de bombacha
É a saga da raça guerreira
Nos fundões desta pátria se acha
Um gaúcho abrindo fronteiras*

*Só quem parte é quem sabe da dor
De deixar o seu pago e sua gente
As lembranças rebrotam ao redor
Só o forte consegue ir em frente*

*Nos peçuelos vão laços de afeto
E a honra de ser o que são
Os centauros da banda do Sul
Povo guapo criado em galpão*

*Este é o Brasil de bombacha
É a saga da raça guerreira
Nos fundões desta pátria se acha
Um gaúcho abrindo fronteiras*

*Este é o Brasil de bombacha
É a saga da raça guerreira
Nos fundões desta pátria se acha
Um gaúcho abrindo fronteiras*

*Ao chegar no torrão de seu gosto
Vão semeando alegria e respeito
O trabalho em seguida dá fruto
E o fruto é um consolo pro peito*

*Mate quente ou mate gelado
Chimarrão ou então tererê
Os costumes vão sendo mesclados
Num País com sotaque de tchê*

*Este é o Brasil de bombacha
É a saga da raça guerreira
Nos fundões desta pátria se acha
Um gaúcho abrindo fronteiras*

*Este é o Brasil de bombacha
É a saga da raça guerreira
Nos fundões desta pátria se acha
Um gaúcho abrindo fronteiras*

*Quando bate a saudade Daninha
Nos gaudérios tão longe de casa
A cordeona resmunga num rancho
E o churrasco respinga na brasa*

*No alicerce de algum CTG
O Rio Grande campeiro floresce
Aos gaúchos de alma pioneira
Comovido o Brasil agradece*

*Este é o Brasil de bombacha
É a saga da raça guerreira
Nos fundões desta pátria se acha
Um gaúcho abrindo fronteiras*

*Este é o Brasil de bombacha
É a saga da raça guerreira
Nos fundões desta pátria se acha
Um gaúcho abrindo fronteiras*

*Este é o Brasil de bombacha
É a saga da raça guerreira
Nos fundões desta pátria se acha
Um gaúcho abrindo fronteiras”*

Leo Ribeiro / Angelo Marques / Ricardo Marques

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1Objetivos gerais.....	16
1.2Objetivos específicos.....	16
Referências.....	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 Sistemas de criação de novilhas leiteiras de reposição.....	21
2.1.1 Sazonalidade na criação de novilhas.....	22
2.2 Nutrição de novilhas leiteiras de reposição.....	23
2.2.1 Consumo de alimentos.....	23
2.2.2 Relação volumoso:concentrado.....	24
2.2.3 Concentração energética da dieta.....	25
2.3 Exigências nutricionais de novilhas leiteiras.....	26
2.3.1 Exigências para Manutença	27
2.3.1.1 Exigência de Energia para Manutença.....	27
2.3.1.2 Exigência de Proteína para Manutença.....	29
2.3.2 Exigências para Crescimento.....	30
2.3.2.1 Exigência de Energia para Crescimento.....	30
2.3.2.2 Exigência de Proteína para Crescimento.....	32
2.4 Crescimento corporal	33
2.4.1 Taxas de crescimento.....	33
2.4.1.1 Desenvolvimento da glândula mamária e produção de leite.....	35
2.4.1.2 Altura de garupa e cernelha.....	37
2.4.2 Idade ao primeiro parto.....	38
2.4.3 Peso corporal adulto.....	39
2.5 Custos de criação de novilhas de reposição.....	40
2.6 Modelos matemáticos desenvolvidos para novilhas leiteiras.....	41
Referências.....	43

3 BODY GROWTH OF REPLACEMENT DAIRY HEIFERS FROM THREE DISTINCT GENETIC GROUPS FROM COMMERCIAL BRAZILIAN DAIRY HERDS.....	55
Abstract.....	55
3.1 Introduction.....	56
3.2 Material and Methods.....	57
3.2.1 Ethical Statement.....	57
3.2.2 Study design.....	57
3.2.3 Farm characteristics, animals, and data collection.....	57
3.2.4 Evaluated non-linear models and calculations.....	59
3.2.5 Statistical analysis.....	60
3.3 Results.....	60
3.3.1 Body weight growth.....	60
3.3.2 Hip height growth.....	61
3.3.3 Withers height growth.....	61
3.3.4 Body condition score.....	61
3.4 Discussion.....	62
3.5 Conclusion.....	67
Acknowledgements.....	67
References.....	67
4 FEED INTAKE OF GROWING DAIRY HEIFERS RAISED UNDER TROPICAL CONDITIONS: A MODEL EVALUATION USING META- ANALYSIS.....	82
Abstract.....	82
4.1 Implications.....	83
4.2 Introduction.....	83
4.3 Material and methods.....	85
4.3.1 Database.....	85
4.3.2 Calculations.....	86
4.3.3 Models evaluated.....	86
4.3.4 Statistical analysis.....	87
4.4 Results.....	87
4.4.1 Database.....	87

4.4.2 Model Evaluation 1: <i>Bos taurus</i> dairy heifers.....	88
4.4.3 Model Evaluation 2: Crossbred dairy heifers (<i>Bos taurus</i> × <i>Bos indicus</i>)..	89
4.5 Discussion.....	89
4.6 Conclusion.....	94
4.7 Author contributions.....	95
4.8 Conflict of interest.....	95
4.9 Acknowledgements.....	95
4.10 Ethics statement.....	95
4.11 Software and data repository resources.....	95
References.....	96
Tables.....	100
5 ESTIMATIVA DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA E PROTEÍNA PARA NOVILHAS LEITEIRAS HOLANDESAS, MISTIÇAS (HOLANDÊS × GIR) E JERSEY PARA REPOSIÇÃO.....	110
Resumo.....	110
Abstract.....	110
5.1 Introdução.....	111
5.2 Material e Métodos.....	112
5.3 Resultados e discussão.....	113
5.3.1 Exigências de energia.....	113
5.3.2 Exigências de proteína.....	114
5.3.3 Considerações.....	115
Referências.....	116
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127
ANEXOS.....	129

RESUMO

Curvas de crescimento e consumo de alimentos em novilhas leiteiras de reposição

Novilhas leiteiras de reposição são importantes em rebanhos leiteiros para substituição de vacas de descarte, melhoramento genético e crescimento do rebanho. As taxas de crescimento de novilhas estão diretamente ligadas ao desempenho futuro desses animais. Além disso, um dos fatores determinantes para o crescimento das fêmeas de reposição é o consumo de alimentos. Nas últimas décadas são poucas as pesquisas desenvolvidas com novilhas de reposição e os dados são ainda mais escassos para condições de clima tropical e de rebanhos cruzados, caso do Brasil. Assim, objetivou-se 1) estudar o crescimento corporal de novilhas leiteiras dos grupamentos raciais Holandês (HOL), Jersey (JER) e cruzamento Holandês x Gir (HxG), 2) avaliar equações de consumo de matéria seca (CMS) desenvolvidas para novilhas leiteiras e, 3) estimar as exigências nutricionais para condições de clima quente. Para o primeiro objetivo foram coletados dados de peso corporal, altura de garupa e cernelha e escore de condição corporal de novilhas leiteiras destes 3 grupos genéticos em fazendas comerciais (2.266 animais de 18 fazendas) em diferentes estados brasileiros (MG, PR, RS e SP). Modelos não-lineares foram utilizados para analisar os dados. Foram calculadas as taxas de maturação, ganho de peso diário (GPD) até a idade recomendada para 1º acasalamento (1ACA) e 1º parto (1PAR), bem como as equações de predição de tamanho corporal para cada mês de vida e o peso adulto (PA) para cada grupamento racial. Os PA encontrados foram de 681, 607 e 440 kg para HOL, HxG e JER, respectivamente. As taxas de maturação foram semelhantes para peso corporal e altura de garupa para HOL e HxG, sendo maior para JER, confirmando a maior precocidade deste grupo. Os GPD até o 1ACA foram de 0,84, 0,53 e 0,54 kg/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente, indicando que novilhas JER e HOL estão atingindo ~55% do PA até o 1ACA. Os GPD do 1ACA até 1PAR foram 0,53, 0,42 e 0,48 para HOL, HxG e JER, respectivamente, indicando que nenhum dos grupamentos genéticos estaria atingindo ~91% do PA até o 1PAR. Todos os grupos apresentaram ganho de pesos abaixo do ideal entre o 1ACA e 1PAR. O escore de condição corporal foi similar para os três grupamentos genéticos. Para o segundo objetivo uma base metanalítica de dados foi formada utilizando estudos publicados com novilhas leiteiras e conduzidos em condições tropicais em que o CMS foi avaliado, compreendendo 22 anos (1998 a 2020). Os dados foram classificados em dois conjuntos, sendo estes *Bos taurus* e animais cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus*. Sete equações de predição de CMS foram avaliadas para ambas os conjuntos de dados: duas desenvolvidas por Hoffman et al. (2008), duas desenvolvidas por Oliveira e Ferreira (2016), e as equações do NRC Dairy Cattle (2001), Quigley et al. (1986) e Stallings et al. (1985). Diversas estatísticas foram empregadas para avaliação destas equações: viés médio, viés de inclinação, coeficiente de correlação de concordância, erro quadrático médio de predição e sua decomposição, entre outras. Os resultados indicaram que não seria adequado utilizar uma mesma equação de predição de CMS para *Bos taurus* e animais cruzados criados em clima tropical. As equações de Hoffman et al. (2008) para novilhas cruzadas Holandês x Jersey e a equação não-linear de Oliveira e Ferreira (2016) foram as melhores para predizer o CMS de novilhas *Bos taurus* (viés médio < 0,16 kg/dia), enquanto a equação de Stallings et al. (1985) foi a melhor para predizer

o CMS de novilhas cruzadas (viés médio = 0,09 kg/dia). As demais equações apresentaram principalmente problemas de viés médio (precisão) ou de inclinação (acurácia). Para o terceiro objetivo foram simulados dados de peso vivo aos 3 meses a partir das equações de crescimento corporal obtidas e somando-se um GPD simulado para alcance de 91% do PA ao 1PAR. Considerou-se a idade de 15, 18 e 13 meses (HOL, HxG e JER, respectivamente) para o 1ACA e 24, 27 e 22 meses (HOL, HxG e JER, respectivamente) para o 1PAR. O modelo do NRC Dairy Cattle (2001) foi utilizado como base de cálculo incorporando os resultados de PA e da avaliação das equações de CMS encontrados neste estudo. As exigências de energia e proteína para manutenção, crescimento e gestação foram estimadas para cada mês de vida. Nosso estudo fornece o PA de grupos genéticos usados para a produção de leite nas condições tropicais do Brasil. Além disso, fornece a taxa de crescimento corporal alcançada em condições comerciais e ajuda a compreender as melhorias necessárias no manejo do crescimento de novilhas de reposição. As exigências nutricionais podem ser estimadas a partir dos dados de crescimento de novilhas de reposição.

Palavras-chave: Bovinos de leite, Crescimento animal, Modelagem, *Bos taurus* × *Bos indicus*

ABSTRACT

Growth curves and feed intake of dairy replacement heifers

Replacement dairy heifers are important in dairy herds to replace culled cows and to renew, increase, and improve genetically the herd. The growth rates of heifers are directly linked to the future performance of these animals. In addition, one of the determining factors of animal performance is feed intake. In the last few decades, just a few trials have been carried out with replacement heifers and data are even more scarce for tropical conditions. Thus, our objectives were to 1) study growth rates of dairy heifers from Holstein (HOL), Jersey (JER), and Holstein × Gyr (H×G) breeds, 2) evaluate published dry matter intake equations (DMI) for dairy heifers and, 3) estimate the nutritional requirements for different breeds in tropical conditions. For the first objective, data related to body weight, hip and withers height and body condition score of dairy heifers from these 3 genetic groups were collected on commercial dairy farms (2,266 animals from 18 dairy farms) in different Brazilian states (MG, PR, RS, and SP). Nonlinear models were used to analyze the data. The maturation rates, average daily weight gain (ADG) to the recommended age for 1st breeding (rAge1stB) and 1st calving (rAge1stC) were estimated. Equations predicted body weight during the growth curve and mature body weight (MBW) for each genetic group. The MBW were 681, 607, and 440 kg for HOL, H×G, and JER, respectively. Maturation rates were similar for weight and hip height for HOL and H×G, however, was higher for JER, indicating an earlier maturing breed. The ADG to 1stB were 0.84, 0.53, and 0.54 kg/d for HOL, H×G, and JER, respectively, indicating that JER and HOL heifers reached ~55% of MBW at rAge1stB. The ADG from rAge1stB to rAge1stC were 0.53, 0.42, and 0.48 for HOL, H×G, and JER, respectively, indicating that all genetic groups were not reaching ~91% of MBW at rAge1stC. All groups had less ADG than ideal between 1ACA and 1PAR. Body condition score was similar for the three genetic groups. For the second objective, a metanalytical data base was used from published studies (from 1998 to 2020) with dairy heifers under tropical conditions, where DMI was measured. The data were classified into two sets, being *Bos taurus* and crossbred *Bos taurus* × *Bos indicus*. Seven predictive DMI equations were evaluated for both data sets: two developed by Hoffman et al. (2008), two developed by Oliveira and Ferreira (2016), and the Dairy Cattle NRC (2001), Quigley et al. (1986), and Stallings et al. (1985). Statistics were used to evaluate these equations were: mean bias, slope bias, correlation coefficient of agreement, mean quadratic error of prediction and its decomposition, among others. The results indicated that it would not be appropriate to use a same predictive DMI equation for *Bos taurus* and crossbred under tropical conditions. The equations developed by Hoffman et al. (2008) for Holstein × Jersey crossbred heifers and the nonlinear equation by Oliveira and Ferreira (2016) were the best to predict the DMI of *Bos taurus* heifers (mean bias <0.16 kg/d), while the Stallings et al. (1985) equation was the best to predict DMI of crossbred heifers (mean bias = 0.09 kg/d). The other equations presented problems with a mean (precision) or slope bias (accuracy). For the third objective, body weight data at 3 months were simulated from the body growth equations obtained and adding a simulated ADG to achieve 91% of MBW at rAge1stC. We considered the ages of 15, 18, and 13 months (HOL, H×G, and JER, respectively) at rAge1stB and 24, 27, and 22 months (HOL, H×G, and JER, respectively) at rAge1stC. The Dairy Cattle NRC (2001) model was used as a basis for calculation incorporating the results of MBW and the evaluation of the DMI

equations found in this study. The energy and protein requirements for maintenance, growth and pregnancy were estimated for each month of life. Our study provides the adult body weight of genetic groups used for dairy production under tropical conditions of Brazil. Also, it provides the rate of body growth achieved under commercial conditions and helps to understand the necessary improvements in the management of the growth of replacement heifers. Nutritional requirements could be estimated from replacement heifer's growth data.

Keywords: Dairy cattle, Animal growth, Modelling, *Bos taurus* × *Bos indicus*

1 INTRODUÇÃO

Novilhas leiteiras são muito importantes dentro de um rebanho, pois são essenciais para reposição de vacas de descarte. O crescimento de bezerras e novilhas leiteiras de reposição tem sido estudado ao longo dos anos com considerável interesse na estimação de exigências nutricionais, crescimento corporal, desempenho, metabolismo proteico e energético, entre outros parâmetros importantes. Entretanto, historicamente a categoria que engloba as vacas em lactação é a que tem recebido maior atenção dos produtores e de pesquisadores ao longo dos anos. Os bezerros em aleitamento também receberam considerável interesse em pesquisas a partir dos anos 2000. Após o desaleitamento e até o primeiro parto o número de estudos existentes é relativamente menor na literatura internacional em comparação com as categorias anteriormente citadas desde a publicação da última versão do NRC (NRC, 2001). A partir de 2015 alguns estudos podem ser encontrados com novilhas leiteiras na literatura internacional relacionado a exigências nutricionais especialmente (Albino et al., 2015; Jiao et al., 2015; Moreira, 2016; Castro et al., 2020; Silva et al., 2020), indicando novamente um interesse crescente no desenvolvimento de pesquisa com novilhas leiteiras.

Contudo, em se tratando de crescimento e desenvolvimento corporal de novilhas leiteiras os principais estudos foram desenvolvidos antes dos anos 2000 (Heinrichs and Hargrove, 1987; Heinrichs and Hargrove, 1991; Heinrichs and Hargrove, 1994; Heinrichs and Losinger, 1998). São poucos os estudos recentes desenvolvidos neste tema a partir desta data (Berry et al., 2005; Duplessis et al. 2015; Handcock et al., 2019ab; Silva et al., 2020) e a grande maioria destes trabalhos somente avaliou o crescimento em condições de criação de clima subtropical ou temperado, com exceção para o estudo desenvolvido por Silva et al. (2020) que foi desenvolvido no Brasil. Além do mais, os estudos foram focados principalmente na raça Holandesa, com escassos estudos voltados para outras raças. Até o momento, por exemplo, não encontramos estudos desenvolvidos com curvas de crescimento corporal para animais mestiços *Bos taurus* x *Bos indicus*.

Estudar o crescimento de animais mestiços é relevante, pois, no Brasil, a grande maioria das propriedades leiteiras possuem bovinos oriundos de cruzamento entre raças zebuínas e européias (principalmente animais Holandês x Gir – HxG) criadas em sistemas extensivos e semi-extensivos (Assis et al., 2005; Miranda e Freitas, 2009). Como este tipo de animal tem grande importância na cadeia leiteira e

nos índices produtivos de grande parte dos estados do país, torna-se necessário estudar o crescimento de animais mestiços, em especial animais HxG que representam a maioria deste grupo. Apesar disso, grande parte dos confinamentos utilizam animais de raça Holandesa, e também a criação de animais de outras raças, especialmente a Jersey, tem relevância em certas regiões do país, neste caso em especial na região Sul.

Para um adequado plano de criação, alguns parâmetros são importantes de se definir. É importante conhecer o peso adulto (PA) das vacas do rebanho além de definir as idades alvo para primeiro acasalamento e parto. A partir do PA e definidas as idades alvo, é possível calcular o ganho de peso necessário para que as novilhas atinjam os objetivos definidos da sua criação. O recomendado é que as novilhas atinjam 55% do PA ao primeiro acasalamento e 91% do PA próximo ao primeiro parto considerando a raça Holandesa (Fox et al., 1999; NRC, 2001; NASEM, 2021), uma vez que atingem a puberdade com ~50% do PA (Patterson et al., 1992). Dados para outras raças são escassos, mas é assumido que de uma forma geral estes valores referência funcionam bem para outras raças europeias. Para raças zebuínas (*Bos indicus*) o peso ao primeiro acasalamento deve ser próximo a 60% do PA, pois são animais mais tardios relacionados ao alcance da puberdade que ocorre aos ~60% do PA (Patterson et al., 1992).

Com os pesos e ganhos de peso alvo calculados a partir dos PA e das idades almejadas para primeiro acasalamento e parto, é possível determinar as diversas exigências nutricionais de novilhas em crescimento, bem como os ganhos de peso para cada fase de criação. Na nutrição de ruminantes, os modelos mais conhecidos para estimação das exigências nutricionais são os desenvolvidos na França (INRA – Institut National de la Recherche Agronomique, 2018), Austrália (CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 2007), Reino Unido (AFRC – Agricultural and Food Research Council, 1993) e EUA (NRC – National Research Council, 2001; CNCPS – Fox et al., 1992, Tylutki et al., 2008). No Brasil, o NRC e o CNCPS têm sido os principais sistemas utilizados para formulação de dietas e em estudos de nutrição de bovinos leiteiros.

Todo e qualquer modelo tem suas complexidades, especificidades, vantagens e desvantagens. Cada modelo originalmente é desenvolvido, avaliado e proposto para condições, de certo modo, específicas de criação. O modelo do NRC (NRC, 2001) até o momento tem sido o que apresenta mais detalhes para cálculos de

exigências nutricionais de novilhas leiteiras. Contudo, este modelo foi desenvolvido em sua grande maioria a partir de equações com bovinos de corte com posterior avaliação para novilhas leiteiras baseado em dados principalmente de novilhas Holandesas criadas em condições de clima temperado e subtropical. Embora grande número de estudos tenha sido utilizado em diversas das suas avaliações, ainda há necessidade de avaliação das equações do NRC (2001) para novilhas leiteiras considerando outras raças e condições de criação.

Em condições de clima quente, caso do Brasil, são poucos os estudos com determinação ou estimação das exigências nutricionais onde a grande maioria das pesquisas apenas determina desempenho e consumo de matéria seca (CMS) de novilhas leiteiras (Garcia et al., 2006; Rangel et al., 2010; Aguiar et al., 2015; Molina-Botero et al., 2019). Notavelmente, esta grande maioria das pesquisas com novilhas leiteiras estão mais voltadas em avaliar dietas e alimentos do que propriamente avaliar o desenvolvimento destes animais. Por esse motivo e com a grande escassez de dados, o CMS é um dos poucos parâmetros possíveis de se realizar uma avaliação de modelos de predição por apresentar grande número de estudos que podem ser compilados considerando dados oriundos de região de clima quente.

Sobre estudos no Brasil e em condições de clima quente, alguns modelos já foram testados para vacas lactantes e bezerros em aleitamento, como em estudo conduzido por Souza (2015). No caso das vacas lactantes, uma parametrização das equações de CMS foi feita considerando a heterogeneidade de raças e animais presentes nas propriedades brasileiras (Souza, 2015). Tal parametrização resultou em valores mais acurados de predição de CMS em vacas lactantes comparado com os modelos até então existentes. Para a categoria de bezerros em aleitamento, Souza et al. (2016) realizou a avaliação de alguns modelos, e concluiu que, por exemplo, o modelo do NRC (2001) superestimava o ganho de peso dos bezerros, enquanto que o modelo do Agricultural Modeling and Training Systems (AMTS.Cattle.ProTM 2015, version 3.5.8) subestimava este parâmetro.

Considerando novilhas em crescimento, são poucos os estudos no Brasil e regiões de clima quente com desenvolvimento e avaliação de modelos preditivos para a categoria. Pode-se citar o estudo de Oliveira e Ferreira (2016) onde foram avaliadas equações existentes para CMS desenvolvidas por Hoffman et al. (2008), Quigley et al. (1986) e NRC (2001) e outras desenvolvidas pelos autores. Outros

estudos estudaram as exigências nutricionais de novilhas leiteiras (Albino et al., 2015; Jiao et al., 2015; Moreira, 2016; Castro et al., 2020).

O CMS é um dos principais indicadores de saúde e desempenho animal (Bareille et al., 2003) e são várias as equações de predição de CMS publicadas para novilhas leiteiras (Stallings et al., 1985; Quigley et al., 1986; NRC, 2001; Hoffman et al., 2008; Oliveira e Ferreira, 2016) o que pode resultar em dúvidas sobre qual a melhor para determinada situação. Com a grande quantidade de estudos conduzidos em regiões de clima quente (neste caso em clima tropical) é possível compilar os dados e formar uma base de dados metanalítica para avaliação dos modelos de CMS publicados.

Visto o exposto acima, existem importantes lacunas no conhecimento a serem preenchidas quando o assunto é novilhas leiteiras. Dentre elas, propomo-nos a estudar as curvas de crescimento corporal de novilhas leiteiras de diferentes grupamentos raciais (Holandês, HxG e Jersey), além de avaliar algumas equações preditivas de CMS publicadas na literatura para novilhas leiteiras criadas em condições de clima quente. Por fim, uma estimativa baseada no modelo do NRC (2001) de exigências nutricionais será feita para novilhas leiteiras de diferentes idades e raças. Portanto, nossa proposta com este trabalho é contribuir para suprir tais lacunas, sendo que a partir dos resultados novas pesquisas poderão ser norteadas sobre adequabilidade de modelos para novilhas leiteiras, em especial para CMS e crescimento corporal, em condições de clima quente. Ainda, fica aberta a possibilidade de parametrização de novas equações ou reparametrização das existentes como tem sido feito no caso de outras categorias.

1.1 Objetivos gerais

O objetivo deste estudo é avaliar o crescimento corporal e equações de CMS de novilhas leiteiras criadas em condições de clima quente, além de estimar as exigências nutricionais de novilhas leiteiras utilizando como base o modelo do NRC (2001).

1.2 Objetivos específicos

Avaliar o crescimento corporal baseado no peso vivo, altura de garupa, altura de cernelha e escore de condição corporal (ECC) de novilhas leiteiras das raças Holandesa, Jersey e HxG.

Calcular peso adulto e peso, altura e ECC próximo ao parto e à primeira cobertura.

Indicar o ganho de peso ideal para cada raça até a primeira cobertura e da primeira cobertura até o parto para atingir as proporções de peso adulto recomendadas pela literatura em cada fase.

Avaliar as equações de CMS para novilhas leiteiras *Bos taurus* e cruzadas *Bos taurus* × *Bos indicus* a partir de um banco de dados formado por estudos conduzidos em regiões de clima tropical.

Estimar as exigências nutricionais de manutenção, crescimento e gestação para novilhas das raças Holandesa, Jersey e HxG.

Referências

AFRC - Agricultural and Food Research Council. 1993. Energy and protein requirements of ruminants: an advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients. Wallingford: CAB International. 159p.

Aguiar MSMA, Silva FF, Donato SLR, Rodrigues ESO, Costa LT, Mateus RG, Souza DR, Silva VL. 2015. Forage cactus in diets of confined dairy cattle: performance and economic viability. *Semina: Ciênc. Agrár.* 36:1013–1030. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p1013>.

Albino RL, Marcondes MI, Akers RM, Detmann E, Carvalho BC, Silva TE. 2015. Mammary gland development of dairy heifers fed diets containing increasing levels of metabolisable protein: metabolisable energy. *J. Dairy Res.* 82:113–120. <https://doi.org/10.1017/s0022029914000697>.

Assis AG, Stock LA, Campos OF, Gomes AT, Zoccal R, Silva MR. 2005. *Sistemas de produção de leite no Brasil*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Juiz de Fora, Brazil.

Bareille N, Beaudeau F, Billon S, Robert A, Faverdin P. 2003. Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 83:53–62. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00040-X).

Berry DP, Horan B, Dillon P. 2005. Comparison of growth curves of three strains of female dairy cattle. *Anim. Sci.* 80:151–160. <https://doi.org/10.1079/asc41790151>.

Castro MMD, Albino RL, Rodrigues JPP, Sguizzato ALL, Santos MMF, Rotta PP, Caton JS, Moraes LEFD, Silva FF, Marcondes MI. 2020. Energy and protein requirements of Holstein × Gyr crossbred heifers. *Animal* 14:1857–1866. <https://doi.org/10.1017/s1751731120000622>.

CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 2007. Nutrient requirements of domesticated ruminants. Collingwood: CSIRO Publishing. 296p.

Duplessis M, Cue RI, Santschi DE, Lefebvre DM, Lacroix R. 2015. Weight, height, and relative-reliability indicators as a management tool for reducing age at first breeding and calving of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 98:2063–2073. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8279>.

Fox DG, Sniffen CJ, O'Connor JD, Russell JB, Van Soest PJ. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Anim. Sci.* 70:3578–3596. <https://doi.org/10.2527/1992.70113578x>.

Fox DG, Van Amburgh ME, Tylutki TP. 1999. Predicting requirements for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 82:1968–1977. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75433-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75433-0).

Garcia JAS, Vieira PF, Cecon PR, Setti MC, McManus C, Louvandini H. 2006. Performance of growing cattle feed sunflower meal. *Ci. Anim. Bras.* 7:223–233.

Jiao HP, Yan T, Wills DA, McDowell DA. 2015. Maintenance energy requirements of young Holstein cattle from calorimetric measurements at 6, 12, 18, and 22 months of age. *Livest. Sci.* 178:150–157. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.031>.

Handcock RC, Lopez-Villalobos N, McNaughton LR, Back PJ, Edwards GR, Hickson RE. 2019a. Live weight and growth of Holstein-Friesian, Jersey and crossbred dairy heifers in New Zealand. *New Zeal. J. Agr. Res.* 62:173–183. <https://doi.org/10.1080/00288233.2018.1465984>.

Handcock RC, Lopez-Villalobos N, McNaughton LR, Back PJ, Edwards GR, Hickson RE. 2019b. Positive relationships between body weight of dairy heifers and their first-lactation and accumulated three-parity lactation production. *J. Dairy Sci.* 102:4577–4589. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15229>.

Heinrichs AJ, Hargrove GJ. 1987. Standards of weight and height for Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 70:653–660. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80055-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80055-3).

Heinrichs AJ, Hargrove GJ. 1991. Standards of weight and height for Guernsey and Jersey heifers. *J. Dairy Sci.* 74:1684–1689. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78331-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78331-8).

Heinrichs AJ, Hargrove GJ. 1994. Standards of weight and height for Ayrshire, Brown Swiss, and Milking Shorthorn heifers. *J. Dairy Sci.* 77:1676–1681. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(94\)77109-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(94)77109-5).

Heinrichs AJ, Losinger WC. 1998. Growth of Holstein dairy heifers in the United States. *J. Anim. Sci.* 76:1254–1260. <https://doi.org/10.2527/1998.7651254x>.

Hoffman PC, Weigel KA, Wernberg RM. 2008. Evaluation of equations to predict dry matter intake of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 91:3699–3709. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0644>.

INRA - Institut National de la Recherche Agronomique. 2018. INRA feeding system for ruminants. Wageningen: Wageningen Academic Publishers. 643p.

Miranda JEC, Freitas AF. 2009. Raças e Tipos de Cruzamentos para Produção de Leite. 1st ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Juiz de Fora, Brazil.

Molina-Botero IC, Arroyave-Jaramillo J, Valencia-Salazar S, Barahona-Rosales R, Aguilar-Pérez CF, Burgos AA, Arango J, Ku-Vera JC. 2019. Effects of tannins and saponins contained in foliage of *Gliricidia sepium* and pods of *Enterolobium cyclocarpum* on fermentation, methane emissions and rumen microbial population in crossbred heifers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 251:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.011>.

Moreira TS. 2016. Energy requirements, energetic partition and methane emission from growing Holstein, Gyr and F1 Holstein-Gyr dairy heifers. Doctor's thesis, University of São Paulo, Pirassununga, SP, Brazil.

NASEM, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press.

NRC - National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. Washington: National Academy Press. 381p.

Oliveira AS, Ferreira VB. 2016. Prediction of intake in growing dairy heifers under tropical conditions. *J. Dairy Sci.* 99:1103–1110. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9638>.

Quigley JD, James RE, McGilliard ML 1986. Dry matter intake in dairy heifers. 2. Equations to predict intake of heifers under intensive management. *J. Dairy Sci.* 69:2863–2867. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80740-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80740-8).

Rangel AHN, Campos JMS, Oliveira AS, Valadares Filho SC, Assis AJ, Souza SM. 2010. Performance and nutritional parameters of growing heifers fed corn silage or sugar cane with concentrate. *Rev. Bras. Zootec.* 39:2518–2526. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001100027>.

Silva AL, DeVries TJ, Fernandes EC, Marcondes MI. 2020. Short communication: Development and evaluation of equations to predict growth of Holstein dairy heifers in a tropical climate. *J. Dairy Sci.* 104:525–531. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18624>.

Souza VL. 2015. Parametrização e avaliação de modelos de estimativa das exigências e do desempenho de bovinos leiteiros para uso no Brasil. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil.

Souza VL, Drackley JK, Almeida R, Bittar CMM, Albertini TZ, Morrison SY, Lanna DPD. 2016. Evaluation of nutrition models to estimate performance of young dairy calves: a meta-analytical study under tropical conditions. *Animal* 10:1965–1974. <https://doi.org/10.1017/S1751731116000975>.

Stallings CC, Kroll G, Kelley JC, McGilliard ML. 1985. A computer ration evaluation program for heifers, dry cows, and lactating cows. *J. Dairy Sci.* 68:1015–1019. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80923-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80923-1).

Tylutki TP, Fox DG, Durbal VM, Tedeschi LO, Russell JB, Van Amburgh ME, Overton TR, Chase LE, Pell AN. 2008. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: A model for precision feeding of dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 143:174–202. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.010>.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistemas de criação de novilhas leiteiras de reposição

Diferentes sistemas de criação de novilhas podem ser empregados compreendendo desde sistemas extensivos baseados em pastagem até sistemas de confinamento. O sistema empregado varia ao longo da vida destes animais, compreendendo períodos em que estes ficam sob pastejo, pastejo com fornecimento de suplemento e confinamento. Na maior parte do tempo novilhas leiteiras de reposição são criadas em sistema de pastejo com algum tipo de suplementação, ou seja, alimentadas com alimentos fibrosos com menor disponibilidade de nutrientes e que muitas vezes limitam fisicamente o consumo de alimento (Zanton and Heinrichs, 2009). No passado, novilhas leiteiras recebiam muito menos atenção comparada às vacas lactantes e normalmente eram criadas em áreas de pastagens de pior qualidade nas fazendas e que eram consideradas inadequadas para as vacas lactantes (Roy, 1978; Mourits et al., 2000). Atualmente, essa forma de criação segue predominante, contudo, com o acréscimo de algum tipo de suplementação em períodos de baixa oferta de alimento, seja em quantidade como em qualidade em sistemas semi-confinados ou confinados (Arriaga-Jordán et al., 2003; Le Cozler et al., 2010; Handcock et al., 2019ab).

Sistemas de criação de novilhas leiteiras confinadas são menos comuns no Brasil, mas são utilizados em certas épocas do ano em alguns países, como na França (Le Cozler et al., 2010) e Nova Zelândia (Handcock et al., 2019ab). Muitos produtores possivelmente associam sistemas confinados a sistemas mais custosos, mas este tipo de sistema pode ser interessante permitindo taxas de ganho de peso maiores e alcance mais cedo das idades de primeira cobertura e parto. De forma geral, o uso de diferentes sistemas permite manipular as taxas de crescimento (Arriaga-Jordán et al., 2003).

Comparar os sistemas de criação de novilhas é difícil principalmente devido às taxas de ganho variáveis (muitas vezes reflexo do sistema utilizado), alimentos utilizados, períodos do ano, entre outros fatores (Arriaga-Jordán et al., 2003; Boulton et al., 2017). Em outros países, como exemplo a Suécia, o uso de pastagens na criação de novilhas também é mais comum, entretanto, havendo a necessidade de se confinarem os animais nos períodos mais frios do ano (Pettersson et al., 2001). Além disso, a qualidade da pastagem é variável ao longo do estágio de crescimento

vegetativo das plantas o que torna mais desafiadora a criação de novilhas em pastagens (Roche et al., 2015).

No Brasil, sistemas integrados de criação também têm surgido como possibilidade, por exemplo, sistemas de integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta, ambos com resultados positivos (Silva et al., 2011; Oliveira Júnior et al., 2016). Estes sistemas possibilitam a produção de grãos, pastagem e, eventualmente, madeira em certos períodos, o que possibilita benefícios aos animais (como sombra) e ao solo e plantas (como nutrientes) (Paciullo et al., 2011). Portanto, não existe um melhor sistema de criação de novilhas e isso varia em função das épocas do ano, disponibilidade de área para pastagens, oferta em quantidade e qualidade de alimentos, preço da terra, região, entre outros fatores presentes nas fazendas leiteiras.

2.1.1 Sazonalidade na criação de novilhas

O efeito sazonal afeta a criação de novilhas principalmente por meio da oferta de alimentos em qualidade e quantidade. No Brasil, existe um período de sazonalidade forrageira devida à falta de chuvas nas regiões Sudeste, Centro-oeste e Nordeste, bem como a redução do fotoperíodo e da temperatura média durante o inverno afetando a produção de forragem (Pezzopane et al., 2016; Braga et al., 2020). Nessas regiões, o uso de irrigação pode ser uma alternativa para resolver parcialmente o problema de produção forrageira no inverno (Silva et al., 2015). Entretanto a resposta a irrigação pode ser maior no período chuvoso, em função da temperatura e fotoperíodo maiores nesta época. Na região Sul o período de sazonalidade forrageira compreende principalmente o outono, devido ao processo de implantação das áreas de pastagem cultivada e, em alguns casos, no fim do inverno devido à retomada de produção das áreas perenes (Orth et al., 2012; Ferrazza et al., 2013; Tambara et al., 2017). Nessas épocas é comum o uso de suplementação e, em alguns casos específicos, o confinamento de novilhas leiteiras. Contudo, ainda são bastante escassos os estudos nacionais que descrevem os sistemas de criação comumente utilizados no país para novilhas leiteiras.

Em outros países, o sistema de criação de novilhas também varia em função da sazonalidade na produção de alimentos devido a climas frios mais rigorosos. Em especial, países como Reino Unido (Bazeley et al., 2016), Suécia (Pettersson et al., 2001), França (Le Cozler et al., 2010) e Nova Zelândia (Handcock et al., 2019ab)

utilizam pastagem nos meses quentes do ano (principalmente na primavera), enquanto no inverno os animais passam a serem criados em sistemas confinados.

Entretanto, as estratégias de criação podem ser diferentes. O sistema de criação sazonal francês, por exemplo, objetiva baixo ganho de peso das novilhas quando confinadas e altos ganhos quando estas estão em pastejo, sendo que este processo resulta em novilhas parindo com 24 ou 36 meses dependendo da época do nascimento (Le Cozler et al., 2010). O sistema sazonal de criação neozelandês objetiva que os partos aconteçam na primavera, onde haverá maior quantidade e qualidade de forragens tanto para as vacas como para os animais jovens (Handcock et al., 2019b).

A avaliação do crescimento obtido em fazendas comerciais pode ser uma forma eficiente de avaliarmos a efetividade dos sistemas de produção e dos gestão destes sistemas nas condições do Brasil.

2.2 Nutrição de novilhas leiteiras de reposição

2.2.1 Consumo de alimentos

O consumo de alimentos é mensurado com base na matéria seca (MS) da dieta fornecida aos animais. Esta é uma variável possível de ser mensurada especialmente em animais confinados. O interesse no estudo do consumo de matéria seca (CMS) de novilhas leiteiras originou-se na primeira metade do século XX, mas ganhou mais relevância a partir da segunda metade, onde podem-se citar trabalhos como os de Thomas et al. (1961) e Jackson e Forbes (1970) em que o CMS era estudado a partir do fornecimento de dietas com diferentes concentrações de MS. Anos mais tarde, equações de estimação de CMS foram desenvolvidas para novilhas (Stallings et al., 1985, Quigley et al., 1986a), além da compreensão de fatores que afetam o CMS de novilhas leiteiras (Quigley et al., 1986b).

Diversos fatores afetam o CMS de novilhas leiteiras como o peso vivo corporal (PV), composição corporal, exigências nutricionais, concentração energética da dieta, condições climáticas, tempo de gestação, entre outros (Quigley et al., 1986b, Hoffman et al., 2008; Oliveira e Ferreira, 2016). Ao longo do crescimento, o CMS aumenta de forma exponencial até um ponto (terço final de gestação) em que este começa a reduzir devido a questões relacionadas à fisiologia dos animais e menor espaço na cavidade torácica devido ao desenvolvimento do concepto, sendo que o CMS reduz pronunciadamente nas últimas 3 semanas de gestação (Hayirli et

al., 2003; Hoffman et al., 2008). Atualmente, novas equações de predição de CMS foram desenvolvidas para novilhas leiteiras (Hoffman et al., 2008; Oliveira e Ferreira; 2016), além de uma equação para predição do CMS próximo ao parto (Hayirli et al., 2003).

O CMS está relacionado diretamente com o peso vivo corporal, sendo que este aumenta à medida que o animal cresce (Hoffman et al., 2008; Oliveira e Ferreira; 2016). Por outro lado, a composição corporal também afeta o CMS, sendo que animais com valores de escore de condição corporal maiores (ou seja, mais gordos), apresentam decréscimo no consumo (Hayirli et al., 2002; 2003). Variáveis climáticas podem afetar reduzindo o CMS de novilhas em condições de alta temperatura, por exemplo, porém são poucos os estudos com dados suficientes relacionados ao clima (Quigley et al., 1986b; Hoffman et al., 2008; Oliveira e Ferreira; 2016). Outros fatores que afetam o CMS serão discutidos com mais detalhes na sequência.

Uma importante discussão é se o CMS afeta o ganho de peso (GPD) ou se é o GPD que define o consumo. Geralmente, se as dietas e o manejo não apresentam restrições, o CMS é um reflexo da taxa potencial (da genética) para crescimento da novilha. Elevados CMS são reflexo, portanto, de exigências nutricionais elevadas.

2.2.2 Relação volumoso:concentrado

A relação entre volumoso e concentrado das dietas está diretamente relacionada ao consumo voluntário de alimento, sendo que dietas com altas concentrações de volumoso limitam fisicamente o CMS (Van Soest, 1994). Estudos sugerem que novilhas leiteiras consomem aproximadamente 1% do peso vivo de fibra em detergente neutro (FDN) por dia (Hoffman et al., 2008) e que uma relação próxima de 65% de forragem na dieta seria ideal por otimizar as taxas de ganho, reduzir CMS (e custos relacionados) e permitir um adequado balanço de nitrogênio amoniacal e carboidratos rapidamente fermentáveis (Sarwar et al., 1991; Kljak et al., 2017). Dietas com volumosos têm sido recomendadas no crescimento de novilhas por diluírem a concentração energética da dieta permitindo atingir as taxas de ganho de peso recomendadas para não afetar a produção de leite na primeira lactação (Zanton and Heinrichs, 2005; 2009; Erickson et al., 2020).

Por outro lado, dietas com proporção maior de alimentos concentrados resultam em maior eficiência no uso de nutrientes, digestibilidade da MS e menor

produção de fezes quando fornecidas em sistemas de restrição alimentar (Moody et al., 2007). Ainda, dietas com proporção maior de alimentos concentrados, quando fornecidas com restrição objetivando atingir um mesmo ganho de peso de uma dieta tradicional (alta proporção de volumoso), acabam não causando efeitos negativos no desenvolvimento da glândula mamária, produções de leite futura e não impactam negativamente no pH e concentração de amônia ruminal (Zanton and Heinrichs, 2007; 2009; Lascano e Heinrichs, 2009; Erickson et al., 2020). Segundo Tomlinson et al. (1991) o CMS em novilhas leiteiras mais leves (até 200kg de peso vivo) é afetado normalmente pela FDN da dieta, enquanto em novilhas mais pesadas (>200 kg) o CMS é afetado principalmente pela concentração energética da dieta.

Limitar o consumo de nutrientes e energia para atingir um determinado ganho de peso pode ser interessante em momentos de preços mais baixos de alimentos concentrados. Como o consumo é restringido, o fluxo de digesta pelo trato gastrointestinal é mais lento, permitindo um melhor aproveitamento tanto no rúmen quanto no intestino (Colucci et al., 1989), garantindo ganhos de peso dentro do recomendado, próximo à 800 g/dia caso de novilhas Holandesas (Zanton and Heinrichs, 2005).

2.2.3 Concentração energética da dieta

Além da relação volumoso:concentrado, a concentração de energia da dieta pode afetar o CMS, porém de uma maneira diferente. Enquanto dietas com elevados níveis de volumoso limitam fisicamente o CMS, a concentração energética limita-o quimicamente (Ketelaars e Tolkamp, 1992a). Van Soest (1965) supunha que os nutrientes mediavam o consumo de alimentos quando a fração fibrosa não era um fator limitante do CMS. No mesmo ano, Montgomery e Baumgardt (1965ab) observaram que um aumento na concentração energética da dieta reduzia o CMS mantendo uma determinada ingestão de energia digestível, indicando uma resposta do atendimento da exigência nutricional energética do animal que, por sua vez, demonstrava saciedade.

A partir de então algumas teorias surgiram buscando entender como o CMS era regulado nos ruminantes. Pensava-se que a glicose ou os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) formados no rúmen e presentes na circulação sanguínea poderiam ser sinalizadores para organismo de saciedade energética. Simkins Jr. et al. (1965) realizaram um estudo aplicando infusões de acetato, propionato, butirato

ou um mix destes AGCC no rúmen de novilhas leiteiras com posterior avaliação do CMS, por fim, verificaram que principalmente o propionato e o butirato causavam redução no CMS. Anos mais tarde, Frobish e Davis (1977) relataram o mesmo resultado infundindo propionato em vacas lactantes, mas não acharam tal efeito para infusão de glicose. Além destes, outros trabalhos semelhantes em metodologia e resultados foram realizados (Peterson et al., 1972; Clark et al., 1977).

Posteriormente, a teoria da oxidação hepática na regulação do CMS em ruminantes ganhou força (Ketelaars e Tolkamp, 1992b, Allen et al., 2009). Havia sido evidenciado que a infusão de glicose não afetava o CMS, o contrário acontecia com os AGCCs, especialmente o propionato, principal precursor de glicose e fonte de energia em ruminantes. O propionato é metabolizado principalmente no fígado, formando glicose ou sendo oxidado no ciclo do ácido cítrico a partir do acetil-CoA e entrando no ciclo na forma de succinil-Coa (Allen, 2000). Assim, o fígado é o órgão sensor que percebe a sinalização energética e nutricional e medeia as necessidades de energia do organismo e de seus diferentes tecidos (Allen, 2020). Portanto, o propionato é o grande sinalizador de saciedade energética em ruminantes, sendo o fígado o órgão responsável por perceber e sinalizar ao sistema nervoso central tal saciedade ao ponto de limitar o CMS do animal em dietas em que a limitação física não ocorre.

2.3 Exigências nutricionais de novilhas leiteiras

Diversos modelos existentes atualmente descrevem e permitem a estimativa das exigências nutricionais de bovinos leiteiros e das diferentes categorias de criação existentes (AFRC, 1993; NRC, 2001; CSIRO, 2007; INRA, 2018). Porém, enquanto os modelos do AFRC (1993), CSIRO (2007) e INRA (2018) descrevem modelos de estimativa de exigências nutricionais de animais em crescimento agrupados (ou seja, bovinos de leite e corte ou até mesmo juntamente com ovinos), o NRC (2001) possui um capítulo exclusivo e detalhado com modelos para novilhas leiteiras em crescimento. Considerando que o NRC (2001) é o material que melhor descreve os modelos para esta categoria animal, esta será a principal referência empregada nas colocações que virão a seguir, embora menções a outros modelos e trabalhos também sejam utilizados oportunamente. Uma ressalva vale aos modelos de bovinos leiteiros em crescimento sendo que a grande maioria de avaliações e trabalhos realizados tem sido feita com a raça Holandesa com poucos estudos com

a raça Jersey, raças zebuínas e cruzamentos raciais. Recentemente, certo número de estudos tem surgido principalmente com animais cruzados Holandês x Zebu (principalmente da raça Gir leiteiro) (Moreira, 2016; Weller et al., 2016; Carvalho et al., 2018; Castro et al., 2020).

As exigências aumentam com o aumento das metas de crescimento. Exigências mais elevadas são típicas de sistemas intensivos com os mesmos animais consumindo mais energia e proteína para atingir pesos maiores em menor tempo. Esta plasticidade permite ao gerente de um sistema de produção manipular a taxa de ganho. Algumas ferramentas de análise não linear do crescimento (Lanna et al, 1999; RLM 3.3.27 – Daley et al., 2014) permitem este tipo de otimização da taxa de crescimento.

2.3.1 Exigências para Manutença

2.3.1.1 Exigência de Energia para Manutença

A exigência de energia líquida para manutenção (EL_m) tem sido determinada por meio de técnicas como o abate comparativo ou calorimetria com grupos de animais sendo alimentados *ad libitum*, com certo grau de restrição alimentar e ao nível de manutenção. O abate comparativo visa determinar a energia retida (ER) (exigência de energia líquida de ganho [EL_g]) e por diferença calcular a EL_m a partir da energia metabolizável (EM), enquanto a técnica de calorimetria determina a EL_m a partir da produção de calor, sendo que a EL_g é determinada por diferença da EM neste caso (Corbett e Freer, 2003), ou ainda pelo balanço de carbono e nitrogênio que permitem mensurar o crescimento e a composição deste. Estas técnicas permitem determinar a porção da EM que é utilizada para as funções vitais sem aumento ou decréscimo no peso vivo corporal dos animais, o que caracteriza a EL_m .

A determinação da EL_m em novilhas leiteiras segue as metodologias empregadas em gado de corte, pois nesta área já se havia dado grande enfoque ao cálculo de exigências nutricionais para animais em crescimento em comparação com bovinos leiteiros, ou ainda por meio da técnica de calorimetria e balanço de carbono. Especialmente, os modelos do NRC Beef Cattle (NRC, 1984; 1996; 2000; 2016) indicam que a EL_m pode ser estimada a partir do peso vivo metabólico em jejum ($PV_J^{0,75}$), o que também foi adotado para bovinos leiteiros em crescimento (NRC, 2001). Porém, enquanto a EL_m para bovinos de corte era calculada como 77 kcal/kg de $PV_J^{0,75}$, para bovinos leiteiros este cálculo é baseado em 86 kcal/kg de $PV_J^{0,75}$.

(NRC, 2001), valor atualizado recentemente para 96 kcal/kg de $PV_J^{0.75}$ (NASEM, 2021). Outros modelos, como o AFRC (1993), CRISO (2007) e INRA (2018), assumem que a eficiência do uso de EL_m é variável dependendo da metabolizabilidade da dieta (relação EM/EB [EB = energia bruta]), o que difere em relação ao modelo do NRC (2001).

Em bovinos leiteiros, assim como em bovinos de corte, a EL_m varia em função da raça, sexo, idade, condições ambientais, condição corporal, entre outros fatores. Além disso, estudos recentes têm indicado que a manutenção de animais em crescimento da raça Holandesa aumentou em relação aos 86 kcal/kg de $PV_J^{0.75}$ proposto pelo NRC (2001), sendo que Jiao et al. (2015) encontraram valor de 122 kcal/kg de $PV_J^{0.75}$ (novilhas de 6 a 22 meses), NASEM (2021) indica valores de 96 kcal/kg de $PV_J^{0.75}$, enquanto Moreira (2016) encontrou valor de 104 kcal/kg de $PV_J^{0.75}$ (novilhas de 17 meses), sendo este fato ocorrido acompanhado ao melhoramento genético que aconteceu nos últimos anos em vacas lactantes que também apresentaram aumento na EL_m (Moraes et al., 2015). Este aumento calculado por Moraes et al. (2015) foi introduzido em sistemas comerciais de formulação como o RLM 3.3.27. Alguns estudos recentes indicaram valores diferentes na exigência de EL_m para novilhas cruzadas Holandês × Gir sendo de 104 kcal/kg de $PV_J^{0.75}$ (17 meses e $1/2$ Holandês × $1/2$ Gir) (Moreira, 2016) e 67 kcal/kg de $PV_J^{0.75}$ (3 a 7 meses e $1/2$ Holandês × $1/2$ Gir) (Castro et al., 2020) em comparação ao apresentado pelo NRC (2001), sendo estes valores calculados a partir da relação entre peso vivo corporal (PV), PV_J e peso de corpo vazio (PC_v). O NRC (2016) afirma que as exigências de manutenção de *Bos taurus* e *Bos indicus* são idênticas, algo que não nos parece claro na literatura, e na verdade há evidências que indicam o contrário.

Dados de manutenção de novilhas leiteiras zebuínas são bastante escassos, porém Moreira (2016) encontrou valores de 83 kcal/kg de $PV_J^{0.75}$ para novilhas da raça Gir leiteiro. Bezerros e novilhas leiteiras sofrem menos com fatores climáticos comparados com vacas em lactação devido principalmente ao metabolismo altamente ativo dessa categoria, contudo, ainda sofrem com o estresse pelo calor (Tao et al., 2020; Wang et al., 2020). O modelo do NRC (2001) descreve um conjunto de equações para ajuste da EL_m de novilhas leiteiras em função das condições climáticas a partir de estudo realizado por Fox and Tylutki (1998), porém não foram feitas avaliações nestas equações até o presente momento. Além disso,

outros ajustes também são mencionados como para atividade física (locomoção para pastejo) e condição corporal que, por sua vez, tem relação com o tamanho das vísceras que são os principais órgãos consumidores de energia corporal (Terry et al., 1990; Casas et al., 1997). Visto que são poucos os estudos atuais com novilhas leiteiras em crescimento, especialmente com raças diferentes da Holandesa e cruzamentos raciais, e que estes existentes indicam que a EL_m aumentou para a raça Holandesa, novas pesquisas são necessárias para entender as necessidades nutricionais dessa categoria animal.

2.3.1.2 Exigência de Proteína para Manutenção

A exigência de proteína metabolizável para manutenção (PM_m) é assumida como a necessidade diária de proteína para suprir as funções não produtivas (Lapierre et al., 2018). A PM_m é estimada usando o intercepto da regressão linear entre consumo de proteína metabolizável e o ganho de corpo vazio (Wilkerson et al., 1993), posteriormente dividindo o intercepto pelo $PC_V^{0,75}$ (NRC, 2000). De maneira geral, os sistemas de predição de exigências nutricionais consideram no cálculo da exigência de proteína líquida de manutenção (PL_m) a proteína perdida na descamação da pele e pelos, proteína fecal, proteína urinária e proteína metabolizável endógena (Tedeschi et al., 2015). Entretanto, é necessário dividir tal somatório pela digestibilidade verdadeira e eficiência de uso para obter a PM_m .

Sistemas como o AFRC (1993) e o BR-Corte (Valadares Filho et al., 2010, para bovinos de corte), permitem um cálculo mais simples na estimativa da exigência de PM_m sendo 2,3 g/kg de $PV^{0,75}$ e 4,0 g/kg de $PV^{0,75}$, respectivamente, enquanto outros sistemas apresentam a exigência de PM_m como um somatório dos resultados de cálculos da proteína fecal, endógena, urinária e de descamação epitelial (NRC, 2001; CSIRO, 2007; INRA, 2018).

A proteína de descamação epitelial tem sido assumida como 0,2 g/kg de $PV^{0,75}$ na grande maioria dos modelos (Dutch protein evaluation system [DVE – Tamminga et al., 1994]; NRC, 2001; NorFor, 2011; CNCPS [Cornell Net Carbohydrate and Protein System – Van Amburgh et al., 2015]; INRA, 2018). Da mesma forma, a proteína urinária tem sido estimada como 2,75 g/kg de $PV^{0,75}$ na maioria dos modelos (DVE – Tamminga et al., 1994; NRC, 2001; NorFor, 2011; CNCPS – Van Amburgh et al., 2015) com diferenças para os modelos do CSIRO (2007) e INRA (2018) que usam como base de cálculo o peso vivo.

Por outro lado, a proteína fecal é estimada diferentemente entre os modelos possivelmente devido a variações de raça, dieta, volumosos, entre outros, nos países em que estes modelos foram desenvolvidos. Entretanto, alguns modelos utilizam o CMS como variável para cálculo da proteína fecal (NRC, 2001; CSIRO, 2007; INRA, 2018) ou à indigestibilidade da MS (DVE – Tamminga et al., 1994; CNCPS – Van Amburgh et al., 2015).

Novamente, a maioria destes modelos foi desenvolvida com dados de gado *Bos taurus* e são escassos os modelos para *Bos indicus* de aptidão leiteira ou animais cruzados *Bos taurus* × *Bos indicus*, com poucos ajustes nos modelos mencionados acima ou equações específicas para estes genótipos. Contudo, algumas pesquisas recentes têm surgido com novos modelos especialmente com cruzamento HxG onde Oss et al. (2017) sugerem a equação 3,05 g/kg de $PC_V^{0,75}$ como exigência de PM_m para tourinhos $7/8$ Holandês × $1/8$ Gir, enquanto Castro et al. (2020) sugerem a equação 3,52 g/kg de $PC_V^{0,75}$ para novilhas $1/2$ Holandês × $1/2$ Gir.

2.3.2 Exigências para Crescimento

2.3.2.1 Exigência de Energia para Crescimento

A exigência de energia líquida para o crescimento ou ganho (EL_g) tem sido determinada baseado na energia retida no ganho de peso dos animais em um determinado peso vivo, levando em consideração basicamente a deposição de proteína e lipídeos na forma de tecidos (Garret et al., 1959). Normalmente, a ER é determinada por meio da técnica de abate comparativo que permite determinar a energia no ganho de peso em um determinado momento baseado na composição corporal e do ganho (Lofgreen e Otagaki, 1960). O abate comparativo é um dos métodos mais empregados, porém existem outros métodos *in vivo* para determinação da composição corporal e do ganho de peso, os quais são mais interessantes para novilhas em crescimento quando não se deseja abatê-las. Em animais vivos é possível utilizar a técnica de diluição de isótopos (por exemplo, deutério e trítio) que por meio da sua diluição no sangue após a administração permitem estimar o conteúdo corporal de água ou outros compostos (Chigaru e Holness, 1983; Odwongo et al., 1984). Pela relação constante de água (~73%), proteína (~22%) e minerais (~5%) no corpo como constituintes da matéria desengordurada é possível calcular a proporção de proteína e minerais corporais e, posteriormente, por diferença o teor de lipídeos (NRC, 1968). Outra técnica possível

seria por meio da determinação do isótopo radioativo de potássio, o potássio-40 ou ^{40}K . O ^{40}K é um isótopo natural e que possui alta relação com o teor de potássio corporal, possibilitando estimar este nutriente e, a partir da estimativa do K corporal é possível estimar por meio de regressões os teores de lipídeo e proteína corporais, determinando posteriormente a ER no ganho (Belyea et al., 1978).

Os modelos de predição de EL_g geralmente baseiam-se em um animal referência, como são os casos do NRC (2001), AFRC (1993) e CSIRO (2007). Por exemplo, os modelos do NRC (2001) e CSIRO (2007) baseiam-se em estudos com bovinos de corte e utilizam uma escala de tamanho para ajustar as predições das equações para animais de diferentes raças, tamanhos corporais e sexo. Assim, é considerado que animais de diferentes raças ou tamanho corporal, mas com a mesma proporção do peso adulto, possuem mesma composição corporal (INRA, 1989; CSIRO, 2007). O modelo do NRC (2001) possibilita fazer a conversão do peso do animal para o peso equivalente ao animal referência, sendo possível utilizar as mesmas equações para cálculo da EL_g originalmente desenvolvidas. É utilizada a seguinte equação para cálculo de peso equivalente ao animal referência $EqPV_j (kg) = PV_j \times (478/PAV_j)$, onde $EqPV_j$ = peso vivo em jejum equivalente ao animal referência, PAV_j = peso adulto vivo em jejum (NRC, 2001).

O modelo do NRC (2001) calcula a EL_g como ER utilizando a equação $ER (Mcal) = 0,0635 \times (EqPC_v^{0,75}) \times (EqGPC_v^{1,097})$, onde $EqPC_v$ = peso de corpo vazio equivalente ao animal referência, $EqGPC_v$ = ganho de peso de corpo vazio equivalente ao animal referência. O modelo do AFRC (1993) calcula a exigência de EL_g a partir da energia contida no ganho de peso diário (EGPD); $EGPD (MJ/kg) = (C2 \times (4,1 + 0,0332 \times PV - 0,000009 \times PV^2))/((1 - C3 \times 0,1475 \times GPD))$, onde $C2$ = correção para categoria (macho inteiro, castrado, fêmea) e peso adulto, PV = peso vivo, $C3$ = correção para nível de consumo e GPD = ganho de peso diário; sendo que posteriormente é calculada a ER como $ER (MJ/dia) = EGPD \times GPD$. O CSIRO (2007) é um modelo que usou como base o AFRC (1993) e por isso muitos conceitos e cálculos são semelhantes, como é o caso para a EL_g .

A exigência de EL_g para animais em crescimento no modelo NorFor (2011) segue a equação do INRA (1989) com ajuste de aumento de 10% na exigência de energia. A equação é a seguinte $El_g(MJ/kg) = ((5,48 \times GProt + 9,39 \times GGord) \times (\frac{4,148}{1000}) \times (\frac{kg}{kg_{corr}})) \times 1.10$, onde $GProt$ = ganho de peso em proteína, $GGord$ = ganho de

peso em gordura, $\left(\frac{4,148}{1000}\right)$ = conversão de Kcal para MJ, $k_{m,g}$ = coeficiente combinado da utilização da EM para EL_m e EL_g , e k_{corr} = coeficiente da utilização da EM para EL_g corrigido para a proporção de energia que se origina da retenção de proteínas na retenção de energia diária total.

Novamente, as equações e modelos acima mencionados foram desenvolvidos com bovinos europeus de origem continental (*Bos taurus*) sendo que para bovinos leiteiros em crescimento de raças *Bos indicus* ou mestiços são escassos. Castro et al. (2020) estudaram as exigências energéticas e proteicas de novilhas leiteiras mestiças em crescimento ($1/2$ Holandês \times $1/2$ Gir) e propuseram a seguinte equação para cálculo de EL_g , $EL_g (MJ/dia) = 0,2994 \times PC_V^{0,75} \times GP_{CV}^{0,6006}$, enquanto que Silva et al. (2018) também com animais cruzados HxG sugerem a seguinte equação $EL_g (Mcal/dia) = 0,0685 \times PC_V^{0,75} \times GP_{CV}^{1,095}$, onde PC_V = peso de corpo vazio, GP_{CV} = ganho de peso de corpo vazio.

2.3.2.2 Exigência de Proteína para Crescimento

Assim como no caso da EL_g a exigência de proteína líquida para crescimento/ganho (PL_g) pode ser determinada pelas técnicas mencionadas na seção acima (abate comparativo, diluição de isótopos e ^{40}K). A estimativa da exigência de PL_g pelos diferentes modelos baseia-se principalmente no GPD. O modelo do NRC (2001) é adaptado dos modelos de gado de corte do próprio comitê (NRC, 1996; NRC, 2000) e estima a exigência de PL_g a partir da equação $PL_g (g/dia) = GP_{CV} \times (268 - 29,4 \times ER/GP_{CV})$, onde GP_{CV} = ganho de peso de corpo vazio e ER = energia retida. O modelo do CNCPS (Van Amburgh et al., 2015) também utiliza esta mesma equação.

O modelo do AFRC (1993) também considera o peso vivo do animal, além do GPD, para determinar a exigência de PL_g a partir da seguinte equação $PL_g (g/dia) = GPD \times (168,07 - 0,16869 \times PV + 0,0001633 \times PV^2) \times (1,12 - 0,1223 \times GDP)$, onde GPD = ganho de peso diário e PV = peso vivo. O modelo do CSIRO (2007) assim como o NRC (2001) considera a relação entre o peso do animal com o animal referência utilizado no desenvolvimento das equações com ajustes para raças e aptidões diferentes (leite ou corte). Além disso, esse modelo também considera o escore de condição corporal (ECC), sendo a seguinte equação preditiva $PL_g (g/$

$dia) = GP_{CV} \times (d - f \times ECC)$, onde GP_{CV} = peso de corpo vazio, d = ajuste racial sendo 144 para Charolês, Simental, Chianina, Maine-Anjou, Limousin e Blonde d'Aquitaine, 124 para outras raças de gado de corte e 119 para gado leiteiro, f = ajuste para aptidão sendo 17,3 para gado de corte e 10,4 para gado de leite e ECC = escore de condição corporal (0 a 5 para gado de corte e 1 a 8 para gado de leite). Outros modelos variam nas suas estimativas considerando ganho de peso, peso corporal e energia retida nos seus cálculos (INRA, 1989; DVE – Tamminga et al., 1994; NorFor, 2011).

Modelos de predição da exigência de PL_g para animais mestiços *Bos taurus* × *Bos indicus* são escassos especialmente para gado leiteiro. Castro et al. (2020) determinaram a PL_g para novilhas mestiças $\frac{1}{2}$ Holandês × $\frac{1}{2}$ Gir e sugerem a seguinte equação para cálculo das exigências $PL_g(g/dia) = 243,65 \times PC_V^{-0,0912} \times GP_{CV}$, enquanto Silva et al. (2018) também com novilhas mestiças H×G sugerem a seguinte equação $PL_g(g/dia) = 203,8 \times GP_{CV} - 14,8 \times ER$, onde PC_V = peso de corpo vazio e GP_{CV} = ganho de peso de corpo vazio e ER = energia retida. Outra opção seria utilizar o modelo do BR-Corte (Valadares Filho et al., 2010) para estimativa da PL_g , o qual considera a ER e o GP_{CV} nos seus cálculos para diferentes raças e genótipos, sendo que a equação mais próxima seria a desenvolvida para novilhos e novilhas cruzadas $PL_g(g/dia) = 188,71 \times GP_{CV} - 7,67 \times ER$. Mais modelos devem ser desenvolvidos e avaliados para estimativa da exigência de PL_g para novilhas leiteiras mestiças.

2.4 Crescimento corporal

A criação de bezerras e novilhas é de suma importância na bovinocultura de leite, pois elas serão as futuras vacas do rebanho. Contudo, esta categoria não tem recebido a mesma importância que as vacas lactantes, pois estes animais não estão produzindo leite e gerando receita direta para a fazenda. Desta forma, há o interesse de que as novilhas comecem a produzir leite o mais cedo possível. Para tal, é importante que a criação seja eficiente considerando as características fisiológicas dessa categoria animal e que a idade ao primeiro parto ocorra próxima aos 24 meses de idade (Van Amburgh e Tikofsky, 2001; Pietersma et al., 2006). Parâmetros de crescimento e fatores diversos que ocorrem nas fases iniciais de criação

(especialmente no aleitamento) podem ter um efeito importante ao longo de todo o processo de crescimento de novilhas leiteiras (Hurst et al., 2020).

2.4.1 Taxas de crescimento

Vários trabalhos foram conduzidos estudando diferentes taxas de GPD para novilhas leiteiras de reposição. Lacasse et al. (1993) mostrou que bezerras com maior taxa de ganho (consumo *ad libitum*) comparado com um grupo de ganho moderado (70 a 80% do consumo *ad libitum*) entraram mais cedo na puberdade. Sadek et al. (2014) encontraram que animais com maiores taxas de ganho (950 e 875 g/dia) apresentaram melhores resultados reprodutivos como a redução da idade ao primeiro parto e menos dias vazias entre o primeiro e o segundo parto. Animais com menor GPD podem levar mais tempo para serem inseminados, resultando em menos animais prenhes e maiores taxas de perda de prenhes comparados a animais com ganho maior (Short e Bellows, 1971).

Segundo Abeni et al. (2000), o crescimento acelerado nesta fase de criação reduz a idade do 1º acasalamento e ao 1º parto. Contudo, taxas maiores de GPD resultam em animais mais exigentes e com diferentes composições do ganho (Van Amburgh et al., 1998a). Animais com menor taxa de GPD apresentam maior exigência de proteína metabolizável por kg de ganho (Van Amburgh, 2004) e animais com maior taxa de GPD apresentam maior conteúdo energético no ganho por kg (estão depositando mais energia por kg de ganho de peso comparado animais com ganho menor) (Van Amburgh et al., 1998b; Fox et al., 1999).

As taxas de GPD afetam diretamente o escore de condição corporal (ECC), uma vez que animais com maior GPD e com maior composição energética do ganho apresentam maiores ECCs e maior grau de tecido adiposo (Kertz et al., 1987; Fox et al., 1999; Abeni et al., 2000). Lacasse et al. (1993) mostraram que o ECC foi maior para novilhas com consumo *ad libitum* em comparação com novilhas que sofreram restrição alimentar durante a fase de crescimento isométrico dos animais (até os 3 primeiros meses de gestação), porém sem diferença para ECC no parto. Novilhas com taxas altas de ganho acabam apresentando uma menor proporção corporal dos seus órgãos reprodutivos tornando-as menos propensas a engravidar e manter a gestação, por isso uma medida que represente gordura corporal é importante, como o ECC (Abeni et al., 2012).

Apesar de parecer uma prática interessante, o crescimento acelerado ainda gera controvérsias sobre seus efeitos na produtividade de leite futura de novilhas. Em um estudo metanalítico, Zanton e Heinrichs (2005) encontraram que o GPD para novilhas Holandesas pré-púberes deve ser próximo de 800 g/dia para potencializar a produção de leite na primeira lactação. A proporção do peso adulto (%PA) no momento do parto é outro fator importante afetando a produção de leite na primeira lactação, sendo que quanto maior a %PA no momento do parto a produção de leite na primeira lactação tende a ser maior (Handcook et al., 2019b). Diversos estudos mencionados na sequência buscaram evidenciar os efeitos do crescimento acelerado nesta fase de criação sobre o desenvolvimento do parênquima mamário e a produção de leite.

2.4.1.1 Desenvolvimento da glândula mamária e produção de leite

Uma série de estudos foi realizada para explicar os efeitos do crescimento acelerado sobre o desenvolvimento da glândula mamária e a produção de leite nas primeiras lactações. Alguns estudos mostram que o crescimento acelerado pode resultar no aumento de deposição de gordura na glândula mamária e isso pode resultar em menor área de tecido secretor (Sejrsen et al., 1982; Lacasse et al., 1993; Choi et al., 1997; Daniels et al., 2009; Albino et al., 2015; Weller et al., 2016; Albino et al., 2017; Machado et al., 2020). Por outro lado, diferenças na presença de células epiteliais e demais estruturas do parênquima mamário parecem não diferir entre diferentes taxas de GPD (Sejrsen et al., 1982, Daniels et al., 2009).

Além disso, quando verificada a produção na primeira lactação existem divergências entre os resultados. Abeni et al. (2000) e Lacasse et al. (1993) não encontraram diferenças na produção de leite na primeira lactação entre novilhas com crescimento acelerado ou normal, mas Lacasse et al. (1993) encontraram que animais com maior taxa de crescimento tendem a precisar de maior número de acasalamentos e apresentar maior incidência de deslocamento de abomaso no pós-parto. Sadek et al. (2014) encontraram que novilhas com crescimento acelerado apresentaram maior produção de leite na segunda lactação. Choi et al. (1997) encontraram que as novilhas que passaram por períodos de ganho compensatório apresentaram menor proporção de gordura na glândula mamária e maior produção na primeira lactação sem afetar parâmetros reprodutivos. Ainda, Van Amburg et al. (1998a) encontraram que o GPD durante o período pré-púbere não afetou a

produção de leite durante a primeira lactação. Ganhos entre 700 e 800 g/dia têm sido mencionados como ideal nesta fase para a raça Holandesa (Sejrsen e Purup, 1997; Zanton e Heinrichs, 2005).

Para Sejrsen et al. (2000) o aumento da taxa de crescimento antes da puberdade poderia levar a redução do crescimento mamário e potencial produtivo, mas após a puberdade e durante a gestação não haveria efeito negativo. Segundo Daniels et al. (2009) a taxa de crescimento por si só não influencia diretamente no desenvolvimento do parênquima mamário. As fases isométricas e alométricas de crescimento podem ser o fator determinante. Até os 3 primeiros meses de idade tem-se a primeira fase isométrica de crescimento da glândula mamária, seguida pela primeira fase de crescimento alométrica dos 3 até 10/12 meses de idade; a segunda fase isométrica ocorre dos 10/12 meses de idade até os 3 primeiros meses de gestação seguida da segunda fase alométrica que compreende do terceiro mês de gestação até o parto (Sinha e Tucker, 1969; Swanson e Poffenbarger, 1979). Possivelmente, sejam as taxas de crescimento nestas fases de desenvolvimento da glândula que podem influenciar a produção futura destes animais. Ainda, segundo Albino et al. (2015) taxas de GPD próximas ou até superiores a 1000 g/dia podem não afetar a deposição de gordura na glândula mamária desde que as dietas sejam formuladas com uma adequada relação de proteína metabolizável:energia metabolizável (PM e EM, respectivamente), sendo um mínimo de 38 g de PM/Mcal de EM.

De forma geral, dietas com adequado fornecimento de proteína antes da puberdade e sem excesso de energia potencializam o crescimento corporal estrutural e peso vivo de novilhas sem alterar a idade à puberdade. Dietas com alta concentração de energia nesta fase de crescimento (pré-pubere alométrica – 3 até 10/12 meses de idade) ativam a liberação do hormônio luteinizante, o qual medeia e reduz a idade à puberdade e afeta os hormônios envolvidos no crescimento da glândula mamária, especialmente o hormônio do crescimento, resultando em um menor desenvolvimento do tecido secretor mamário (Moallem et al., 2004; Le Cozler et al., 2008). Talvez não seja somente a alta concentração de energia da dieta e seu efeito na deposição de gordura na glândula mamária nesta fase que afete negativamente a produção de leite na primeira lactação. Como o peso adulto pode ter sido reduzido, órgãos essenciais no metabolismo de nutrientes (como fígado e intestinos) podem apresentar menor tamanho o que acaba afetando a capacidade

metabólica e absorptiva do animal, e por consequência, a produção de leite na primeira lactação.

As taxas de ganho são resultado dos efeitos do ideal balanceamento das dietas no crescimento de bezerras e novilhas. Para que os efeitos deste crescimento na futura vida produtiva e, também, na idade ao primeiro parto sejam benéficos, torna-se importante que os modelos utilizados para as predições de exigências e formulações de dietas sejam precisos para bezerras e novilhas em crescimento.

2.4.1.2 Altura de garupa e cernelha

Embora o PV seja o principal parâmetro mensurado e considerado ao longo do processo de criação de novilhas leiteiras, tal medida pode ser insuficiente para determinar se uma novilha está se desenvolvendo adequadamente. Novilhas com mesmo PV e idade podem apresentar diferente grau de precocidade, a qual é baseada na proporção do peso adulto em um determinado momento e não puramente nos PV dos animais (NRC, 2001; NRC, 2016). Produtores normalmente utilizam o PV como medida para definir o momento de acasalar uma novilha leiteira, porém é ideal que esta medida seja associada a outras medidas, como altura de garupa e cernelha, para adequadamente avaliar o crescimento. Assim, a altura tanto de garupa como de cernelha, deve ser utilizada juntamente com o PV principalmente para determinar o momento do 1º acasalamento.

Ambas as medidas de altura estão relacionadas ao desenvolvimento estrutural ósseo e do tamanho corporal dos animais. É bastante incomum a mensuração de alturas em vacas lactantes e animais adultos, sendo que para estes a mensuração do PV, embora também não tão comum, é a medida empregada. Berry et al. (2005) encontraram altura de cernelha variando de 128 a 135 cm em vacas Holandesas adultas de diferentes genótipos, porém com pesos adultos considerados baixos para o padrão da raça, variando de 543 a 591 kg. Hoffman (1997) sugere altura de cernelha de 138 a 141 cm ao primeiro parto para novilhas Holandesas (24 meses). Altura de garupa e cernelha são medidas tomadas na fase de crescimento, sendo a altura de cernelha a mais comum. A literatura apresenta valores de altura de cernelha ao longo do crescimento para novilhas leiteiras das raças Holandesa (Heinrichs e Hargrove, 1987), Jersey e Guernsey (Heinrichs e Hargrove, 1991). Ainda são necessários dados relacionados a animais cruzados.

Como PV e alturas de garupa e cernelha são medidas altamente relacionadas, certos estudos objetivaram desenvolver equações de predição de PV baseado nestas medidas corporais (Oliveira et al., 2013; Franco et al., 2017; Silva et al., 2020). Outro estudo objetivou desenvolver ferramentas computacionais para estimar altura e PV de animais por meio de análise de imagens com a justificativa de assim consumir menos tempo para as mensurações (Nir et al., 2018). Silva et al. (2020) descreveram e desenvolveram uma equação considerando a relação do PV e altura de cernelha para novilhas Holandesas. White et al. (2015) desenvolveram um índice de massa corporal para novilhas, semelhante ao utilizado para humanos, e avaliou o crescimento de grupos de novilhas a partir deste índice. Tal índice foi calculado dividindo o PV pela altura de garupa elevada ao quadrado. O importante é que estas medidas (peso e alturas) sejam utilizadas em associação para monitoramento e tomada de decisões quanto ao desenvolvimento corporal de novilhas leiteiras.

2.4.2 Idade ao primeiro parto

Na literatura, a idade entre 23 e 25 meses para o primeiro parto é dita como sendo a ideal para a raça Holandesa, possuindo maior retorno econômico (Ettema e Santos, 2004), sendo que novilhas parindo mais jovens ou mais velhas acabam produzindo menos leite (Van Amburgh e Tikofsky, 2001; Pietersma et al., 2006). Para que as novilhas possam parir nesta idade é necessário que elas sejam cobertas ou inseminadas próximas aos 15 meses. Porém, a puberdade tem sido relacionada muito mais com o peso dos animais do que com a sua idade (Short e Bellows, 1971, Lacasse et al., 1993). Van Amburgh (2004) menciona que a puberdade em bezerras leiteiras é atingida quando estas apresentam de 45 a 50% do peso adulto (peso das vacas na terceira lactação), além de recomendar que a prenhes deva acontecer quando este animal estiver com ~55 do peso adulto e o primeiro parto com 82% do peso adulto pós-parto. A idade em que a puberdade é atingida também depende do crescimento e das taxas de ganho, sendo que com maior taxa de ganho a puberdade tende a ser antecipada (Swanson, 1967).

Contudo, no Brasil é pouco comum a prática de pesar animais dentro dessa categoria animal (Diagnóstico da Pecuária Leiteira do Estado do Minas Gerais, 2005; Diagnóstico da Cadeia Produtiva do Leite do Estado de Mato Grosso, 2011), tornando difícil entender como estão estes parâmetros de criação no país. Em outros

países como na Suécia, os produtores também não utilizavam o peso dos animais para decidir sobre o momento do primeiro acasalamento, utilizando principalmente a idade de 16 meses e isso resultava em idade média do primeiro parto próximo aos 27,9 meses (Pettersson et al., 2001). Na Austrália, esforços foram feitos em meados dos anos 90 por meio de programas de extensão para reduzir a idade ao primeiro parto que estava acontecendo com 31,4 meses, sendo que as fazendas não monitoravam o peso de novilhas e o momento do acasalamento era decidido baseado na percepção dos produtores sobre a idade e tamanho do animal (Spence e Woodhead, 2000).

Reduzir a idade ao primeiro parto é importante, mas novilhas parindo muito jovens (<22 meses de idade) apresentam perdas produtivas futuras (Curran et al., 2013). Primeiros partos acontecendo em idades <22 meses e >26 meses apresentam perdas produtivas especialmente na primeira lactação em novilhas Holandesas (Fodor et al., 2020). Além disso, o risco de descarte de novilhas leiteiras Holandesas com até 50 dias após o primeiro parto aumenta gradativamente com o aumento da idade ao primeiro parto devido problemas de dificuldade de parto (Fodor et al., 2020). Ainda faltam estudos semelhantes com outras raças.

Desta maneira, a idade ao primeiro parto deveria ser atingida próxima aos 24 meses e com ~82% e ~91% do peso adulto no pré e pós-parto, respectivamente (NRC, 2001; NASEM, 2021) para que estes animais entrem na contribuição da receita da fazenda produzindo leite. Além disso, a idade ao primeiro parto é talvez o principal objetivo a ser alcançado dentro desta fase de criação. A principal maneira de alcançar-se isso aos 24 meses é por meio de adequadas taxas de GPD para novilhas em fase de crescimento.

2.4.3 Peso corporal adulto

Conhecer o PA de vacas leiteiras é muito importante para o planejamento da criação de animais em crescimento. Na criação de novilhas leiteiras é ideal alvejar pesos para primeiro acasalamento e parto e estes pesos são baseados no PA das vacas do rebanho. Além disso, é considerado que vacas leiteiras crescem até o terceiro parto sendo recomendado que apresentem %PA de 55 a 60% na primeira inseminação, 82 a 85% no primeiro parto e 92% no segundo parto (pesos pós-parto) (Fox et al., 1999; NRC, 2001). O peso pré-parto recomendado ao primeiro parto é 91% do PA (NASEM, 2021). Ainda, estudos recentes indicam que %PA maiores no

primeiro parto (~90%) potencializam a produção de leite na primeira lactação (Handcook et al., 2019b). Embora seja importante, pesar vacas lactantes não é uma prática tão comum entre os produtores de leite sendo que muitos produtores desconhecem o PA e peso médio dos seus rebanhos (Pérez-Cabral et al., 2006), o que dificulta no plano de crescimento e nutricional dos animais.

O PA é variável, diferentes raças apresentam diferentes pesos adultos (Solis et al., 1988) sendo que fatores como nutrição, genética e manejo podem alterar o peso adulto. Embora varie entre raças, mesmo dentro de raça existe uma variação importante para PA dependendo da genética para qual o animal é selecionado (Berry et al., 2005). O PA pode ser afetado pela nutrição a partir de restrição severa de alimento ou alto fornecimento de energia, sendo que em ambos os casos o peso adulto pode ser reduzido (Everitt e Jury, 1977; Owens et al., 1993; Moallen et al., 2004).

Segundo o NRC (2001) os PA considerados para as diferentes raças são 545 kg para Ayrshire, 682 kg para Pardo-suíço e Holandês; 500 kg para Guernsey, 454 kg para Jersey e 568 kg para Shorthorn leiteiro. Embora estes valores de PA sejam os sugeridos para uso do modelo do NRC leiteiro, outros trabalhos indicam pesos diferentes em diversos países como, por exemplo, para vacas Holandesas: EUA, 680 kg assumido para vacas adultas (Olson et al., 2010); Áustria, 734 kg para ≥ 3 partos (Ledinek et al., 2018); Reino Unido, 668 kg para ≥ 2 partos (Schubert et al., 2019); Dinamarca, 654 kg para ≥ 3 partos (Nielsen et al., 2003); Israel, 687 kg para ≥ 3 partos (Van Straten et al., 2008), Brasil, ~700 kg para ≥ 3 partos em um único rebanho (Poncheki et al., 2015); além de PA diferentes para os genótipos de gado Holandês no estudo de Berry et al. (2005) variando de 543 a 591 kg.

Menos trabalhos e em outros países também apresentam o PA para a raça Jersey: EUA, 522 kg assumido para vacas adultas (Olson et al., 2010); Reino Unido, 483 kg para ≥ 2 partos (Schubert et al., 2019); Dinamarca, 448 kg para ≥ 3 partos (Nielsen et al., 2003). Dados de PA de outras raças são mais escassos como, por exemplo, 656 kg para ≥ 3 partos no gado Dinamarquês vermelho (Nielsen et al., 2003); 510 kg para $\frac{1}{2}$ Holandês \times $\frac{1}{2}$ Gir e 482 kg para Gir leiteiro (Carvalho et al., 2018). Com estes dados é evidente que existe uma grande variação do PA entre diferentes rebanhos e regiões, sendo pouco provável e assertivo que o uso de um PA sugerido pela literatura seja adequado para um rebanho em específico. A melhor

forma de contornar esse problema é incluir a pesagem rotineira de vacas e principalmente animais adultos do rebanho para cálculo do seu PA.

2.5 Custos de criação de novilhas de reposição

Os custos de criação de novilhas leiteiras são vários e englobam desde a alimentação, tratamento e prevenção de doenças, alojamento, manejos gerais, mortalidade (principalmente na fase de aleitamento), entre outros (Mohd Nor et al., 2012; Mohd Nor et al., 2015). Custos com a alimentação (45% – 73%), manejo (11 – 32%) e alojamento (5 – 12%) são os principais (Mohd Nor et al., 2012; Heinrichs et al., 2013). Os custos com alimentação se elevaram ao longo dos anos com a compreensão de que uma melhor nutrição proporciona obtenção de animais com melhor performance futura (Heinrichs et al., 2013).

Alguns estudos indicam o custo de criação de novilhas leiteiras do nascimento até o primeiro parto: Holanda, €1567,00 com 1º parto aos 26 meses (Mohd Nor et al., 2012); EUA, \$1808,23 com 1º parto aos ~25 meses (Heinrich et al., 2013); Brasil, R\$3240,28 para Holandesas com 1º parto aos 24 meses e R\$2857,15 para mestiças com 1º parto entre 28 e 30 meses (Santos e Lopes, 2014). Dados recentes indicam que o custo de criação de novilhas no país está em R\$4006,00 atualmente (Alta Cria, 2020). Boulton et al. (2017) conduziram um trabalho no Reino Unido e demonstraram que as novilhas leiteiras levam em média 1,5 lactações para começar a dar lucro na fazenda, ou seja, tendo assim pago todo seu custo de criação e contribuindo com a receita da fazenda positivamente. Neste mesmo estudo, os autores mostraram que apenas 24% das novilhas leiteiras pagam seu custo de criação na primeira lactação e que mesmo na segunda lactação ainda 9% das novilhas não conseguiram cobrir ainda seus custos de criação, devido a problemas reprodutivos, doenças, entre outros. Brickell e Wathes (2011) encontraram que, desde o nascimento, apenas 55% das novilhas conseguem chegar à terceira lactação, que seria quando atingem o PA baseado no NRC (2001), e que ainda partir da primeira lactação a principal causa de descartes é devido a problemas reprodutivos.

Buscar atingir o primeiro parto próximo dos 24 meses é o ideal, pois mesmo animais parindo mais cedo, embora apresentem menos custos na criação de forma geral, acabam tendo decréscimos produtivos (Curran et al., 2013), enquanto animais parindo mais tarde elevam seus custos de criação. Como a alimentação de

ruminantes pode ser bastante diversificada, o custo e o tempo gasto com a criação das novilhas leiteiras podem ser planejados baseado nas opções de ingredientes que irão compor as dietas em determinadas regiões e épocas, flexibilizando assim a formulação e o planejamento durante a fase de criação.

2.6 Modelos matemáticos desenvolvidos para novilhas leiteiras

Ao longo dos anos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para prever as exigências nutricionais e o desempenho de bovinos leiteiros. Materiais referências foram elaborados para utilização de pesquisadores, produtores, técnicos e pessoas ligadas à bovinocultura de leite como os desenvolvidos pelo NRC (2001), AFRC (1993), INRA (1989; 2018) e CSIRO (1990; 2007). Desde o início do desenvolvimento destes modelos, ajustes e adequações foram sendo feitas para que a estimativa obtivesse a maior precisão e acurácia possível. Os modelos mais conhecidos e empregados mundialmente talvez sejam os do NRC (NRC, 2001). Outros modelos também têm destaque como o Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) desenvolvido e ajustado por diversos pesquisadores ao longo dos anos e que começou a ser desenvolvido fortemente na década de 90 (Fox et al., 1992; Russel et al., 1992; Sniffen et al., 1992).

No Brasil e outras regiões tropicais houve pouco desenvolvimento de modelos para estimativa das exigências nutricionais, utilização de energia e proteína e desempenho de bovinos leiteiros como em outros países, com poucas exceções (exemplo, RLM 3.3.27 – Daley et al., 2014). Dessa forma, o cálculo de dietas para bovinos de leite acaba sendo baseado na estimativa das exigências a partir de modelos desenvolvidos em outras regiões. Apesar disso, alguns estudos visaram parametrizar as equações para as condições tropicais de produção (Freitas et al., 2006; Souza, 2015). Souza (2015) parametrizou uma equação para CMS para vacas mestiças/zebuínas lactantes com dados de estudos experimentais conduzidos no Brasil. Souza et al. (2016) avaliaram algumas equações utilizadas para prever o GPD de bezerros em aleitamento em condições brasileiras. Ainda, como descrito nas seções acima sobre exigências nutricionais, estudos recentes têm surgido com modelos desenvolvidos e avaliados para condições tropicais para novilhas e também para outras categorias (Moreira, 2016; Rotta et al., 2015, Oss et al., 2017; Castro et al., 2020; Sguizzato et al., 2020).

Contudo, com a categoria de novilhas leiteiras poucos modelos foram criados e avaliados em condições tropicais, especialmente no Brasil. Franco et al. (2017) e Oliveira et al. (2013) avaliaram equações de predição de PV para novilhas holandesas e mestiças baseadas em medidas biométricas e encontraram que as equações não são adequadas para predizer o PV de animais mestiços, os quais são a grande maioria nos rebanhos brasileiros (Assis et al., 2005; Miranda e Freitas, 2009). Algumas das equações testadas nestes dois estudos eram as propostas por Reis et al. (2008) e que foram desenvolvidas no Brasil (exemplo, $PV (kg) = 1,717 - 35.167 \times PT + 0.238978 \times PT^2 - 0.00046260 \times PT^3$, onde PT = perímetro torácico em cm). Apesar de desenvolvidas no Brasil, não foram validadas com banco de dados independente, o que compromete as estimativas segundo Oliveira et al. (2013). Ainda, outro estudo recente também desenvolveu e avaliou equações para estimativa de PV, altura de garupa e sua relação em novilhas holandesas em condições tropicais (Silva et al., 2020).

Relacionado às exigências nutricionais as equações mais recentes e promissoras são as apresentadas por Silva et al. (2018) e Castro et al. (2020) para condições tropicais de criação. Embora novos modelos tenham surgido, o NRC (2001) ainda é o documento mais completo apresentando equações para novilhas leiteiras em crescimento apesar de utilizar apenas dados de novilhas Holandesas em suas avaliações.

Outra opção de estimação de exigências nutricionais e que foi desenvolvida no Brasil é o modelo do RLM 3.3.27 (Daley et al., 2014). Este modelo vem sendo constantemente aprimorado a partir de vários estudos publicados em anos recentes e tem se mostrado um dos mais interessantes para formulação de cálculo de exigências nutricionais de gado leiteiro. Tal modelo tem como base o NRC (2001). Contudo, melhorias na estimação de CMS de vacas cruzadas (Souza, 2015), ajuste no cálculo de exigência de energia de manutenção de vacas leiteiras (Moraes et al., 2015) entre outros ajustes têm sido constantemente incorporados neste software melhorando consideravelmente as predições em relação às estimativas originais fornecidas pelo modelo do NRC (2001).

Referências

Abeni F, Calamari L, Stefanini L, Pirlo G, 2000. Effects of daily gain in pre- and postpubertal replacement dairy heifers on body condition score, body size, metabolic

profile, and future milk production. **Journal of Dairy Science**, 83(7):1468-1478. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75019-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75019-3).

Abeni F, Calamari L, Stefanini L, Pirlo G, 2012. Effect of average daily gain on body size, metabolism, and milk production of Italian Holstein heifers raised on two different planes of nutrition and calving at two different ages. **Journal of Dairy Science**, 149(1-2):7-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.06.003>.

AFRC - Agricultural and Food Research Council, 1993. **Energy and protein requirements of ruminants: an advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients**. Wallingford: CAB International. 159p.

Albino RL, Marcondes MI, Akers RM, Detmann E, Carvalho BC, Silva TE, 2015. Mammary gland development of dairy heifers fed diets containing increasing levels of metabolisable protein: metabolisable energy. **Journal of Dairy Research**, 82(1):113–120. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0022029914000697>.

Albino RL, Sguizzato AL, Daniels KM, Duarte MS, Lopes MM, Guimarães SEF, Weller MMDCA, Marcondes MI, 2017. Performance strategies affect mammary gland development in prepubertal heifers. **Journal of Dairy Science**, 100(10):8033–8042. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12489>.

Allen MS, 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 83(7):1598–1624. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75030-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75030-2).

Allen MS, Bradford BJ, Oba M, 2009. Board-Invited Review: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. **Journal of Animal Science**, 87(10):3317–3334. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1779>.

Allen MS, 2020. Review: Control of feed intake by hepatic oxidation in ruminant animals: integration of homeostasis and homeorhesis. **Animal**, 14(S1):55-64. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731119003215>.

Alta Cria, 2020. Autores: Azevedo RA, Teixeira AM, Bittar CMM, Martins LF, Antunes LCMS, Zambrano JA, Santos JEP, Tiveron PM, Rotta PP, Meneses RM, Silva ROS, Coelho SG, Gomes V: Uberaba, Minas Gerais, 2020. 1ª Edição. 108 p. <http://dx.doi.org/10.26626/978-65-5668-018-7.2020B0001>.

Arriaga-Jordán CM, García-Martínez A, Albarrán-Portillo B, Espinoza-Ortega A, Castelán-Ortega OA, 2003. Feeding strategies for rearing replacement heifers in small-scale dairy production systems in the highlands of central Mexico. **Tropical Animal Health and Production**, 35(3):259-269. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1023351631315>.

Assis AG, Stock LA, Campos OF, Gomes AT, Zoccal R, Silva MR, 2005. **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Juiz de Fora, MG, Brasil.

Bazeley KJ, Barrett DC, Williams PD, Reyher KK, 2016. Measuring the growth rate of UK dairy heifers to improve future productivity. **The Veterinary Journal**, 212:9-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.10.043>.

Belyea RL, Frost GR, Martz FA, Clark JL, Forkner LG, 1978. Body composition of dairy cattle by potassium-40 liquid scintillation detection. **Journal of Dairy Science**, 61(2):206-211. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(78\)83579-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(78)83579-6).

Berry DP, Horan B, Dillon P, 2005. Comparison of growth curves of three strains of female dairy cattle. **Animal Science**, 80(2):151-160. DOI: <https://doi.org/10.1079/ASC41790151>.

Boulton AC, Rushton J, Wathes DC, 2017. An empirical analysis of the cost of rearing dairy heifers from birth to first calving and the time taken to repay these costs. **Animal**, 11(8):1372-1380. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731117000064>.

Braga GJ, Pedreira CGS, Ferreira AS, Oliveira EA, Paulino VT, 2020. Seasonal herbage accumulation, plant-part composition and nutritive value of signal grass (*Urochloa decumbens*) pastures under simulated continuous stocking. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**, 8(2):48–59. DOI: [https://doi.org/10.17138/TGFT\(8\)48-59](https://doi.org/10.17138/TGFT(8)48-59).

Brickell JS, Wathes DC, 2011. A descriptive study of the survival of Holstein-Friesian heifers through to third calving on English dairy farms. **Journal of Dairy Science**, 94(4):1831-1838. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3710>.

Carvalho PHA, Borges ALCC, Silva RR, Lage HF, Vivenza PAD, Ruas JRM, Facury Filho EJ, Palhano RLA, Gonçalves LC, Borges I, Saliba EOS, Jayme DG, Carvalho AU, 2018. Energy metabolism and partition of lactating Zebu and crossbred Zebu cows in different planes of nutrition. **Plos One**, 13(8):e0202088. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202088>.

Casas A, Cianzio D, Rivera A, 1997. Comparison of Holstein, Charbray, and Zebu bulls for beef production under rotational grazing II. Offal components and carcass composition. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, 81(3-4):115–124. DOI: <https://doi.org/10.46429/jaupr.v81i3-4.3635>.

Castro MMD, Albino RL, Rodrigues JPP, Sguizzato ALL, Santos MMF, Rotta PP, Caton JS, Moraes LEFD, Silva FF, Marcondes MI, 2020. Energy and protein requirements of Holstein × Gyr crossbred heifers. **Animal**, 14(9):1857–1866. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731120000622>.

Chigaru PRN, Holness DH, 1983. Estimation of body water and fat in cattle using tritiated water space and live weight with particular reference to the influence of breed. **The Journal of Agricultural Science**, 101(1):257-264. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600037540>.

Choi YJ, Han IK, Woo JH, Lee HJ, Jang K, Myung KH, Kim YS, 1997. Compensatory growth in dairy heifers: The effect of a compensatory growth pattern on growth rate and lactation performance. **Journal of Dairy Science**, 80(3):519-524. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)75965-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75965-4).

Clark JH, Spires HR, Derrig RG, Bennink MR, 1977. Milk production, nitrogen utilization and glucose synthesis in lactating cows infused postruminally with sodium caseinate and glucose. **Journal of Nutrition**, 107(4):631–644. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/107.4.631>.

Colucci PE, MacLeod GK, Grovum WL, Cahill LW, McMillan I, 1989. Comparative digestion in sheep and cattle fed different forage to concentrate ratios at high and low intakes. **Journal of Dairy Science**, 72(7):1774-1785. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79294-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79294-8).

Corbett JL, Freer M, 2003. Past and Present Definitions of the Energy and Protein Requirements of Ruminants. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 16(4):609-624. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.609>.

CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. 1990. **Feeding standards for Australian livestock: ruminants**. East Melbourne: CSIRO Publishing. 266p.

CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 2007. **Nutrient requirements of domesticated ruminants**. Collingwood: CSIRO Publishing. 296p.

Curran RD, Weigel KA, Hoffman PC, Marshall JA, Kuzdas CK, Coblenz WK, 2013. Relationships between age at first calving; herd management criteria; and lifetime milk, fat, and protein production in Holstein cattle. **The Professional Animal Scientist**, 29(1):1-9. DOI: [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30188-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30188-1).

Daley VS, Lanna DPD, Almeida R, Nepomuceno N, 2014. RLM Leite – Ração de lucro máximo, Manual. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. 89p.

Erickson PS, Anderson JL, Kalscheur KF, Lascano GJ, Akins MS, Heinrichs AJ, 2020. *Symposium review*: Strategies to improve the efficiency and profitability of heifer raising. **Journal of Dairy Science**, 103(6):5700-5708. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17419>.

Everitt GC, Jury KE, 1977. Growth of cattle in relation to nutrition in early life. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, 20(2):129-37. DOI: <https://doi.org/10.1080/00288233.1977.10427316>.

Daniels KM, McGilliard ML, Meyer MJ, Van Amburgh ME, Capuco AV, Akers RM, 2009. Effects of body weight and nutrition on histological mammary development in Holstein heifers. **Journal of Dairy Science**, 92(2):499-505. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1007>.

Diagnóstico da Cadeia Produtiva do Leite do Estado de Mato Grosso, 2011. Relatório de pesquisa. Acessado: 15/agosto/2019. http://www.imea.com.br/upload/Diagnostico_da_Cadeia_do_Leite_MT_Final_.pdf.

Diagnóstico da Pecuária Leiteira do Estado do Minas Gerais. Relatório de pesquisa, 2015. Acessado: 15/agosto/2019. <http://www.sebraemg.com.br/bibliotecadigital/documento/Manualou-Livro/Diagnostico-da-Pecuaria-Leiteira-do-Estado-de-Minas-Gerais-em-2005>.

Ettema JF, Santos JEP, 2004. Impact of age at calving on lactation, reproduction, health, and income in first-parity Holsteins on commercial farms. **Journal of Dairy Science**, 87(8):2730–2742. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(04\)73400-1](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)73400-1).

Ferrazza JM, Soares AB, Martin TN, Assmann AL, Nicola V, 2013. Produção de forrageiras anuais de inverno em diferentes épocas de semeadura. **Revista Ciência Agrônômica**, 44(2):379-389. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000200022>.

Fox, DG, Sniffen, CJ, O'Connor, JD, Russell, JB, Van Soest, PJ, 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **Journal of Animal Science**, 70(11):3578-3596. DOI: <https://doi.org/10.2527/1992.70113578x>.

Fox DG, Van Amburgh ME, Tylutki TP, 1999. Predicting requirements for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. **Journal of Dairy Science** 82(9):1968-1977. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75433-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75433-0).

Franco MO, Marcondes MI, Campos JMS, Freitas DR, Detmann E, Valadares Filho SC, 2017. Evaluation of body weight prediction equations in growing heifers. **Acta Scientiarum Animal Science**, 39(2):201-206. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i2.33118>.

Freitas JA, Lana RP, Magalhães ALR, Souza JC, 2006. Predição e validação do desempenho de vacas de leite nas condições brasileiras. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, 14(4):128-134.

Frobish RA, Davis CL, 1977. Effects of abomasal infusions of glucose and proprionate on milk yield and composition. **Journal of Dairy Science**, 60(2):204-209. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)83855-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83855-1).

Fodor I, Lang Z, Ózsvári L, 2020. Relationship of dairy heifer reproduction with survival to first calving, milk yield and culling risk in the first lactation. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, 33(8):1360-1368. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0474>.

Fox DG, Tylutki TP, 1998. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, 81(11):3085– 3095. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75873-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75873-4).

Garrett WN, Meyer JH, Lofgreen GP, 1959. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. **Journal of Animal Science**, 18(2):528– 547. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1959.182528x>.

Handcock RC, Lopez-Villalobos N, McNaughton LR, Back PJ, Edwards GR, Hickson RE, 2019a. Live weight and growth of Holstein-Friesian, Jersey and crossbred dairy heifers in New Zealand. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, 62(2):173-183. DOI: <https://doi.org/10.1080/00288233.2018.1465984>.

Handcock RC, Lopez-Villalobos N, McNaughton LR, Back PJ, Edwards GR, Hickson RE, 2019b. Positive relationships between body weight of dairy heifers and their first-lactation and accumulated three-parity lactation production. **Journal of Dairy Science**, 102(5):4577-4589. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15229>.

Hayirli A, Grummer RR, Nordheim EV, Crump PM, 2002. Animal and dietary factors affecting feed intake during the prefresh transition period in Holsteins. **Journal of Dairy Science**, 85(12):3430-3443. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74431-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74431-7).

Hayirli A, Grummer RR, Nordheim EV, Crump PM, 2003. Models for predicting dry matter intake of Holsteins during the prefresh transition period. **Journal of Dairy Science**, 86(5):1771-1779. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73762-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73762-X).

Heinrichs AJ, Hargrove GL, 1987. Standards of weight and height for Holstein heifers. **Journal of Dairy Science**, 70(3):653-660. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80055-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80055-3).

Heinrichs AJ, Hargrove GL, 1991. Standards of weight and height for Guernsey and Jersey heifers. **Journal of Dairy Science**, 74(5):1684-1689. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78331-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78331-8).

Heinrichs AJ, Jones CM, Gray SM, Heinrichs PA, Cornelisse SA, Goodling RC, 2013. Identifying efficient dairy heifer producers using production costs and data envelopment analysis. **Journal of Dairy Science**, 96(11):7355–7362. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6488>.

Hoffman PC, 1997. Optimum body size of Holstein replacement heifers. **Journal of Animal Science**, 75(3):836-845. DOI: <http://dx.doi.org/10.2527/1997.753836x>.

Hoffman PC, Weigel KA, Wernberg RM, 2008. Evaluation of equations to predict dry matter intake of dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, 91(9):3699-709. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0644>.

Hurst TS, Lopez-Villalobos N, Boerman JP, 2020. Predictive equations for early-life indicators of future body weight in Holstein dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, 104(1):736-749. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18560>.

INRA - Institute National de la Recherche Agronomique. **Ruminant Nutrition**. Paris: John Libbey Eurotext, 1989. 389p.

INRA - Institute National de la Recherche Agronomique, 2018. **INRA feeding system for ruminants**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers. 643p.

Jackson N, Forbes TJ, 1970. The voluntary intake by cattle of four silages differing in dry matter content. **Animal Production**, 12(4): 591-599. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0003356100029238>.

Jiao HP, Yan, Wills DA, McDowell DA, 2015. Maintenance energy requirements of young Holstein cattle from calorimetric measurements at 6, 12, 18, and 22 months of age. **Livestock Science**, 178:150–157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.031>.

Kertz AF, Prewitt LR, Ballam JM, 1987. Increased weight gain and effects on growth parameters of Holstein heifer calves from 3 to 12 months of age. **Journal of Dairy Science**, 70(8):1612-1622. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80189-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80189-3).

Ketelaars JJMH, Tolkamp BJ, 1992a. Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants 1. Causes of differences in voluntary feed intake: critique of current views. **Livestock Production Science**, 30(4):269-296. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(92\)90039-7](https://doi.org/10.1016/0301-6226(92)90039-7).

Ketelaars JJMH, Tolkamp BJ, 1992b. Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants 3. Optimum feed intake: in search of a physiological background. **Livestock Production Science**, 31(3-4):235-258. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(92\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0301-6226(92)90020-5).

Kljak K, Pino F, Heinrichs AJ, 2017. Effect of forage to concentrate ratio with sorghum silage as a source of forage on rumen fermentation, N balance, and purine derivative excretion in limit-fed dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, 100(1):213-223. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11383>.

Lacasse P, Block E, Guilbault LA, Petitclerc D, 1993. Effect of plane of nutrition of dairy heifers before and during gestation on milk production, reproduction, and health. **Journal of Dairy Science**, 76(11):3420-3427. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77680-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77680-8).

Lanna DPD, Tedeschi LO, Beltrame Filho JA, 1999. Linear and non-linear models of nutrient utilization to formulate diets for ruminants. **Scientia Agricola**, 56(2):479-488. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000200031>.

Lapierre H, Larsen M, Sauvant D, Van Amburgh ME, Van Duinkerken G, 2018. Review: Converting nutritional knowledge into feeding practices: a case study comparing different protein feeding systems for dairy cows. **Animal**, 12(S2):457-466. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731118001763>.

Lascano GJ, Heinrichs AJ, 2009. Rumen fermentation pattern of dairy heifers fed restricted amounts of low, medium, and high concentrate diets without and with yeast culture. **Livestock Science**, 124(1-3):48-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.12.007>.

Le Cozler Y, Lollivier V, Lacasse P, Disenhaus C, 2008. Rearing strategy and optimizing first-calving targets in dairy heifers: a review. **Animal**, 2(9):1393-404. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731108002498>.

Le Cozler Y, Peccatte JR, Delaby L, 2010. A comparative study of three growth profiles during rearing in dairy heifers: Effect of feeding intensity during two successive winters on performances and longevity. **Livestock Science**, 127(2-3):238-247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.10.005>.

Ledinek M, Gruber L, Steininger F, Zottl K, Royer M, Krimberger K, Mayerhofer M, Egger-Danner C, Fuerst-Waltl B, 2018. Analysis of lactating cows in commercial Austrian dairy farms: Diet composition, and influence of genotype, parity and stage of lactation on nutrient intake, body weight and body

condition score. **Italian Journal of Animal Science**, 18(1):202-214. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1504632>.

Lofgreen GP, Otagaki KK, 1960. The net energy of blackstrap molasses for fattening steers as determined by a comparative slaughter technique. **Journal of Animal Science**, 19(2):392–403. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1960.192392x>.

Machado AF, Guimarães SEF, Guimarães JD, Santos GM, Silva AL, Silva YFRS, Netto DSL, Correa PVF, Marcondes MI, 2020. Effect of protein supplement level on the productive and reproductive parameters of replacement heifers managed in intensive grazing systems. **Plos One**, 15(10):239–786. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239786>.

Miranda JEC, Freitas AR, 2009. **Raças e Tipos de Cruzamentos para Produção de Leite**. 1st ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Juiz de Fora, MG, Brasil.

Moallem U, Dahl GE, Duffey EK, Capuco AV, Erdman RA, 2004. Bovine somatotropin and rumen-undegradable protein effects on skeletal growth in prepubertal dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, 87(11):3881-3888. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73527-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73527-4).

Mohd Nor N, Steeneveld W, Mourits MCM, Hogeveen H, 2012. Estimating the costs of rearing young dairy cattle in the Netherlands using a simulation model that accounts for uncertainty related to diseases. **Preventive Veterinary Medicine**, 106(3-4):212-224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.03.004>.

Mohd Nor N, Steeneveld W, Derkman THJ, Verbruggen MD, Evers AG, Haan MHA, Hogeveen H, 2015. The total cost of rearing a heifer on Dutch dairy farms: calculated versus perceived cost. **Irish Veterinary Journal**, 68:29. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13620-015-0058-x>.

Montgomery MJ, Baumgardt BR, 1965a. Regulation of food intake in ruminants. 2. Pelleted rations varying in energy concentration. **Journal of Dairy Science**, 48(5):569-574. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(65\)88286-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(65)88286-8).

Montgomery MJ, Baumgardt BR, 1965b. Regulation of food intake in ruminants. 2. Rations varying in energy concentration and physical form. **Journal of Dairy Science**, 48(12):1623-1628. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(65\)88539-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(65)88539-3).

Moody ML, Zanton GI, Daubert JM, Heinrichs AJ, 2007. Nutrient utilization of differing forage-to-concentrate ratios by growing Holstein heifers. **Journal of Dairy Science**, 90(12):5580-5586. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0570>.

Moraes LE, Kebreab E, Strathe AB, Dijkstra J, France J, Casper DP, Fadel JG, 2015. Multivariate and univariate analysis of energy balance data from lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 98(6):4012–4029. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8995>.

Moreira TS, 2016. Energy requirements, energetic partition and methane emission from growing Holstein, Gyr and F1 Holstein-Gyr dairy heifers. **Doctor's thesis**, University of São Paulo, Pirassununga, SP, Brazil.

Mourits MCM, Van der Fels-Klerx HJ, Huirne RBM, Huyben MWC, 2000. Dairy-heifer management in the Netherlands. **Preventive Veterinary Medicine**, 46(3):197-208. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(00\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(00)00146-X).

NASEM, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press.

Nielsen HM, Friggens NC, Løvendahl P, Jensen J, Ingvarsen KL, 2003. Influence of breed, parity, and stage of lactation on lactational performance and

relationship between body fatness and liveweight. **Livestock Production Science**, 79(2-3):119–133. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00146-X).

Nir O, Parmet Y, Werner D, Adin G, Halachmi I, 2018. 3D Computer-vision system for automatically estimating heifer height and body mass. **Biosystems Engineering**, 173:4-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.014>.

NorFor, 2011. The Nordic feed evaluation system. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.

NRC - National Research Council, 1968. **Body Composition in Animals and Man**: Proceedings of a Symposium Held May 4, 5, and 6, 1967, at the University of Missouri, Columbia. Washington, DC: The National Academies Press. DOI: <https://doi.org/10.17226/20255>.

NRC - National Research Council, 1984. **Nutrient requirements of beef cattle**. 6th ed, Washington: National Academy Press. 63p.

NRC - National Research Council, 1996. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed, Washington: National Academy Press. 242p.

NRC - National Research Council, 2000. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th revised ed: Update 2000, Washington: National Academy Press. 248p.

NRC - National Research Council, 2001. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press. 381p.

NRC - National Research Council, 2016. **Nutrient requirements of beef cattle**. 8th ed. Washington: National Academy Press. 494p.

Odwongo WO, Conrad HR, Staubus AE, 1984. The use of deuterium oxide for the prediction of body composition in live dairy cattle. **The Journal of Nutrition**, 114(11):2127-2137. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/114.11.2127>.

Oliveira AS, Abreu DC, Fonseca MA, Antoniassi PM, 2013. Short communication: Development and evaluation of predictive models of body weight for crossbred Holstein-Zebu dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, 96(10):6697-6702. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6988>.

Oliveira AS, Abreu DC, Fonseca MA, Antoniassi PM, 2013. *Short communication*: Development and evaluation of predictive models of body weight for crossbred Holstein-Zebu dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, 96(10):6697-6702. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6988>.

Oliveira AS, Ferreira VB, 2016. Prediction of intake in growing dairy heifers under tropical conditions. **Journal of Dairy Science**, 99(2):1103-1110. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9638>.

Oliveira Júnior OL, Carnevalli RA, Peres AAC, Reis JC, Moraes MCMM, Pedreira BC, 2016. Análise econômico-financeira de sistemas integrados para a produção de novilhas leiteiras. **Archivos de Zootecnia**, 65(250):203-212.

Olson KM, Cassell BG, Hanigan MD, 2010. Energy balance in first-lactation Holstein, Jersey, and reciprocal F1 crossbred cows in a planned crossbreeding experiment. **Journal of Dairy Science**, 93(9):4374-4385. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3195>.

Orth R, Fontaneli RS, Fontaneli RS, Saccardo E, 2012. Produção de forragem de gramíneas anuais semeadas no verão. **Ciência Rural**, 42(9):1535-1540. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000069>.

Oss DB, Machado FS, Tomich TR, Pereira LGR, Campos MM, Castro MMD, Silva TE, Marcondes MI, 2017. Energy and protein requirements of crossbred (Holstein × Gyr) growing bulls. **Journal of Dairy Science**, 100(4):2603-2613. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11414>.

Owens FN, Dubeski P, Hanson CF, 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, 71(11):3138-3150. DOI: <https://doi.org/10.2527/1993.71113138x>.

Paciullo DSC, Castro CRT, Gomide CAM, Maurício RM, Pires MFA, Müller MD, Xavier DF, 2011. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, 141(2-3):166-172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>.

Perez-Cabal MA, Santillana RG, Alenda R, 2006. Mature body weight and profit selection in Spanish dairy cattle. **Livestock Science**, 99(2):257-266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.08.002>.

Peterson AD, Baile CA, Baumgardt BR, 1972. Cerebral ventricle injections of pentobarbital, glucose, and sodium chloride into sheep and calves, and feeding. **Journal of Dairy Science**, 55(6):822-828. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85577-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85577-2).

Pettersson K, Svensson C, Liberg P, 2001. Housing, feeding and management of calves and replacement heifers in Swedish dairy herds. **Acta Veterinaria Scandinavica**, 42(4):465-478. DOI: <https://doi.org/10.1186/1751-0147-42-465>.

Pezzopane JRM, Santos PM, Evangelista SEM, Bosi C, Cavalcante ACR, Bettiol GM, Gomide CAM, Pellegrino GQ, 2016. Panicum maximum cv. Tanzânia: climate trends and regional pasture production in Brazil. **Grass and Forage Science**, 72(1):104-117. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12229>.

Pietersma D, Lacroix R, Lefebvre D, Cue RI, Wade KM, 2006. Trends in growth and age at first calving for Holstein and Ayrshire heifers in Quebec. **Canadian Journal of Animal Science**, 86(3):325-336. DOI: <https://doi.org/10.4141/A05-080>.

Poncheki JK, Canha MLS, Viechnieski SL, Almeida R, 2015. Analysis of daily body weight of dairy cows in early lactation and associations with productive and reproductive performance. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 44(5):187-192. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902015000500004>.

Quigley JD, James RE, McGilliard ML, 1986a. Dry matter intake in dairy heifers. 2. Equations to predict intake of heifers under intensive management. **Journal of Dairy Science**, 69(11):2863-2867. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80740-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80740-8).

Quigley JD, James RE, McGilliard ML, 1986b. Dry matter intake in dairy heifers. 1. Factors affecting intake of heifers under intensive management. **Journal of Dairy Science**, 69(11):2855-2862. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80739-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80739-1).

Reis GL, Albuquerque FHMAR, Valente BD, Martins GA, Teodoro RL, Ferreira MBD, Monteiro JBN, Silva MA, Madalena FE, 2008. Prediction of live weight based on body measurements in crossbred animals Holstein/Gir. **Ciência Rural**, 38(3):778-783. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000300029>.

Roche JR, Dennis NA, Macdonald KA, Phyn CVC, Amer PR, RR White, Drackley JK, 2015. Growth targets and rearing strategies for replacement heifers in pasture-based systems: a review. **Animal Production Science**, 55(7):902-915. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/AN14880>.

Rotta PP, Valadares Filho SC, Gionbelli TRS, Silva LFC, Engle TE, Marcondes MI, Machado FS, Villadiego FAC, Silva LHR, 2015. Effects of day of gestation and feeding regimen in Holstein × Gyr cows: I. Apparent total-tract digestibility, nitrogen balance, and fat deposition. **Journal of Dairy Science**, 98(5):3197-3210. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8280>.

Roy JHB, 1978. Rearing dairy herd replacement. **Journal of the Society of Dairy Technology**, 31(2):73-79. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1978.tb01384.x>.

Russell JB, O'Connor JD, Fox DG, Van Soest PJ, Sniffen CJ, 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, 70(11):3551-3561. DOI: <https://doi.org/10.2527/1992.70113551x>.

Sadek RR, Ashour G, Ibrahim MAM, Samoul AM, 2014. Effect of daily weight gain on age at first calving and subsequent milk yield of Holstein heifers in Egypt. **Egyptian Journal of Animal Production**, 51(3):164-171. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejap.2014.93644>.

Santos G, Lopes MA, 2014. Production costs of dairy females from birth to first calving. **Ciência Animal Brasileira**, 15(1):11-19. DOI: <https://doi.org/10.5216/cab.v15i1.14634>.

Sarwar M, Firkins JL, Eastridge ML, 1991. Effect of replacing neutral detergent fiber of forage with soyhulls and corn gluten feed for dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, 74(3):1006-1017. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78250-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78250-7).

Schubert HE, Wood S, Reyher KK, Mills HL, 2019. Data-driven approach to using individual cattle weights to estimate mean adult dairy cattle weight. **Veterinary Record**, 185(17):540. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.105471>.

Sejrsen K, Huber JT, Tucker HA, Akers RM, 1982. Influence of nutrition of mammary development in pre- and postpubertal heifers. **Journal of Dairy Science**, 65(5):793-800. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82268-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82268-6).

Sejrsen K, Purup S, 1997. Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers: A review. **Journal of Animal Science**, 75(3):828-835. DOI: <https://doi.org/10.2527/1997.753828x>.

Sejrsen K, Purup S, Vestergaard M, Foldager J, 2000. High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. **Domestic Animal Endocrinology**, 19(2):93-104. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0739-7240\(00\)00070-9](https://doi.org/10.1016/s0739-7240(00)00070-9).

Sguizzato ALL, Marcondes MI, Valadares Filho SC, Caton J, Neville TL, Machado FS, Pacheco MVC, Rotta PP, 2020. Body composition changes of crossbred Holstein × Gyr cows and conceptus during pregnancy. **Journal of Dairy Science**, 103(3):2773-2783. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17490>.

Short RE, Bellows RA, 1971. Relationships among weight gains, age at puberty and reproductive performance in heifers. **Journal of Animal Science**, 32(1):127-131. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1971.321127x>.

Silva HA, Moraes A, Carvalho PCF, Pontes LS, 2011. Desempenho de novilhas leiteiras em pastagens anuais de inverno sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(10):1372-1378. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000034>.

Silva VJ, Pedreira CGS, Sollenberger LE, Carvalho MSS, Tonato F, Basto DC, 2015. Seasonal herbage accumulation and nutritive value of irrigated 'Tifton 85', Jiggs, and Vaquero Bermudagrasses in response to harvest frequency. **Crop Science**, 55(6):2886-2894. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.04.0225>.

Silva FAS, Valadares Filho SC, Rennó LN, Zanetti D, Silva LFC, Godoi LA, Vieira JMP, Menezes ACB, Pucetti P, Rotta PP, 2018. Energy and protein requirements for growth of Holstein × Gyr heifers. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 102(1):82-93. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12661>.

Silva AL, DeVries TJ, Fernandes EC, Marcondes MI, 2020. *Short communication*: Development and evaluation of equations to predict growth of Holstein dairy heifers in a tropical climate. **Journal of Dairy Science**, 104(1):525-531. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18624>.

Simkins Jr. KL, Suttie JW, Baumgardt BR, 1965. Regulation of food intake in ruminants. 4. Effect of acetate, propionate, butyrate, and glucose on voluntary food intake in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, 48(12):1635-1642. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(65\)88541-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(65)88541-1).

Sinha YN, Tucker HA, 1969. Mammary development and pituitary prolactin level of heifers from birth through puberty and during the estrous cycle. **Journal of Dairy Science**, 52(4):507-512. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(69\)86595-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(69)86595-1).

Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB, 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, 70(11):3562-3577. DOI: <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>.

Solis JC, Byers FM, Schelling GT, Long CR, Greene LW, 1988. Maintenance requirements and energetic efficiency of cows of different breed types. **Journal of Animal Science**, 66(3):764-773. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1988.663764x>.

Souza VL, 2015. Parametrização e avaliação de modelos de estimativa das exigências e do desempenho de bovinos leiteiros para uso no Brasil. **Tese (Doutorado)**, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil, 80p.

Spence SA, Woodhead AC, 2000. The relationship between management practices and estimated weight for age of Friesian heifers in north-eastern New South Wales. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 40(3):357-362. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA98135>.

Stallings CC, Kroll G, Kelley JC, McGilliard ML, 1985. A computer ration evaluation program for heifers, dry cows, and lactating cows. **Journal of Dairy Science**, 68(4):1015-1019. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80923-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80923-1).

Swanson EW, 1967. Optimum growth patterns for dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, 50(2):244-252. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(67\)87400-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(67)87400-9).

Swanson EW, Poffenbarger JI, 1979. Mammary gland development of dairy heifers during their first gestation. **Journal of Dairy Science**, 62(5):702-714. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83313-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83313-5).

Tambara AAC, Sippert MR, Jauris GC, Flores JLC, Henz EL, Velho JP, 2017. Production and chemical composition of grasses and legumes cultivated in pure form, mixed or in consortium. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, 39(3):235-241. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i3.34661>.

Tamminga S, Van Straalen WM, Subnel APJ, Meijer RGM, Steg A, Wever CJG, Blok MC, 1994. The Dutch protein evaluation system: the DVE/OEB-system. **Livestock Production Science**, 40(2):139-155. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(94\)90043-4](https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)90043-4).

Tao S, Rivas RMO, Marins TN, Chen Y, Gao J, Bernard JK, 2020. Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. **Theriogenology**, 150:437-444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>.

Tedeschi LO, Fox DG, Fonseca MA, Cavalcanti LFL, 2015. Models of protein and amino acid requirements for cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 44(3):109-132. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902015000300005>.

Terry CA, Knapp RH, Edwards JW, Mies WL, Savell JW, Cross HR, 1990. Yields of by-products from different cattle types. **Journal of Animal Science**, 68(12):4200–4205. DOI: <https://doi.org/10.2527/1990.68124200x>.

Thomas JW, Moore LA, Okamoto M, Sykes JF, 1961. A study of factors affecting rate of intake of heifers fed silage. **Journal of Dairy Science**, 44(8):1471-1483. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(61\)89909-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(61)89909-8).

Tomlinson DJ, James RE, McGilliard ML, 1991. Effect of varying levels of neutral detergent fiber and total digestible nutrients on intake and growth of Holstein heifers. **Journal of Dairy Science**, 74(2):537-545. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78201-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78201-5).

Valadares Filho SC, Marcondes MI, Chizzotti ML, Paulino PVR, 2010. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados - BR-Corte. 2nd ed. Suprema Gráfica Ltda, Viçosa, MG.

Van Amburgh ME, Galton DM, Bauman DE, Everett RW, Fox DG, Chase LE, Erb HN, 1998a. Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. **Journal of Dairy Science**, 81(2):527-538. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75604-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75604-8).

Van Amburgh ME, Fox DG, Galton DM, Bauman DE, Chase LE, 1998b. Evaluation of National Research Council and Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems for predicting requirements of Holstein heifers. **Journal of Dairy Science**, 81(2):509-526. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75603-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75603-6).

Van Amburgh M, Tikofsky J, 2001. The advantages of accelerated growth in heifer rearing. **Advances in Dairy Technology**, 13, 79p.

Van Amburgh ME, 2004. Nutrient requirements and target growth of calves and heifers – Making an integrated system. **Mid-south ruminant nutrition conference**, p.57-66.

Van Amburgh ME, Collao-Saenz EA, Higgs RJ, Ross DA, Recktenwald EB, Raffrenato E, Chase LE, Overton TR, Mills JK, Foskolos A, 2015. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: updates to the model and evaluation of version 6.5. **Journal of Dairy Science**, 98(9):6361–6380. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9378>.

Van Soest PJ, 1965. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, 24(3):834–843. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1965.243834x>.

Van Soest PJ, 1994. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. New York: Cornell University Press, 476p.

Van Straten M, Shpygel NY, Friger M, 2008. Analysis of daily body weight of high-producing dairy cows in the first one hundred twenty days of lactation and associations with ovarian inactivity. **Journal of Dairy Science**, 91(9):3353-3362. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1020>.

Wang J, Li J, Wang F, Xiao J, Wang Y, Yang H, Li S, Cao Z, 2020. Heat stress on calves and heifers: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 11(1):79. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00485-8>.

Weller MMDCA, Albino RL, Marcondes MI, Silva W, Daniels KM, Campos MM, Duarte MS, Mescouto ML, Silva FF, Guimarães SEF, 2016. Effects of nutrient intake level on mammary parenchyma growth and gene expression in crossbred (Holstein × Gyr) prepubertal heifers. **Journal of Dairy Science**, 99(12):9962-9973. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11532>.

White DS, Duberstein KJ, Bohlen JLF, Bertrand JK, Nelson AH, Froetschel MA, Davidson BE, Graves WM, 2015. Allometric comparison of Georgia dairy heifers on farms and at youth shows. **Journal of Dairy Science**, 98(2):1345-1353. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8529>.

Wilkerson VA, Klopfenstein TJ, Britton RA, Stock RA, Miller PS, 1993. Metabolizable protein and amino acid requirements of growing cattle. **Journal of Animal Science**, 71(10):2777–2784. DOI: <https://doi.org/10.2527/1993.71102777x>.

Zanton GI, Heinrichs AJ, 2005. Meta-analysis to assess effect of prepubertal average daily gain on Holstein heifers on first lactation production. **Journal of Dairy Science**, 88(11):3860-3867. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73071-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73071-X).

Zanton GI, Heinrichs AJ, 2007. The effects of controlled feeding of a high-forage or high-concentrate ration on heifer growth and first-lactation milk production. **Journal of Dairy Science**, 90(7):3388-3396. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0041>.

Zanton GI, Heinrichs AJ, 2009. *Review*: Limit-feeding with altered forage-to-concentrate levels in dairy heifer diets. **The Professional Animal Scientist**, 25(4): 393-403. DOI: [https://doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)30740-3](https://doi.org/10.15232/s1080-7446(15)30740-3).

3 BODY GROWTH OF REPLACEMENT DAIRY HEIFERS FROM THREE DISTINCT GENETIC GROUPS FROM COMMERCIAL BRAZILIAN DAIRY HERDS

Marcos Busanello ^{a*}, Debora Gomes de Sousa ^a, Milaine Poczynek ^b, Filipe Araújo Canêdo Mendonça ^a, Rodrigo de Almeida ^b, Carla Maris Machado Bittar ^a, Dante Pazzanese Duarte Lanna ^a

^a Department of Animal Science, College of Agriculture “Luiz de Queiroz”/University of São Paulo – ESALQ/USP, Campus Piracicaba, São Paulo, 13418-900, Brazil

^b Department of Animal Science, Federal University of Paraná, Curitiba, Paraná, 80035-050, Brazil

*Corresponding author: Marcos Busanello. Email: marcosbusanello@hotmail.com

Abstract:

Few studies have been published on the body growth of replacement dairy heifers from Jersey (JER) and Holstein × Gyr (H×G) breeds, as most of them have focused on Holstein (HOL) heifers. In addition, HOL genetics vary significantly across countries. Our goal was to study the body growth curves of three distinct genetic groups of heifers (HOL, H×G, and JER) using data from Brazilian commercial dairy herds. Heart girth (to estimate body weight [BW]), hip height (HH), and withers height (WH) were measured. To describe the growth rates and mature body weight (MBW) of heifers, the weights and heights from the recommended age at 1st breeding (rAge1stB) and, 1st calving (rAge1stC), and body weight of lactating cows for each genetic group were collected from several herds. The rAge1stB values for HOL, H×G, and JER cattle were 15, 18, and 13 months, respectively. The rAge1stC values for HOL, H×G, and JER cattle were 24, 27, and 22 months, respectively. Data were obtained from 18 dairy farms located in four Brazilian states and analyzed using non-linear modelling. Data were collected from 2,266 animals: 610 H×G, 878 HOL, and 778 JER cattle. We observed different body growth patterns in each genetic group. Jersey cattle matured earlier than HOL and H×G, especially for BW and HH. Mature BW of the HOL, H×G, and JER cattle was 681, 607, and 440 kg, respectively. All genetic groups reached the recommended BW at rAge1stB. Average daily weight gain (ADG) from weaning to rAge1stB was 0.84, 0.53, and 0.54 g/d for HOL, H×G, and JER cattle, respectively. Average daily gain from rAge1stB to rAge1stC was 0.53, 0.42, and 0.48 g/d for HOL, H×G, and JER cattle, respectively. The hip height at rAge1stB and rAge1stC were 130 and 139 cm for HOL, 130 and 137 cm for H×G, and 114 and 124 cm for JER. Withers height at rAge1stB and rAge1stC were 125 and 134 cm, 125 and 134 cm, and 110 and 121 cm for HOL, H×G, and JER cattle, respectively. BCS at rAge1stB and rAge1stC were 3.29 and 3.61, 3.25 and 3.65 cm, and 3.14 and 3.59 cm for HOL, H×G, and JER cattle, respectively. In general, the rearing practices were adequate to reach the recommended BW at rAge1stB but below the recommended BW at rAge1stC for all genetic groups. In addition, each genetic group demonstrated different body growth patterns, especially BW.

Keywords: Holstein × Gyr, structural growth, Jersey, mature body weight

3.1 Introduction

Rearing dairy heifers is necessary for replacing culled cows and increasing herd size. However, growth rates and the management imposed on heifers can affect their future lactation performance (Zanton and Heinrichs, 2005; Machado et al., 2020). Boulton et al. (2017) suggested that all the costs involved in heifer rearing are typically paid back when they reach 1.5 to 2 lactations. However, only ~55% of dairy heifers reach the 3rd lactation (Brickell and Wathes, 2011). If we assume 25 months as mean age at first calving and 64 months as mean age at culling, a dairy cow remains as a non-productive individual (calf and heifer) for 39% of its lifespan. Consequently, the rearing phase plays a significant role in the productive life of dairy heifers.

An important factor related to both the growth and growth rate of dairy heifers is the mature body weight (MBW). Animals with lower MBW tend to have a higher rate of maturation and vice versa (Jenkins et al., 1993). The regular measurement of MBW is not a common practice at dairy farms. However, it is a crucial input for the accurate estimation of the nutritional requirements of growing heifers, and even young cows (NRC, 2001; NASEM, 2021). Some recent studies have described MBW for different dairy cattle genotypes. For example, Berry et al. (2005) evaluated three different genotypes of Holstein (HOL) cattle and found that they show different MBWs, whereas Duplessis et al. (2015) determined MBW for some dairy cattle breeds in Canada.

Currently a common practice at dairy farms is to monitor the growth using the average daily gain (ADG) of heifers based on body weight (BW) until their 1st calving. However, the most accurate practice to evaluate growth should be the measurement of height growth (from hip and withers height – HH and WH) together with BW. Some studies have been published on the body growth of dairy cattle, especially in *Bos taurus* cattle, such as HOL (Heinrichs and Hargrove, 1987; Heinrichs and Losinger, 1998; Berry et al., 2005; Duplessis et al. 2015), Jersey (JER), Guernsey (Heinrichs and Hargrove, 1991; Duplessis et al. 2015), Ayrshire, Brown Swiss, and Milking Shorthorn (Heinrichs and Hargrove, 1994; Duplessis et al. 2015). These studies measured the BW and WH. Recent studies have also been conducted on HOL, JER, and Holstein × Jersey crossbred cattle in New Zealand (Handcock et al., 2018; Handcock et al., 2019); HOL, JER, Ayrshire, and Brown Swiss cattle in Canada (Duplessis et al. 2015); and HOL cattle in Brazil (Silva et al., 2020).

Therefore, although we have some research in that regard, most of the data are from the USA and of HOL of high genetic merit. In Brazil, crossbred Holstein × Gyr (H×G) dairy cattle represent 50% of lactating cows (Martins et al., 2018) and are one of the most important genetic groups, as well as HOL and JER cattle. To date, body growth curves have not been studied for crossbred H×G cattle. Moreover, growth curve data of dairy cattle raised in tropical regions are scarce.

Thus, our objective was to estimate and compare the body growth curves of three distinct genetic groups (HOL, H×G, and JER) raised in Brazilian conditions using data from commercial dairy farms. We aimed to generate growth curves based on BW, HH, WH, and body condition score (BCS) for the heifers of these three genetic groups. We also aimed to describe the growth rates (ADG), MBW, BW, and heights for the recommended age at 1st breeding (rAge1stB) and 1st calving (rAge1stC) for each genetic group. We hypothesized that these genetic groups present different growth patterns.

3.2 Material and Methods

3.2.1 Ethical Statement

This study was approved by the Animal Care Ethics Committee of the College of Agriculture, “Luiz de Queiroz,” University of São Paulo (protocol number 2019-15).

3.2.2 Study design

An observational cross-sectional design was employed for this study, in which the cows and heifers were measured only once during the data collection period (from November 2019 to November 2020). We followed the recommendations of the STROBE statement for reporting observational studies (Sargeant and O’Connor, 2014). The dairy farms included in this study were selected using two non-probabilistic sampling methods. First, a “Quota Sampling” technique was used, where the dairy farms were classified by characteristics (dairy genetic groups; HOL, H×G, or JER), and where ~600 animals (heifers and cows) were considered to achieve the cattle genetic group quota. Second, a “Convenience or Consecutive Sampling” as described in more detail by Martínez-Mesa et al. (2016), was used to select the dairy farms to be included in the study. Dairy farms were consecutively selected according to their accessibility.

3.2.3 Farm characteristics, animals, and data collection

Data were collected from 18 dairy farms located in Paraná (PR, n = 6), São Paulo (SP, n = 6), Rio Grande do Sul (RS, n = 5), and Minas Gerais (MG, n = 1), which are among the main milk producing regions in Brazil. A total of six HOL, three HxG, six JER, and three mixed (with animals of two or three genetic groups) dairy herds were visited. Confinement (n = 13; free-stall or compost barn) was the main production system used for lactating cows, followed by semi-confinement (n = 5).

Heifer rearing systems on farms varied among pasture, semi-confinement, and confinement according to the life stage of the animals. Most of the younger heifers (from 3 to ~12 months) were reared in a confinement system (n = 11 farms), whereas the remaining heifers were reared in pasture with some supplementary feed (n = 7). Most of the older heifers (from ~12 months until 1st calving) were reared in pasture with some supplementary feed (n = 13 farms), whereas the others were reared exclusively in pasture (n = 3 farms) or in confinement systems (n = 2 farms). The feeds used and feed management adopted varied from farm to farm and season. The most commonly used pasture was *Brachiaria* (*Syn. Urochloa*), *Cynodon dactylon*, ryegrass (*Lolium multiflorum*), sorghum (*Sorghum bicolor*), wheat (*Triticum aestivum*, especially dual-purpose varieties), and white oats (*Avena sativa*). The most common conserved forages used as supplementary feed were hay and pre-dried forages (from the above-mentioned pastures and alfalfa, *Medicago sativa*), as well as corn and oat silage. Furthermore, some commercial concentrates were provided mainly for younger heifers. No specific information about the concentrate composition was provided by farmers.

The daily average milk production of these farms (excluding the mixed ones) was ~28 kg/cow/d for HOL, ~21 kg/cow/d for HxG, and ~23 kg/cow/d for JER. The HxG cattle composition was $\frac{3}{4}$ Holstein \times $\frac{1}{4}$ Gyr for most animals (>80%), and the remaining 20% showed genetic compositions such as $\frac{1}{2}$ Holstein \times $\frac{1}{2}$ Gyr, $\frac{5}{8}$ Holstein \times $\frac{3}{8}$ Gyr (known as Girolando breed), $\frac{5}{8}$ Gyr \times $\frac{3}{8}$ Holstein, and others. A total of 2266 animals were measured: 878 HOL (heifers = 490 and cows = 388), 610 HxG (heifers = 440 and cows = 170), and 778 JER cattle (heifers = 426 and cows = 352).

Each farm was visited once, and all the animals or a sample of them (when the herd was too large) were measured. This strategy enabled us to visit more dairy farms and measure more animals than measuring the same ones several times during their development to study their growth. The HH, WH, heart girth (HG), and

BCS were measured in heifers from weaning until near the 1st calving (3–30 months). For lactating cows, only the HG was measured. A random sample of cows in different lactations was collected. Preference was given to cows in the middle of lactation. Fresh (<15 days in milk) and dry cows were not measured. Birth dates were provided for all the animals.

We took care to ensure that the animals were standing on a level surface with the correct posture for height measurements. The HH was measured from the floor to the top of the animal above the ilium bone region using a stick with a metric-scale tape. The WH was measured using the same equipment but above the shoulder blade region of the heifers. The HG was measured with a weight-measuring metric tape (Bovitec®) circling the tape behind the animals' front legs. This tape has three lines with distinct BW for large (HOL), medium (Guernsey), and small (JER) dairy breeds. Thus, body weight was estimated based on the weighing metric tape. Weighing metric tape is one of the most accurate indirect methods for measuring BW in cattle (Dingwell et al., 2006). For HxG animals, an equation based on the HG was used to estimate the body weight from the study of Oliveira et al. (2013): $BW (kg) = 0.00058 \times HG^{2.6135}$, where HG is the hearth girth in cm.

3.2.4 Evaluated non-linear models and calculations

There is no consensus on which non-linear model is the best generally and it depends on the nature of the research and on what applications results will be used for (Berry et al., 2005). Therefore, five non-linear models were fitted to the data (Table 1): two logistic models, in addition to Von Bertalanffy, Gompertz, and Brody models. All of the models were fitted to the HH, WH, and BW data plotted against age in months. Moreover, the random effect of the farm was considered in all models to adjust for factors such as the effects of management, genetics, and other possible factors causing variation among farms. Data on HH and WH were modeled up to the age of 30 months for heifers that had not calved, comprising the recommended age of 22 to 24 months for average at first calving (AFC) for European cattle (Van Amburgh and Tikofsky, 2001; Pietersma et al., 2006) plus 6 months for late puberty genetic groups such as HxG heifers (Facó et al., 2005; McManus et al., 2008; Delgado et al., 2012; Ribeiro et al., 2017; Canaza-Cayo et al., 2018; Azevedo et al., 2020). BW data for all cows and heifers were used without an age limit. The best models for each genetic group and variable were selected based on the Akaike and

Bayesian information criteria (AIC and BIC, respectively). When models showed very similar AIC and BIC values, the root mean squared error (RMSE) and R^2 were verified. All fitted models can be verified in the Supplementary Material ANEXO A (Supplementary Tables S1, S2, and S3).

For the ADG calculations, we considered rAge1stB and rAge1stC at 15 and 24 months for HOL (Ettema and Santos, 2004; Do et al., 2013); rAge1stB and rAge1stC of 18 and 27 months for HxG cattle (Azevedo et al., 2020); and rAge1stB and rAge1stC of 13 and 22 months for JER cattle (Hutchison et al., 2017; Handcock et al., 2018; Boothby et al., 2020).

3.2.5 Statistical analysis

All statistical analyses were performed using the SAS® OnDemand software (SAS, 2015). First, descriptive statistics were performed for all the studied variables in general and by genetic groups to verify the biological coherence of the data using the MEANS, FREQ, and REG procedures from SAS. Next, non-linear models were fitted to the data for HH, WH, and BW by each genetic group using NLMIXED procedures from SAS. BCS was analyzed using linear regression (REG procedure). The normality, homogeneity, and independence of errors for each model were verified. The level of significance was set at a probability of 0.05.

3.3 Results

Descriptive statistics categorized by genetic group and related to the studied variables are shown in Table 2.

3.3.1 Body weight growth

The final non-linear models selected for BW growth were Von Bertalanffy, Logistic II, and Logistic I for HOL, HxG, and JER genetic groups, respectively. Coefficient A is related to the asymptote and can be interpreted as MBW. The MBWs found were 681 kg, 607 kg, and 440 kg for HOL, HxG, and JER, respectively (Table 3). The body weight maturity rate (coefficient K) was higher for JER (0.17) than for HOL (0.09) and HxG (0.09), indicating a similar body weight growth pattern for HOL and HxG cattle (Table 3). The model-predicted and observed values for BW by genetic group are shown in Figure 1. The proportions of MBW at rAge1stB and rAge1stC were also calculated. At rAge1stB, HxG reached 59% of MBW, whereas

HOL and JER reached 58% and 56% of MBW, respectively (Table 4). At rAge1stC, JER reached a higher %MBW (86%), whereas HOL and H×G reached $\leq 80\%$ of MBW (Table 4). The ADG from weaning until rAge1stB was higher for HOL (844 g/d) and similar for H×G and JER (528 and 540 g/d, respectively) (Table 4). The ADG from rAge1stB until rAge1stC was also higher for HOL (534 g/d), followed by JER (480 g/d) (Table 4). The H×G reached a lower ADG in that growth phase (418 g/d) (Table 4).

3.3.2 Hip height growth

The final non-linear models selected for HH growth were Brody for HOL and H×G, and Logistic II for JER cattle. Here, coefficient A can be interpreted as HH at 30 months of age (the data upper limit) (Table 3). The hip height maturity rate was higher for JER (0.13) than for HOL (0.09) and H×G (0.09), indicating a similar growth pattern for the HOL and H×G genetic groups (Table 3). The model-predicted and observed values for HH by genetic group are shown in Figure 2. Hip height was similar at rAge1stB for HOL and H×G (130 cm) and lower for JER (114 cm) (Table 4). The same occurred at rAge1stC where HOL and H×G reached a similar HH (139 and 137 cm, respectively), whereas JER reached lower HH (127 cm) (Table 4).

3.3.3 Withers height growth

The final non-linear model selected for WH growth was Brody for all three genetic groups. Here, coefficient A can be interpreted as WH at 30 months of age (the data upper limit) (Table 3). Withers height maturity rate was higher for HOL (0.10) and similar for H×G (0.07) and JER (0.08), indicating a higher growth rate for WH in HOL cattle (Table 3). The model-predicted and observed WH values by genetic groups are shown in Figure 3. Withers height was similar at rAge1stB for HOL and H×G (125 cm) and lower for JER (110 cm) (Table 4). The same occurred at rAge1stC, where HOL and H×G reached a similar WH (134 cm), whereas JER reached a lower WH (121 cm) (Table 4).

3.3.4 Body condition score

The BCS was evaluated with a linear regression model for the three genetic groups. Results indicate a higher BCS gain as heifers age for JER (0.050) followed by H×G (0.044), and HOL genetic groups (0.036) (Figure 4). The BCS for rAge1stB

were 3.29, 3.25, and 3.14 for HOL, HxG, and JER cattle, respectively (Table 4). The BCS for rAge1stC were 3.61, 3.65, and 3.59 for HOL, HxG, and JER cattle, respectively (Table 4).

3.4 Discussion

The goal of this research was to study the growth curves of dairy heifers from different genetic groups and to describe the most relevant growth parameters. They can be used to monitor and evaluate the growth targets of heifers in commercial dairy farms. Our results suggest different rates of development with regards to BW, HH, and WH among the three genetic groups evaluated. It was noticeable that JER cattle had a higher rate of maturation for BW and HH compared to HOL and HxG, confirming that the JER breed matures earlier than the other groups (Handcock et al., 2018). The faster maturation rate can be evidenced by the percentage of MBW (%MBW) at the same age, as we found that JER presented a higher %MBW in the same age compared to HOL and HxG cattle. Animals with higher MBW tend to be less mature at the same age than animals with lower MBW (Fitzhugh and Taylor, 1971). Furthermore, as our results indicate different non-linear equations for BW for each genetic group, each breed has a specific body growth pattern, as previously demonstrated by Handcock et al. (2018). Although there are differences in body growth patterns, some studies indicate similar ADG, dry matter intake (Silvestre et al., 2021), and maintenance requirements (Moreira, 2016) of HOL and HxG ($1/2$ Gyr \times $1/2$ Holstein) cattle.

Our data for MBW were 607 kg, 681 kg, and 440 kg for HxG, HOL, and JER, respectively. The MBW of HOL cattle was similar to data from the USA (680 kg, Olson et al., 2010; 682 kg, NRC, 2001) and Israel (687 kg, Van Straten et al., 2008). However, the values that we obtained were lower than previous data from Brazil (700 kg, data from a unique confined and high-producing herd, Poncheki et al., 2015) and Austria (734 kg, Ledinek et al., 2018). Furthermore, the values were higher than data from Denmark (654 kg, Nielsen et al., 2003) and the United Kingdom (668 kg, data including secundiparous cows, Schubert et al., 2019). Additionally, the MBW found for JER cattle was similar to Denmark (448 kg, Nielsen et al., 2003); and lower than data from the United Kingdom (483 kg, Schubert et al., 2019) and the USA (454 kg, NRC, 2001; 522 kg, Olson et al., 2010). Our results are similar to the NRC (2001) data for HOL, which is consistent with the intensive use of genetic material from the

USA in the Brazilian dairy cattle industry, despite the different climatic conditions and production systems.

The MBW found for JER was lower than some estimates found in the literature. A higher ADG of JER before rAge1stB (0.54 kg/d), which was one of our findings, could reduce their MBW. ADG until puberty can affect the age at puberty. Diets with adequate protein and with no excess energy support structural growth (bone and muscles) and BW of dairy heifers with no change in age at puberty (Moallem et al., 2004). However, high-energy and low-protein diets until puberty can trigger the release of luteinizing hormone, which mediates the entrance to puberty and slows down the lean growth (bone and muscles) (Schillo et al., 1992; Moallem et al., 2004). The recommended ages to measure the growth of heifers are especially at birth, at weaning (~60 days), and near the 1st breeding (12 to 15 months) to monitor ADG (Bazeley et al., 2016).

Compared to JER and HOL cattle, MBW data for HxG cattle are very scarce in the literature, with the exception of 510 kg for HxG ($1/2$ Gyr \times $1/2$ Holstein) cows in the study by Carvalho et al. (2018). This value does not correspond to our finding of 607 kg of MBW for HxG cattle. It is important to mention that most of the HxG animals in our study were $3/4$ Holstein \times $1/4$ Gyr (>80%). This may be the reason why they presented a higher MBW than the animals in the previous study. Based on these results, we can note that MBW is variable among herds and genetic groups. The best practice by dairy farmers should be the measurement of MBW of cows with ≥ 3 calvings and in the middle of lactation to obtain a reliable estimate of the MBW of their herds.

MBW is an important parameter for estimating the nutrient requirements for growing cattle and first and second lactation cows for diet formulation. For dairy cattle, growth objectives are based on target weights relative to the MBW (Fox et al., 1999; NRC, 2001; NASEM, 2021). For rAge1stB, the target weight of a dairy heifer is approximately 55% of the MBW, while for 1st calving the target prepartum weight is 91% of MBW (NASEM, 2021). However, these target weights are based on *Bos taurus* data (mainly HOL) and considering that dairy heifers reach puberty with 50 to 55% of MBW (Fox et al., 1999; NRC, 2001; NASEM, 2021). *Bos indicus* reaches puberty with 60%–65% of MBW (Patterson et al., 1992). Based on these target weights, ADG can be determined to achieve adequate body growth or according to the breeding goals of the dairy farm. Several studies indicated problems with a high

ADG (commonly > 1000 g/d, and with high-energy and low-protein diets) before breeding, which could result in fat accumulation in the mammary gland (Sejrsen et al., 1982; Lacasse et al., 1993; Choi et al., 1997; Daniels et al., 2009; Weller et al., 2016). Consequently, the recommended ADG to rAge1stB is ~800 g/d for HOL heifers, which would not negatively affect mammary gland development (Zanton and Heinrichs, 2005) and maximize 305-d milk yield during first lactation. Our finding of 844 g/d of ADG for HOL heifers is very close to this recommendation.

For JER heifers, we did not find a reference value for ADG in the literature; however, considering that they should reach 55% of MBW at rAge1stB, our finding of 540 g/d is adequate because it resulted in a heifer with 56% of MBW at 13 months of age. An ideal ADG to reach 55% of MBW at 1st breeding at a different age can be calculated from our predictive equations for each of the genetic groups studied.

In contrast to HOL and JER, HxG cattle still need more studies, as there is a lack of information in the literature regarding the %MBW at puberty. It is very difficult to estimate the ideal ADG to reach puberty, and there are almost no data on the effects of ADG on mammary gland development in HxG cattle. Because of the *Bos indicus* contribution to the genetic composition of this group to different degrees, these animals mature later than HOL and JER and reach puberty later with a higher % of their MBW. Thus, the rule for HxG heifers is calving at a higher age than HOL and JER, with studies indicating 1st calving at approximately 30 months (Facó et al., 2005; McManus et al., 2008; Delgado et al., 2012; Ribeiro et al., 2017; Canaza-Cayo et al., 2018). Reducing the age at 1st calving is a challenge for HxG cattle breeders. However, our results indicate that an HxG gain of ~530 g/d until 18 months reached 59% of MBW and, theoretically, could be bred. Improved rearing practices that result in an increase in ADG for HxG until rAge1stB could reduce the age at 1st breeding and 1st calving. Based on our data, HxG are growing adequately to be bred at ~18 months of age, resulting in a 1st calving around the 27 months. In contrast, the calculated ADG from rAge1stB to rAge1stC for the three genetic groups was lower than the ideal to reach prepartum weights of 91% of MBW. JER cattle were the closest (86% of MBW).

Nevertheless, heifers calving with higher %MBW produce more milk in 1st lactation because they present lower nutritional requirements for growth (Handcock et al., 2019; Van Amburgh et al., 2019). In addition, heifers mobilize fewer reserves in their 1st lactation than in the following ones (Friggens et al., 2007). However, the

relationship between ADG and future milk production depends on the genetic potential of the herd, where breeds with smaller mature size show lower milk yield in response to a higher ADG, especially during the 1st lactation (Krpálková et al., 2014). It is likely that the effect of fat accumulation in the mammary gland during development is more pronounced in smaller-mature-size cattle.

Withers and hip height are well correlated with body weight growth (Franco et al., 2017; Silva et al., 2020). Height is not commonly measured in adult animals because ~95% of mature height is reached at rAge1stC (Heinrichs and Jones, 2016). Very few studies have measured mature WH (Berry et al., 2005; Silva et al., 2020; Duplessis et al., 2015), and to our knowledge, no study has measured HH in dairy cattle. Withers height is more commonly measured than HH, despite WH being more variable due to the correct position and possible restlessness of the animal at the moment of the measurement. Some WH references for HOL cattle at 15 months were suggested to be 123 cm (Heinrichs and Hargrove, 1987); 124 cm (Heinrichs and Losinger, 1998); 127 cm (Silva et al., 2020); and 134 cm (Duplessis et al., 2015). Our results indicate that the sampled Brazilian HOL heifers have an intermediary WH size at 15 months (125 cm) compared to HOL from other countries. Regarding JER cattle, the values found in the literature for heifers were 108 cm (at 13 months) (Heinrichs and Hargrove, 1991) and 122 cm (at 15 months) (Duplessis et al., 2015), and our finding of 110 cm (at 13 months) can be indicative of medium to small WH size, compared to JER from other countries. Again, for HxG cattle, we did not find values in the literature for WH.

The HH could be a better measurement of body size than WH due to a lower variation in the measurement among animals, despite the coefficients of variation being similar for those variables in our data. Heinrichs and Hargrove (1987) found that taller heifers, considering WH at breeding, presented higher milk production in 1st lactation. Taller animals can also be heavier animals because of the high and positive relationship between weight and height. Although heavier cows can be slightly more profitable than lighter cows, very heavy cows increase feeding costs. This means that it is ideal to maintain an intermediary mature body weight in the selection criteria for each farm (Pérez-Cabral et al., 2006). In addition, heavier cows are more prone to have a higher incidence of metabolic disorders and infectious diseases around parturition (Williams et al., 2009; Roche et al., 2013), which increases the culling risk (Chiumia et al., 2013).

In addition to body size measures, an estimation of body fat content, by means of the BCS, is important to be evaluated along with the growth of cattle (Abeni et al., 2012; Van Amburgh et al., 2019). However, more attention is given to the BCS at calving and during the lactation. Heinrichs and Jones (2016) recommended a BCS of 3.50 for heifers for rAge1stC. Otherwise, Roche et al. (2013) suggested BCS of 3.25 for dairy heifers and 3.00 for cows around calving to minimize metabolic diseases related to the peripartum (ketosis, fatty liver, and milk fever). Our results indicate adequate BCS for rAge1stC (around 3.60) for the three genetic groups. The BCS for heifers for rAge1stB is higher in our findings than the recommendation of 3.00 from Heinrichs and Jones (2016). Care should be given to the nutrition of dairy heifers before the rAge1stB because ADG values higher than the recommended can reduce the likelihood of conception and maintenance of pregnancy of heifers (Abeni et al., 2012).

Few studies on dairy heifers, particularly JER cattle, are included in the Dairy NRC (2001) publication. The recent document published by NASEM (2021) also, practically, does not include heifer data from genetic groups other than HOL. However, in recent years, studies on HxG heifers have been published regarding dry matter intake (Oliveira and Ferreira, 2016; Busanello et al., 2021), growth requirements (Castro et al., 2020), and mammary gland development (Albino et al., 2017; Silva et al., 2018). In addition, recent research on HOL cattle can be found in terms of dry matter intake (Hoffman et al., 2008), growth requirements (Albino et al., 2015; Jiao et al., 2015), and body growth (Heinrichs et al., 2017; Silva et al., 2020). Few studies have been conducted on JER cattle for growth curves and target BW and WH along with their growth (Duplessis et al., 2015; Handcock et al., 2018). It is evident that more research focused on rearing dairy heifers is needed, especially for genetic groups other than HOL cattle, which have received the most attention from researchers.

Finally, our study has some limitations that should be addressed in future research. We chose to sample each animal only once on each farm, increasing the number of measured animals and farms, but others opted to monitor the same animals along with their growth (Berry et al., 2005). It is difficult to decide which would be the most appropriate approach. In our study, we measured more animals, but the growth curve of the same animal is not known. Thus, our growth curve represents the growth curve of the farms' heifers. In this way, our dataset contained

only repeated measures for dairy farms and not for animals, which resulted in only one additional effect to be modeled on the non-linear models. This results in a simpler model. This effect was estimated to be random because repeated measure analysis still had limitations when performed on non-linear models, as in the case of SAS NLIN and NLMIXED procedures. Furthermore, the number of days in milk (DIM) and milk yield of the cows were not recorded, even though DIM has a well-known impact on the BW of lactating cows (Van Straten et al., 2008; Poncheki et al., 2015). However, non-linear models (SAS NLIN and NLMIXED) do not allow the inclusion of covariates in the model. Moreover, part of the weight of pregnant cows and heifers is due to the conceptus and other tissues related to pregnancy, but no adjustments were made considering the conceptus weight in our data. However, we believe that our data adequately represent our tropical and subtropical rearing conditions and genetics because different farms and regions were sampled. However, some sources of bias present on each farm, such as genetics, management, nutrition, and others, are difficult to control because the heifer rearing system changes according to age within farms, and we measured each one in a specific period of their growth.

3.5 Conclusion

We demonstrated different body growth patterns for each genetic group studied, especially BW. Adequate ADG is reached from weaning until rAge1stB; however, from rAge1stB until rAge1stC, the ADG is below than the ideal for all three genetic groups. Height measurements, together with BW, (withers and hip) are strongly recommended to evaluate heifers' body growth along with their life.

Acknowledgements

This study was financed in part by the Brazilian Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) – Finance Code 001. We are also grateful to the São Paulo Research Foundation (FAPESP), São Paulo, Brazil, for the partial research funding and scholarships to Marcos Busanello (FAPESP Process 2019/02307-2), and to the CNPq fellowship to Dante Pazzanese Duarte Lanna for research productivity Level II-B.

References

- Abeni, F., L. Calamari, L. Stefanini, and G. Pirlo. 2012. Effect of average daily gain on body size, metabolism, and milk production of Italian Holstein heifers raised on two different planes of nutrition and calving at two different ages. *Livest. Sci.* 149:7–17. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.06.003>.
- Albino, R. L., M. I. Marcondes, R. M. Akers, E. Detmann, B. C. Carvalho, and T. E. Silva. 2015. Mammary gland development of dairy heifers fed diets containing increasing levels of metabolisable protein: metabolisable energy. *J. Dairy Res.* 82:113–120. <https://doi.org/10.1017/s0022029914000697>.
- Albino, R. L., A. L. Sguizzato, K. M. Daniels, M. S. Duarte, M. M. Lopes, S. E. F. Guimarães, M. M. D. C. A. Weller, and M. I. Marcondes. 2017. Performance strategies affect mammary gland development in prepubertal heifers. *J. Dairy Sci.* 100:8033–8042. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12489>.
- Azevedo, R. A., A. M. Teixeira, C. M. M. Bittar, L. F. Martins, L. C. M. S. Antunes, J. A. Zambrano, J. E. P. Santos, P. M. Tiveron, P. P. Rotta, R. M. Meneses, R. O. S. Silva, S. G. Coelho, and V. Gomes. 2020. *Alta Cria.* 2020. <https://doi.org/10.26626/978-65-5668-018-7.2020B0001>.
- Bazeley, K. J., D. C. Barrett, P. D. Williams, and K. K. Reyher. 2016. Measuring the growth rate of UK dairy heifers to improve future productivity. *Vet. J.* 212:9–14. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.10.043>.
- Berry, D. P., B. Horan, and P. Dillon. 2005. Comparison of growth curves of three strains of female dairy cattle. *Animal Sci.* 80:151–160. <https://doi.org/10.1079/ASC41790151>.
- Boothby, F., D. Grove-White, G. Oikonomou, and J. W. H. Oultram. 2020. Age at first calving in UK Jersey cattle and its associations with first lactation 305-day milk yield, lifetime daily milk yield, calving interval and survival to second lactation. *Vet. Record* 187:491. <https://doi.org/10.1136/vr.105993>.
- Boulton, A. C., J. Rushton, and D. C. Wathes. 2017. An empirical analysis of the cost of rearing dairy heifers from birth to first calving and the time taken to repay these costs. *Animal* 11:1372–1380. <https://doi.org/10.1017/s1751731117000064>.
- Brickell, J. S., and D. C. Wathes. 2011. A descriptive study of the survival of Holstein-Friesian heifers through to third calving on English dairy farms. *J. Dairy Sci.* 94:1831–1838. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3710>.
- Busanello, M., D. G. Sousa, F. A. C. Mendonça, V. L. Daley, R. Almeida, C. M. M. Bittar, and D. P. D. Lanna. 2021. Feed intake of growing dairy heifers raised under tropical conditions: A model evaluation using meta-analysis. *Animals.* 11:3181. <https://doi.org/10.3390/ani11113181>.
- Canaza-Cayo, A. W., P. S. Lopes, J. A. Cobuci, M. F. Martins, and M. V. G. B. Silva. 2018. Genetic parameters of milk production and reproduction traits of Girolando cattle in Brazil. *Ital. J. Anim. Sci.* 17:22–30. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1335180>.
- Carvalho, P. H. A., A. L. C. C. Borges, R. R. Silva, H. F. Lage, P. A. D. Vivenza, J. R. M. Ruas, E. J. Facury Filho, R. L. A. Palhano, L. C. Gonçalves, I. Borges, E. O. S. Saliba, D. G. Jayme, and A. Ú. Carvalho. 2018. Energy metabolism and partition of lactating Zebu and crossbred Zebu cows in different planes of nutrition. *Plos One* 13:e0202088. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202088>.

- Castro, M. M. D., R. L. Albino, J. P. P. Rodrigues, A. L. L. Sguizzato, M. M. F. Santos, P. P. Rotta, J. S. Caton, L. E. F. D. Moraes, F. F. Silva, and M. I. Marcondes. 2020. Energy and protein requirements of Holstein × Gyr crossbred heifers. *Animal* 1–10. <https://doi.org/10.1017/s1751731120000622>.
- Chiumia, D., M. G. G. Chagunda, A. I. Macrae, and D. J. Roberts. 2013. Predisposing factors for involuntary culling in Holstein–Friesian dairy cows. *J. Dairy Res.* 80:45–50. <https://doi.org/10.1017/S002202991200060X>.
- Choi, Y. J., I. K. Han, J. H. Woo, H. J. Lee, K. Jang, K. H. Myung, and Y. S. Kim. 1997. Compensatory growth in dairy heifers: The effect of a compensatory growth pattern on growth rate and lactation performance. *J. Dairy Sci.* 80:519–524. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)75965-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75965-4).
- Daniels, K. M., M. L. McGilliard, M. J. Meyer, M. E. Van Amburgh, A. V. Capuco, and R. M. Akers. 2009. Effects of body weight and nutrition on histological mammary development in Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 92:499–505. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1007>.
- Delgado, P. A. M., L. G. R. Calderón, A. M. Aldana, and C. E. L. Penagos. 2012. Desempeño productivo y reproductivo de vacas F1 Holstein × Gyr en clima cálido colombiano. *Vet. Zootec.* 6:17–23.
- Dingwell, R. T., M. M. Wallace, C. J. McLaren, C. F. Leslie, and K. E. Leslie. 2006. An Evaluation of two indirect methods of estimating body weight in Holstein calves and heifers. *J. Dairy Sci.* 89:3992–3998. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72442-0](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72442-0).
- Do, C., N. Wasana, K. Cho, Y. Choi, T. Choi, B. Park, and D. Lee. 2013. The effect of age at first calving and calving interval on productive life and lifetime profit in Korean Holsteins. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 26:1511–1517. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2013.13105>.
- Duplessis, M., R. I. Cue, D. E. Santschi, D. M. Lefebvre, and R. Lacroix. 2015. Weight, height, and relative-reliability indicators as a management tool for reducing age at first breeding and calving of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 98:2063–2073. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8279>.
- Ettema, J. F., and J. E. P. Santos. 2004. Impact of age at calving on lactation, reproduction, health, and income in first-parity Holsteins on commercial farms. *J. Dairy Sci.* 87:2730–2742. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(04\)73400-1](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)73400-1).
- Facó, O., R. N. B. Lôbo, R. Martins Filho, and F. A. M. Lima. 2005. Idade ao primeiro parto e intervalo de partos de cinco grupos genéticos Holandês x Gir no Brasil. *R. Bras. Zootec.* 34:1920–1926. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982005000600016>.
- Fitzhugh, H. A., and S. C. S. Taylor. 1971. Genetic analysis of degree of maturity. *J. Anim. Sci.* 33:717–725. <https://doi.org/10.2527/jas1971.334717x>.
- Fox, D. G., M. E. Van Amburgh, and T. P. Tylutki. 1999. Predicting requirements for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 82:1968–1977. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75433-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75433-0).
- Franco, M. O., M. I. Marcondes, J. M. S. Campos, D. R. Freitas, E. Detmann, and S. C. Valadares Filho. 2017. Evaluation of body weight prediction equations in growing heifers. *Acta Sci. Anim. Sci.* 39:201–206. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i2.33118>.

- Friggens, N. C., P. Berg, P. Theilgaard, I. R. Korsgaard, K. L. Ingvarsten, P. Løvendahl, and J. Jensen. 2007. Breed and parity effects on energy balance profiles through lactation: evidence of genetically driven body energy change. *J. Dairy Sci.* 90:5291–5305. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0173>.
- Handcock, R. C., N. Lopez-Villalobos, L. R. McNaughton, P. J. Back, G. R. Edwards, and R. E. Hickson. 2018. Live weight and growth of Holstein-Friesian, Jersey and crossbred dairy heifers in New Zealand. *New Zeal. J. Agr. Res.* 62:173–183. <https://doi.org/10.1080/00288233.2018.1465984>.
- Handcock, R. C., N. Lopez-Villalobos, L. R. McNaughton, P. J. Back, G. R. Edwards, and R. E. Hickson. 2019. Positive relationships between body weight of dairy heifers and their first-lactation and accumulated three-parity lactation production. *J. Dairy Sci.* 102:4577–4589. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15229>.
- Heinrichs, A. J., and G. L. Hargrove. 1987. Standards of weight and height for Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 70:653–660. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80055-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80055-3).
- Heinrichs, A. J., and G. L. Hargrove. 1991. Standards of weight and height for Guernsey and Jersey heifers. *J. Dairy Sci.* 74:1684–1689. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78331-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78331-8).
- Heinrichs, A. J., and G. L. Hargrove. 1994. Standards of weight and height for Ayrshire, Brown Swiss, and Milking Shorthorn heifers. *J. Dairy Sci.* 77:1676–1681. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(94\)77109-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(94)77109-5).
- Heinrichs, A. J., and W. C. Losinger. 1998. Growth of Holstein dairy heifers in the United States. *J. Anim. Sci.* 76:1254–1260. <https://doi.org/10.2527/1998.7651254x>.
- Heinrichs, A. J., and C. M. Jones. 2016. Monitoring dairy heifer growth. PennState Extension. Penn State College of Agricultural Sciences. 5p.
- Heinrichs, A. J., B. S. Heinrichs, C. M. Jones, P. S. Erickson, K. F. Kalscheur, T. D. Nennich, B. J. Heins, and F. C. Cardoso. 2017. Short communication: Verifying Holstein heifer heart girth to body weight prediction equations. *J. Dairy Sci.* 100:8451–8454. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12496>.
- Hoffman, P. C., K. A. Weigel, and R. M. Wernberg. 2008. Evaluation of equations to predict dry matter intake of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 91:3699–3709. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0644>.
- Hutchison, J. L., P. M. VanRaden, D. J. Null, J. B. Cole, and D. M. Bickhart. 2017. Genomic evaluation of age at first calving. *J. Dairy Sci.* 100:6853–6861. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12060>.
- Jenkins, T. G., M. Kaps, L. V. Cundiff, and C. L. Ferrell. 1993. Estimates of mature weights and maturing rates for breed crosses. Beef Research Program Progress Report, No. 4, Part 2. <https://digitalcommons.unl.edu/hruskareports/331/>
- Jiao, H. P., T. Yan, D. A. Wills, and D. A. McDowell. 2015. Maintenance energy requirements of young Holstein cattle from calorimetric measurements at 6, 12, 18, and 22 months of age. *Livest. Sci.* 178:150-157. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.031>.
- Krpálková, L., V. E. Cabrera, J. Kvapilík, J. Burdych, and P. Crump. 2014. Associations between age at first calving, rearing average daily weight gain, herd

milk yield and dairy herd production, reproduction, and profitability. *J. Dairy Sci.* 97:6573–6582. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7497>.

Lacasse, P., E. Block, L. A. Guilbault, and D. Petitclerc. 1993. Effect of plane of nutrition of dairy heifers before and during gestation on milk production, reproduction, and health. *J. Dairy Sci.* 76:3420–3427. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77680-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77680-8).

Ledinek, M., L. Gruber, F. Steininger, K. Zottl, M. Royer, K. Krimberger, M. Mayerhofer, C. Egger-Danner, and B. Fuerst-Waltl. 2018. Analysis of lactating cows in commercial Austrian dairy farms: Diet composition, and influence of genotype, parity and stage of lactation on nutrient in-take, body weight and body condition score. *Ital. J. Anim. Sci.* 18:202-214. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1504632>.

Machado, A. F., S. E. F. Guimarães, J. D. Guimarães, G. M. Santos, A. L. Silva, Y. F. R. S. Silva, D. S. L. Netto, P. V. F. Correa, and M. I. Marcondes. 2020. Effect of protein supplement level on the productive and reproductive parameters of replacement heifers managed in intensive grazing systems. *Plos One* 15:239–786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239786>.

Martínez-Mesa, J., D. A. González-Chica, R. P. Duquia, R. R. Bonamigo, and J. L. Bastos. 2016. Sampling: How to select participants in my research study? *An. Bras. Dermatol.* 91:326–330. <https://doi.org/10.1590/abd1806-4841.20165254>.

Martins, C. M., R. Zoccal, N. Rentero, and A. Albuquerque. 2018. Indicadores, tendências e oportunidades para quem vive no setor leiteiro. *Anuário leite 2018*. Embrapa Gado de Leite, São Paulo, 116p.

McManus, C., R. A. Teixeira, L. T. Dias, H. Louvandini, and E. M. B. Oliveira. 2008. Production and reproduction traits in Holstein and Gyr crossbred cows in the Central Plateau, Brazil. *R. Bras. Zootec.* 37:819–823. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000500006>.

Moallem, U., G. E. Dahl, E. K. Duffey, A. V. Capuco, and R. A. Erdman. 2004. Bovine somatotropin and rumen-undegradable protein effects on skeletal growth in prepubertal dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 87:3881–3888. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(04\)73527-4](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)73527-4).

Moreira, T. S. 2016. Energy requirements, energetic partition and methane emission from growing Holstein, Gyr and F1 Holstein-Gyr dairy heifers. Doctor's thesis, University of São Paulo, Pirassununga, SP, Brazil.

NASEM, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press.

Nielsen, H. M., N. C. Friggens, P. Løvendahl, J. Jensen, and K. L. Ingvarsen. 2003. Influence of breed, parity, and stage of lactation on lactational performance and relationship between body fatness and liveweight. *Livest. Prod. Sci.* 79:119–133. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00146-X).

NRC – National Research Council. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed. Washington: National Academy Press, 2001. 381p.

Oliveira, A. S., D. C. Abreu, M. A. Fonseca, and P. M. B. Antoniassi. 2013. Short communication: Development and evaluation of predictive models of body weight for

- crossbred Holstein-Zebu dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 96:6697–6702. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-6988>.
- Oliveira, A. S., and V. B. Ferreira. 2016. Prediction of intake in growing dairy heifers under tropical conditions. *J. Dairy Sci.* 99:1103–1110. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9638>.
- Olson, K. M., B. G. Cassell, and M. D. Hanigan. 2010. Energy balance in first-lactation Holstein, Jersey, and reciprocal F1 crossbred cows in a planned crossbreeding experiment. *J. Dairy Sci.* 93:4374–4385. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3195>.
- Patterson, D. J., R. C. Perry, G. H. Kiracofe, R. A. Bellows, R. B. Staigmiller, and L. R. Corah. 1992. Management considerations in heifer development and puberty. *J. Anim. Sci.* 70:4018–4035. <https://doi.org/10.2527/1992.70124018x>.
- Pérez-Cabal, M. A., C. García, O. González-Recio, and R. Alenda. 2006. Genetic and phenotypic relationships among locomotion type traits, profit, production, longevity, and fertility in Spanish dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1776–1783. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72246-9](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72246-9).
- Pietersma, D., R. Lacroix, D. Lefebvre, R. I. Cue, and K. M. Wade. 2006. Trends in growth and age at first calving for Holstein and Ayrshire heifers in Quebec. *Can. J. Anim. Sci.* 86:325–336. <https://doi.org/10.4141/A05-080>.
- Poncheki, J. K., M. L. S. Canha, S. L. Viechnieski, and R. Almeida. 2015. Analysis of daily body weight of dairy cows in early lactation and associations with productive and reproductive performance. *R. Bras. Zootec.*, 44:187–192. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902015000500004>.
- Ribeiro, L. S., T. J. F. Goes, R. A. Torres Filho, C. V. Araújo, R. B. Reis, and H. M. Saturnino. 2017. Desempenhos produtivo e reprodutivo de um rebanho F1 Holandês x Gir em Minas Gerais. *R. Bras. Zootec.* 69:1624–1634. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9076>.
- Roche, J. R., J. K. Kay, N. C. Friggens, J. J. Loor, and D. P. Berry. 2013. Assessing and managing body condition score for the prevention of metabolic disease in dairy cows. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 29:323–336. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.03.003>.
- Sargeant, J. M., and A. M. O'Connor. 2014. Issues of reporting in observational studies in veterinary medicine. *Prev. Vet. Med.* 113:323–330. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.09.004>.
- SAS Institute Inc., 2015. SAS® OnDemand for Academics: User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. <https://odamid-usw2.oda.sas.com/SASStudio/>
- Sejrsen, K., J. T. Huber, H. A. Tucker, and R. M. Akers. 1982. Influence of nutrition of mammary development in pre- and postpubertal heifers. *J. Dairy Sci.* 65:793–800. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(82\)82268-6](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(82)82268-6).
- Schubert, H. E., S. Wood, K. K. Reyher, and H. L. Mills. 2019. Data-driven approach to using individual cattle weights to estimate mean adult dairy cattle weight. *Vet. Rec.*, 185:540. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.105471>.
- Schillo, K. K., J. B. Hall, and S. M. Hileman. 1992. Effects of nutrition and season on the onset of puberty in the beef heifer. *J. Anim. Sci.* 70:3994–4005. <https://doi.org/10.2527/1992.70123994x>.

- Silva, A. L., E. Detmann, J. Dijkstra, A. M. Pedroso, L. H. P. Silva, A. F. Machado, F. C. Sousa, G. B. Santos, and M. I. Marcondes. 2018. Effects of rumen-undegradable protein on intake, performance, and mammary gland development in prepubertal and pubertal dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 101:5991–6001. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13230>.
- Silva, A. L., T. J. DeVries, E. C. Fernandes, and M. I. Marcondes. 2020. Short communication: Development and evaluation of equations to predict growth of Holstein dairy heifers in a tropical climate. *J. Dairy Sci.* 104:525–531. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18624>.
- Silvestre, T., M. A. Lima, G. B. Santos, L. G. R. Pereira, F. S. Machado, T. R. Tomich, M. M. Campos, A. Jonker, P. H. M. Rodrigues, V. L. N. Brandão, and M. I. Marcondes. 2021. Effects of feeding level and breed composition on intake, digestibility, and methane emissions of dairy heifers. *Animals.* 11:586. <https://doi.org/10.3390/ani11030586>.
- Van Amburgh, M. E., and J. Tikofsky. 2001. The advantages of accelerated growth in heifer rearing. *Advances in Dairy Technology*, 13, 79p.
- Van Amburgh, M. E., F. Soberon, M. J. Meyer, and R. A. Molano. 2019. Symposium review: Integration of postweaning nutrient requirements and supply with composition of growth and mammary development in modern dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 102:3692–3705. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15270>.
- Van Straten, M., N. Y. Shpygel, and M. Friger. 2008. Analysis of daily body weight of high-producing dairy cows in the first one hundred twenty days of lactation and associations with ovarian inactivity. *J. Dairy Sci.* 91:3353-3362. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1020>.
- Weller, M. M. D. C. A., R. L. Albino, M. I. Marcondes, W. Silva, K. M. Daniels, M. M. Campos, M. S. Duarte, M. L. Mescouto, F. F. Silva, and S. E. F. Guimarães. 2016. Effects of nutrient intake level on mammary parenchyma growth and gene expression in crossbred (Holstein × Gyr) prepubertal heifers. *J. Dairy Sci.* 99:9962–9973. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11532>.
- Williams, E. J., H. Gilmore, F. Carter, M. A. Crowe, A. Evans, P. Lonergan, M. Diskin, C. Ferris, F. Young, and R. Law. 2009. Live weight at calving as a predictor of postpartum energy status and uterine infection in dairy cows. *Reprod. Domest. Anim.* 44:131.
- Zanton, G. I., and A. J. Heinrichs. 2005. Meta-analysis to assess effect of prepubertal average daily gain on Holstein heifers on first lactation production. *J. Dairy Sci.* 88:3860–3867. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73071-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73071-X).

Table 1. Non-linear models fitted to body weight (kg), hip height (cm), and withers height (cm) for Holstein, Holstein x Gyr, and Jersey cattle regarding age (months).

Models	Equations*
Logistic I	$y = (A/(1 + B \times e^{(-k \times Age)})) + \delta + \varepsilon$
Logistic II	$y = A \times (1 + e^{(-k \times Age)})^{-m} + \delta + \varepsilon$
Von Bertalanffy	$y = A \times (1 - B \times e^{(-k \times Age)})^3 + \delta + \varepsilon$
Gompertz	$y = A \times e^{(-B \times e^{(-k \times Age)})} + \delta + \varepsilon$
Brody	$y = A \times (1 - B \times e^{(-k \times Age)}) + \delta + \varepsilon$

*Where: y = hip height, withers height, or body weight (kg); A = asymptote (mature body weight or heights around first calving); B = coefficient of integration; k = maturation rate; m = parameter that shapes the curve; δ = random effect of dairy farm; and ε = random error.

Table 2. Descriptive statistics for variables of body weight (kg), heart girth (cm), hip height (cm), withers height (cm), age (months), body condition score, and lactation number regarding heifers and cows and categorized by genetic group.

Category	Genetic group	N ⁰ Animals	Mean	Median	Minimum	Maximum	STD ¹	CV ²
Heifers	Body weight (kg)							
	Holstein	490	347	285	127	723	163	47
	HxG ³	440	302	282	86	614	124	41
	Jersey	426	268	278	74	488	113	42
	Heart girth (cm)							
	Holstein	490	159	151	122	217	28	18
	HxG	440	151	150	95	202	24	16
	Jersey	426	146	151	94	190	25	17
	Hip height (cm)							
	Holstein	490	125	124	92	155	13	11
	HxG	440	121	121	85	149	13	11
	Jersey	426	113	117	80	137	12	11
	Withers height (cm)							
	Holstein	490	118	117	90	148	13	11
	HxG	440	115	116	83	143	14	12
	Jersey	426	109	112	78	135	12	11
	Body Condition Score (1 – 5)							
	Holstein	490	3.19	3.00	2.25	4.00	0.40	11
HxG	440	3.09	3.00	2.25	4.50	0.50	16	
Jersey	426	3.20	3.25	2.25	4.25	0.42	13	
Age (months)								
Holstein	490	12.2	9.4	3.5	30.7	6.9	57	
HxG	440	14.3	12.9	3.2	37.4	7.9	55	
Jersey	426	14.1	14.5	3.1	29.1	6.3	45	
Cows	Body weight (kg)							
	Holstein	388	665	666	462	831	78	12
	HxG	170	580	575	415	882	87	15
	Jersey	352	439	444	315	548	42	10
	Heart girth (cm)							
	Holstein	388	209	209	181	236	11	5
	HxG	170	197	196	172	232	11	6
	Jersey	352	181	181	159	202	8	4
	Number of lactations							
	Holstein	388	2.2	2	1	7	1	57
	HxG	170	2.8	2	1	10	2	72
	Jersey	352	2.2	2	1	8	1	66
Age (months)								
Holstein	388	50.7	46.7	21.5	131.6	20.7	41	
HxG	170	59.9	48.5	25.5	165.1	28.9	48	
Jersey	352	49.1	42.5	18	155.6	22.5	46	

¹Standard deviation; ²Coefficient of variation (%); ³Holstein x Gyr

Table 3. Non-linear selected models fitted to body weight (kg), hip height (cm), and withers height (cm) for Holstein, Holstein × Gyr, and Jersey cattle regarding age (months).

Variable	Cattle	Model	Parameters ¹			Fit statistics			
			A	B ²	K	AIC	BIC	R ²	RMSE
Body weight (kg)	Holstein	Von Bertalanffy	681.17	0.6494	0.09154	9505.5	9506.5	0.8876	68.974
	Holstein Gyr	× Logistic II	607.33	2.8938	0.08986	6552.4	6549.3	0.9018	53.226
	Jersey	Logistic I	439.88	7.503	0.1728	7669.8	7670.8	0.8981	39.172
Hip height (cm)	Holstein	Brody	145.47	0.4481	0.0966	2890.8	2891.8	0.8185	5.591
	Holstein Gyr	× Brody	142.31	0.4246	0.08834	2544.3	2541.2	0.8564	4.921
	Jersey	Logistic II	129.64	0.7365	0.1297	2371.3	2371.7	0.8596	4.545
Withers height (cm)	Holstein	Brody	140.78	0.46	0.09512	2880.1	2881.1	0.8438	5.138
	Holstein Gyr	× Brody	144.17	0.4456	0.06769	2529.4	2526.3	0.8675	4.949
	Jersey	Brody	130.55	0.4429	0.08142	2320.3	2320.7	0.8584	4.537

¹A – asymptote; B – integration coefficient; K – rate of maturation; ²it is the value of parameter B for all the models except for the logistic II where it is the value of the parameter *m* of that model

Table 4. Target body weight (kg), average daily gain (kg), hip height (cm), withers height (cm), and body condition score recommended for each genetic group regarding at the ages of 1st breeding and 1st calving.

Variables	Holstein	HxG ¹	Jersey
MBW (kg)	681	607	440
At 1st breeding ²			
BW (kg)	397	360	245
%MBW (%)	58	59	56
ADG until at 1st breeding (kg/d)	0.844	0.528	0.540
HH (cm)	130	130	114
WH (cm)	125	125	110
BCS (1 – 5)	3.29	3.25	3.14
At 1st calving ³			
BW (kg)	544	475	377
%MBW (%)	80	78	86
ADG from 1st breeding to 1st calving (kg/d)	0.534	0.418	0.480
HH (cm)	139	137	124
WH (cm)	134	134	121
BCS (1 – 5)	3.61	3.65	3.59

¹HxG – Holstein × Gyr; ²15, 17, and 13 months were considered the recommended ages for 1st breeding for Holstein, Holstein × Gyr, and Jersey cattle, respectively; ³24, 27, and 22 months were considered the recommended ages for 1st calving for Holstein, Holstein × Gyr, and Jersey cattle, respectively; MBW: mature body weight; BW: body weight; ADG: average daily gain; HH: hip height; WH: withers height; BCS: body condition score

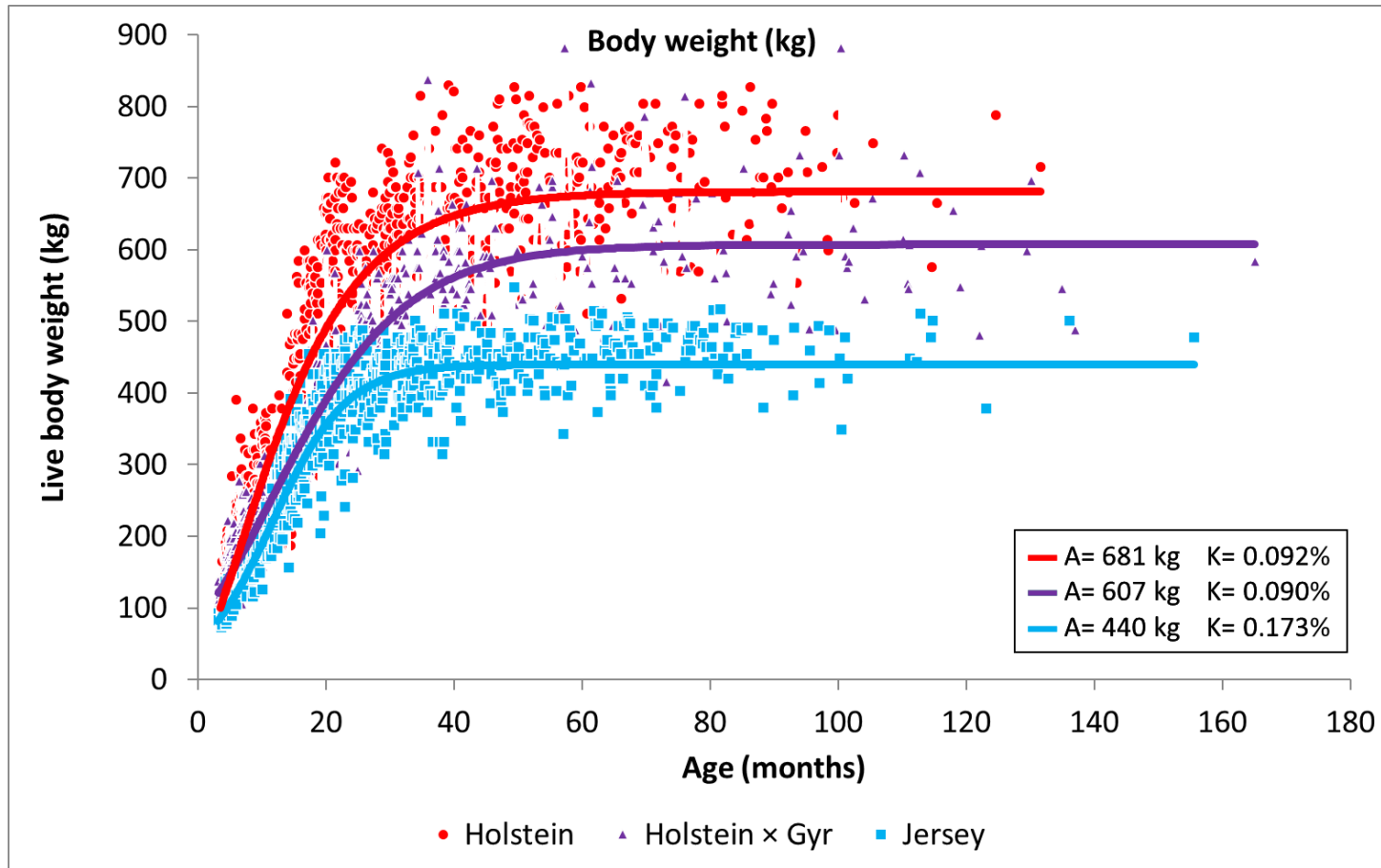


Figure 1. Live body weight (kg) growth curves for Holstein, Holstein x Gyr, and Jersey genetic groups regarding age (months). Holstein – $y = 681.17 \times (1 - 0.6494 \times e^{(-0.09154 \times Age)})^3$, $R^2 = 0.8876$, RMSE = 68.974; Holstein x Gyr – $y = 607.33 \times (1 + e^{(-0.08986 \times Age)})^{-2.8938}$, $R^2 = 0.9018$, RMSE = 53.226; Jersey – $y = 439.88 / (1 + 7.503 \times e^{(-0.1728 \times Age)})$, $R^2 = 0.8981$, RMSE = 39.172. Parameter A indicates the mature body weight (kg), and parameter K indicates the maturity rate (%).

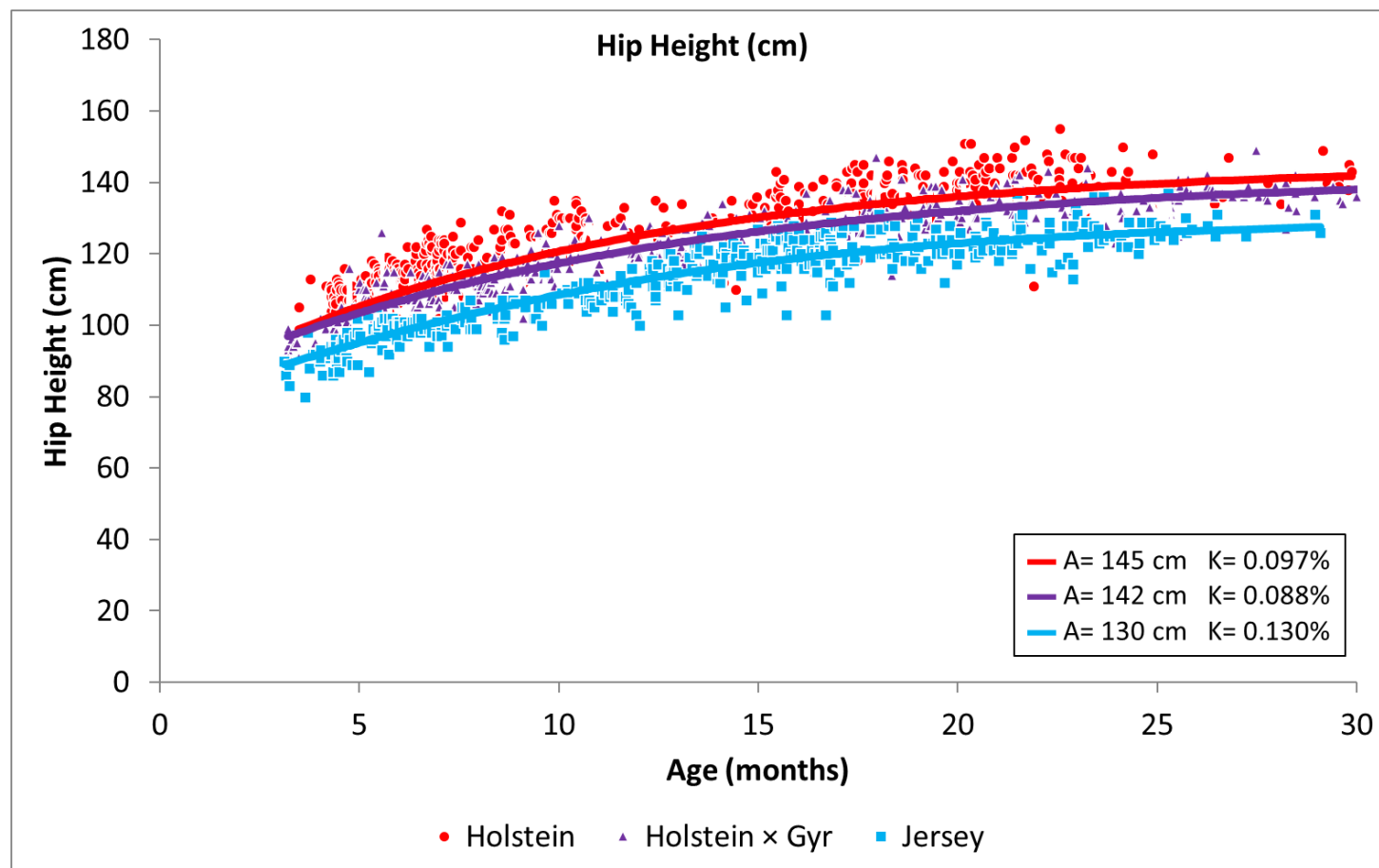


Figure 2. Hip height (cm) growth curves for Holstein, Holstein x Gyr, and Jersey genetic groups regarding age (months). Holstein – $y = 145.47 \times (1 - 0.4481 \times e^{(-0.0966 \times Age)})$, $R^2 = 0.8185$, $RMSE = 5.591$; Holstein x Gyr – $y = 142.31 \times (1 - 0.4246 \times e^{(-0.08834 \times Age)})$, $R^2 = 0.8564$, $RMSE = 4.921$; Jersey – $y = 129.64 \times (1 + e^{(-0.1297 \times Age)})^{-0.7365}$, $R^2 = 0.8596$, $RMSE = 4.545$. Parameter A indicates the hip height (cm) at 30 months of age and parameter K indicates the maturity rate (%).

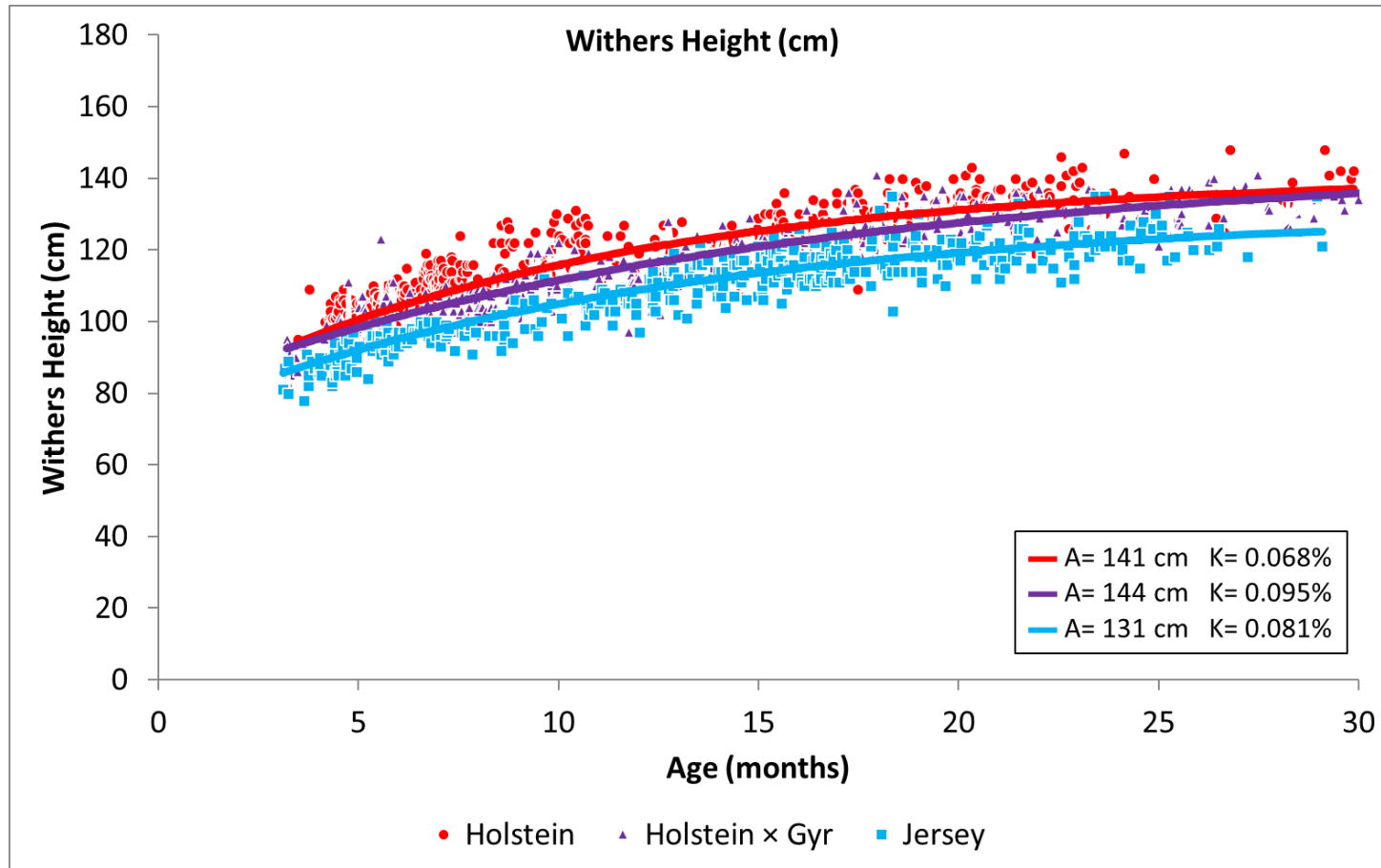


Figure 3. Withers height (cm) growth curves for Holstein, Holstein x Gyr, and Jersey genetic groups regarding age (months). Holstein – $y = 140.78 \times (1 - 0.46 \times e^{(-0.09512 \times Age)})$, $R^2 = 0.8438$, RMSE = 5.138; Holstein x Gyr – $y = 144.17 \times (1 - 0.4456 \times e^{(-0.06769 \times Age)})$, $R^2 = 0.8675$, RMSE = 4.949; Jersey – $y = 130.55 \times (1 - 0.4429 \times e^{(-0.08142 \times Age)})$, $R^2 = 0.8596$, RMSE = 4.545. Parameter A indicates the withers height (cm) at 30 months of age and parameter K indicates the maturity rate (%).

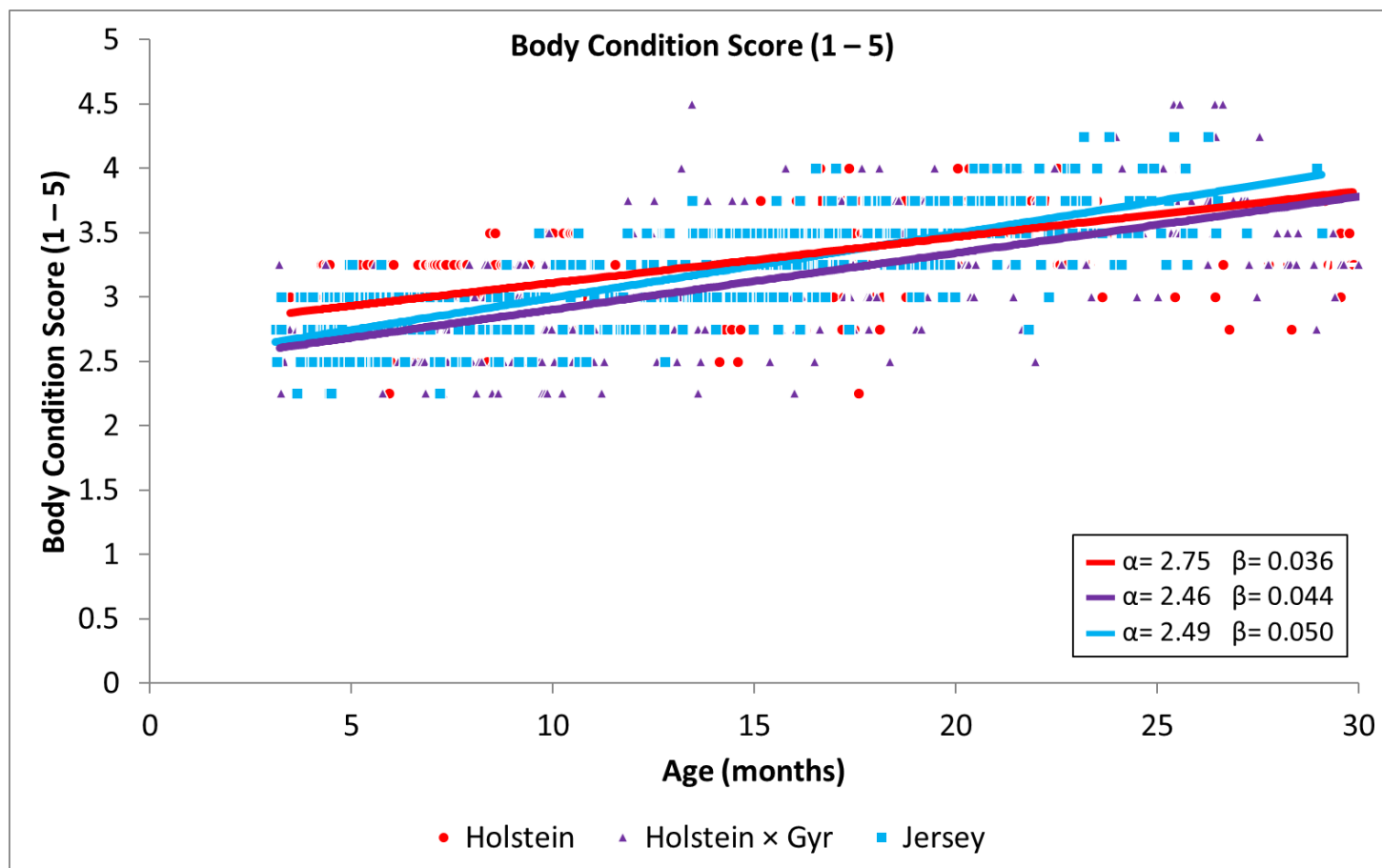


Figure 4. Body condition score (1 to 5) growth curves for Holstein, Holstein × Gyr, and Jersey genetic groups regarding to age (months). Holstein – $y=2.75343+0.03563 \times \text{Age}$, $R^2 = 0.4427$, $\text{RMSE} = 0.272$; Holstein × Gyr – $y=2.4644+0.04385 \times \text{Age}$, $R^2 = 0.4448$, $\text{RMSE} = 0.358$; Jersey – $y=2.4949+0.04996 \times \text{Age}$, $R^2 = 0.5805$, $\text{RMSE} = 0.269$. Parameter α is the intercept of the equation and parameter β indicates the gain in body condition score per month.

4 FEED INTAKE OF GROWING DAIRY HEIFERS RAISED UNDER TROPICAL CONDITIONS: A MODEL EVALUATION USING META-ANALYSIS

M. Busanello ^{a,*}, D.G. de Sousa ^a, F.A.C. Mendonça ^a, V.L. Daley ^{b,1}, R. Almeida ^c, C.M.M. Bittar ^a, D.P.D. Lanna ^{a,*}

^a Department of Animal Science, College of Agriculture “Luiz de Queiroz”/University of São Paulo – ESALQ/USP, Campus Piracicaba, São Paulo, 13418-900, Brazil

^b Department of Dairy Science, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, 24061, USA

^c Department of Animal Science, Federal University of Paraná, Curitiba, Paraná, 80035-050, Brazil

* Corresponding author.

Email address: marcosbusanello@hotmail.com (M. Busanello), dplanna@usp.br (D.P.D. Lanna)

¹ Present address: Purina Animal Nutrition Center, Dairy Unit, Gray Summit 63039, United States

Abstract

Several models for predicting dry matter intake (DMI) of replacement dairy heifers have been developed, however, only a few of them were evaluated using data from heifers with different breeds raised under tropical conditions. Thus, the objective of this study was to evaluate DMI equations for dairy heifers managed under tropical conditions. A total of 230 treatment means from 61 studies using dairy heifers ($n = 1513$ heifers, average body weight = 246 kg) were used. The animals were grouped into two groups based on their genetics: 1) *Bos taurus* (Holstein, Jersey, Brown Swiss, and Holstein \times Jersey), 2) crossbred (*Bos taurus* \times *Bos indicus*). Seven DMI equations previously published (HH, HHJ, QUI, STA, 2001 NRC, OFLin, and OFNLin) for heifers were evaluated using mean bias, slope bias, mean squared prediction errors (MSPE) and its decomposition, as well as other model's evaluation statistics. For *Bos taurus* heifers, our results indicated that the OFNLin and HHJ had lower mean bias (0.13 and 0.16 kg/d, respectively) than other models. There was no significant slope or mean bias for HHJ and OFNLin ($P > 0.05$), indicating agreement between observed and predicted DMI values. All the other models had significant mean bias ($P < 0.05$), while QUI model also presented significant slope bias ($P < 0.02$). For crossbred heifers, the STA equation was the only one not presenting mean and slope bias significance ($P > 0.05$). All the other DMI models had significant mean bias when evaluated using crossbred data ($P < 0.04$), besides QUI, OFLin, and OFNLin also presenting significant slope bias ($P < 0.01$). Based on our results,

predictions from OFNLin and HHJ best represented the observed DMI of *Bos taurus* heifers (MSPE $\leq 1.25 \text{ kg}^2/\text{d}^2$, mean bias $\leq 0.16 \text{ kg/d}$), while STA was the most adequate model for crossbred heifers (MSPE = $1.25 \text{ kg}^2/\text{d}^2$, mean bias = 0.09 kg/d). These findings indicate that not all models available are adequate for estimating the DMI of dairy heifers managed under tropical climate, being HHJ and OFNLin for *Bos taurus* and STA for crossbred the most suitable models for DMI prediction. There is evidence that models from *Bos taurus* heifers could be used for estimating the DMI of heifers under tropical conditions. For heifer ration formulation, it is necessary to consider that DMI is influenced by breed, diet, management, and climate. Future work should focus on including animal genetic and environmental variables for predicting DMI of dairy heifers.

Keywords: Dry matter intake, Dairy heifers, *Bos taurus*, *Bos indicus*, empirical models

4.1 Implications

Our study evaluated seven DMI models for dairy heifers grouped by their genotypes (*Bos taurus* or crossbred – *Bos taurus* \times *Bos indicus*) raised under tropical climatic conditions. DMI models proposed by Hoffman et al. (2008) (for Holstein \times Jersey) and Oliveira and Ferreira (2016) (non-linear model) were the better for *Bos taurus* heifers, while Stallings et al. (1985) model was the better for crossbred heifers. Models proposed by the Dairy NRC (2001), Hoffman et al. (2008) (for Holstein), Quigley et al. (1986a), and the linear model of Oliveira and Ferreira (2016) presented significant slope, mean bias or both.

4.2 Introduction

Dry matter intake (DMI) is one of the most important animal health and performance indicators for dairy cattle (Bareille et al., 2003). In the last 30 years, animals' genetics and their nutritional requirements have changed, resulting in increased feed efficiency. Over the past decade, many studies have been published reporting the mechanisms that can affect DMI in ruminants, mainly for lactating dairy cows. Although substantial advances have been made in this area, it is necessary to consider that there is variation in actual DMI within and between animals, which models, or science still cannot explain.

An important aspect of ration formulation is that DMI could be considered as input (if measured at the farm) or output (if estimated by models). Dairy nutritionists usually use models for estimating the DMI of heifers because many dairy farmers still do not have a feed measurement system due to the high cost of implementation.

Thus, several intake models have been developed and used in feed formulation for dairy cattle, in which animal characteristics, dietary components, environmental conditions, and management factors are frequently used as inputs.

For dairy heifers, DMI models have been used for calculating the nutrients supplied from the diet or predicting the nutrient requirements for maintenance, growth, and pregnancy, as well as growth curves for different breeds. It is known that many factors may affect the DMI of heifers, for example, days in pregnancy is negatively correlated with feed intake around calving (Hayirli et al., 2003, Grummer et al., 2004). High environmental temperatures can also decrease heifers' DMI (Nonaka et al., 2008). Although environment temperature and humidity can affect DMI, only few models for dairy heifers include environmental variables as inputs because limited data were available (Oliveira and Ferreira, 2016).

Since 1980, DMI models for heifers have been developed using different modeling approaches. Firstly, DMI models for heifers were described by Stallings et al. (1985) and Quigley et al. (1986a). Stallings et al. (1985) used body weight (BW) as an independent variable to fit a quadratic polynomial regression, but this equation was not adopted by the Dairy National Research Council (NRC) committee (NRC, 1989, 2001) due to a significant bias. In that time, two DMI models developed by Quigley et al. (1986a) and the Beef NRC committee (NRC, 1996) were considered adequate. Although Quigley et al. (1986a) model had a low bias when evaluated for dairy heifers, the Dairy NRC (NRC, 2001) adopted the Beef NRC equation for dairy heifers because that model was evaluated using a larger dataset.

Overall, models for estimating dairy heifers DMI were developed and evaluated using data exclusively from Holsteins or beef cattle. Moreover, most equations were fitted using linear regression with or without quadratic or cubic terms. Nonlinear models also were used to predict DMI for dairy heifers, such as those proposed by Hoffman et al. (2008) and Oliveira and Ferreira (2016). In recent years, the advance of computational techniques has allowed fitting nonlinear mixed-effects models to biological data to better understand nonlinear relationships between variables using large amounts of data.

In terms of animal genetic, nutrition models developed for Holstein cows are often adopted for crossbred cows worldwide due to a limitation of intakes and nutritional requirements equations for different breeds. Souza (2015) developed an equation to predict DMI of lactating crossbred cows using metabolic body weight

($BW^{0.75}$), 4% fat corrected milk, and week of lactation as independent variables. That study reported differences between DMI of Holstein and crossbred cows. For *Bos taurus* and crossbred heifers, Oliveira and Ferreira (2016) developed and evaluated models for animals raised under tropical conditions using $BW^{0.75}$ and average daily gain (ADG) as predictors, and this model has been evaluated in our study.

Moreover, previous studies reported that the DMI model proposed by the 2001 Dairy NRC (NRC, 2001) was not adequate for estimating DMI of replacement heifers (Hoffman et al., 2008, Oliveira and Ferreira, 2016). Since 2016, additional studies were published reporting DMI of heifers raised in different conditions of climate, diet, and management. Model evaluation using an updated database is important to ensure that current models adopted by dairy nutritionists are representing adequately the actual feed intakes of heifers. It is known that gain in genetic merit for milk production may change both feed intake and feed efficiency over time. Moreover, model evaluation is an important approach to identify if a new model needs to be updated or developed to better estimate the actual DMI. Therefore, our study hypothesized that current DMI models proposed for Holstein heifers are not adequate for *Bos taurus* or crossbred dairy heifers raised under tropical conditions. The objective of this study was to evaluate previously published heifers' DMI equations using updated data from both *Bos taurus* and crossbred heifers managed under tropical climate.

4.3 Material and methods

4.3.1 Database

The meta-analysis used data from publications indexed in PubMed, SciELO, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, and Master's or Ph.D. thesis available online. The inclusion criteria were: (1) studies published between 1998 and 2020 (comprising 22 years), (2) data from heifers before first calving (lactation number = 0), (3) postweaning animals, (4) data for both dietary ingredients and animal descriptions (BW, ADG, and breed) were described, (5) reported observed intake or estimated DMI for grazing heifers using internal or external markers, (6) studies performed under tropical climate (regions between Tropic of Capricorn and Tropic of Cancer), (7) individual DMI was measured, and (8) only experiments with *ad libitum* intake. ADG value was obtained directly from the published documents. It

was not calculated. Sometimes it was full and other times it was shrunk ADG depending how the study was performed.

The final database was developed using data from 61 studies ($n = 230$ treatment means) carried out with dairy heifers ($n = 1513$ heifers). A list of the studies selected is provided in Supplementary Material ANEXO B (Supplementary Table S1). Animals were grouped based on their genotypes, being: 1) *Bos taurus* (Holstein, Jersey, Brown Swiss, and Holstein \times Jersey) or 2) crossbred *Bos taurus* \times *Bos indicus* (Holstein \times Gyr, Holstein \times Boran, and others Holstein \times Zebu). As an exploratory step, a mixed model was performed to verify the difference for DMI between these formed groups including the fixed effects of group, ADG, and BW, and also the random effect of the study. It resulted in a significant difference ($P = 0.0239$, *Bos taurus* = 6.7 kg/d vs. Crossbred = 6.2 kg/d) and grouping was maintained.

4.3.2 Calculations

For dietary nutrient composition, when the dietary composition was not provided in the study, it was calculated using the proportion of the ingredients in the diet and their nutritional composition. When heifers were submitted to fasting, BW was calculated as $BW/0.96$ (NRC, 2001) (Table 1).

If total digestible nutrient (TDN) was not reported, it was calculated from the apparent digestibility coefficient of dry matter (ADDM) or neutral detergent fiber (NDF) using equations published by Cappelle et al. (2001) (Table 1). The energy partition of the diet was estimated using the NRC (2001) model.

4.3.3 Models evaluated

Seven equations were evaluated to estimate the DMI of dairy heifers (Table 1). Hoffman et al. (2008) proposed equations for Holstein (Model 1, HH) and crossbred Holstein \times Jersey dairy heifers (Model 2, HHJ). Those nonlinear models included the BW as an independent variable. The linear model described by Quigley et al. (1986a) (Model 3, QUI) used BW, $BW^{0.75}$, TDN, ADG, and their interactions as predictor variables. Stallings et al. (1985) (Model 4, STA) used BW as an independent variable in a quadratic polynomial regression model. The Dairy NRC (2001) equation (Model 5, NRC) included the $BW^{0.75}$ and net energy for maintenance (NE_m) to predict DMI of dairy heifers. Oliveira and Ferreira (2016) proposed two DMI equations for crossbred heifers (*Bos taurus* \times *Bos indicus*) raised under Brazilian

tropical conditions. Those equations were developed using linear (Model 6, OFLin) and nonlinear (Model 7, OFNLin) models where ADG and $BW^{0.75}$ were included as independent variables.

4.3.4 Statistical analysis

Descriptive analyses were conducted using SAS (MEANS, REG, and UNIVARIATE procedures; SAS, 2012). Preliminary plots and model evaluation were performed using R (version 3.5.1; R Development Core Team, 2018).

The models were evaluated for both accuracy and precision using the mean bias and slope bias significance, besides mean square prediction error (MSPE), and its decomposition (% of the error related to the dispersion, slope, and mean bias) (Bibby and Toutenburg, 1977). The concordance correlation coefficient (CCC) (Lin, 1989), and goodness of fit (R^2) were also calculated. The RMSE-observations standard deviation ratio (RSR) was also used to evaluate the models, which incorporates the benefits of error index statistics, varying from the optimal value of 0 to a large positive value, being zero RSR a perfect model simulation (Moriasi et al., 2007). The most important statistics considered to rank the performance of models were 1st – the *P*-values of mean and slope bias, 2nd – MSPE values and its decomposition, 3rd – mean bias, and when necessary, the other model's evaluation statistics were used for comparison.

4.4 Results

4.4.1 Database

A total of 61 studies (230 treatment means from 1513 dairy replacement heifers) published as scientific articles (70%, $n = 1089$ heifers), Master's thesis (21%, $n = 314$ heifers), Ph.D. thesis (7%, $n = 86$ heifers), and proceedings of annual meetings (2%, $n = 24$ heifers) were used (Table 2). These studies were carried out in Brazil (82%, $n = 1201$ heifers), Mexico (7%, $n = 105$ heifers), Ethiopia (5%, $n = 94$ heifers), Kenya (5%, $n = 97$ heifers), and Thailand (1%, $n = 16$ heifers).

Most of those studies used crossbred (67%, $n = 1167$ heifers), followed by *Bos taurus* (26%, $n = 346$ heifers) dairy heifers, and only 4 studies reported both (7%) (Table 2). In terms of feeding systems of those studies, the heifers were raised in confinement (79%, $n = 1185$ heifers), pasture exclusively (10%, $n = 168$ heifers), and pasture with concentrate supplementation (11%, $n = 160$ heifers). Estimated DMI with internal or external markers was performed on the pasture-based studies (21%).

Data for animal performance and their characteristics, as well as the dietary composition, are presented in Table 3.

Studies presented a similar median age and BW at the beginning of the experiments (*Bos taurus*: age = 356 days and BW = 181 kg; crossbred: age = 397 days and BW = 198 kg, Table 3). Crossbred dairy heifers had a similar median DMI than *Bos taurus* (6.2 versus 6.5 kg/d) when raised under tropical conditions. Also, diets for *Bos taurus* and crossbred heifers contained similar median levels of forage (around 70%) and energy content (digestible energy [DE], metabolizable energy [ME], net energy for maintenance [NE_m], and net energy for growth [NE_g]) (Table 3).

4.4.2 Model Evaluation 1: *Bos taurus* dairy heifers

A total of 56 treatment means ($n = 20$ studies) were used to evaluate the DMI equations of *Bos taurus* dairy heifers. The average heifer DMI was 6.5 kg/d (Table 3). Plots of observed, predicted, and residual values are presented in Figure 1.

The STA (0.50), HHJ (0.50), HH (0.50) equations presented the highest R^2 , followed by and OFNLin (0.47) equation. The other equations presented $R^2 \leq 0.40$ (Table 4). Lower MSPE values were obtained for HHJ, HH, and OFNLin equations ($\leq 1.25 \text{ kg}^2/\text{d}^2$), while for the other equations the MSPE values were $\geq 1.35 \text{ kg}^2/\text{d}^2$ (Table 4). For MSPE decomposition, the dispersion or random error provided the most contribution to the MSPE values of all models evaluated ($> 63\%$) with higher values for HHJ and OFNLin ($> 93\%$). However, for NRC ($P = 0.0001$), STA ($P = 0.0011$), QUI ($P = 0.0015$), HH ($P = 0.0141$), and OFLin models ($P = 0.0463$) the mean bias significantly contributed to the MSPE (36%, 26%, 16%, 10%, and 7% respectively) (Table 4). Only QUI model ($P = 0.0143$) presented significant slope bias. The HHJ and OFNLin models did not present both mean and slope bias significance. A lower mean bias was found for OFNLin and HHJ equations (0.13 and 0.16 kg/d, respectively), while other equations had a mean bias $\geq 0.36 \text{ kg/d}$, varying more than 5% of mean DMI. On the other hand, we found the lower slope bias value for STA (0.04), NRC (0.05), and HH (0.06) equations. The HHJ (0.71), HH (0.74), and OFNLin (0.75) models had lower RSR values than other models (≥ 0.81). The highest CCC value was found for the OFNLin equation (0.67), while all other models had values of CCC ≤ 0.63 .

4.4.3 Model Evaluation 2: Crossbred dairy heifers (*Bos taurus* × *Bos indicus*)

A total of 174 treatment means ($n = 45$ studies) were used to evaluate the DMI of crossbred dairy heifers. The average heifer DMI was 6.2 kg/d (Table 3). Plots of observed, predicted, and residual values are presented in Figure 2.

The OFNLin equation presented the highest R^2 (0.55), and all other models had values of $R^2 \leq 0.49$. Lower MSPE values were obtained for OFNLin (1.20 kg²/d²), OFLin (1.22 kg²/d²), STA (1.25 kg²/d²); NRC (1.26 kg²/d²), and HH (1.26 kg²/d²), while the other equations had MSPE values ≥ 1.30 kg²/d² (Table 5). For MSPE decomposition, the dispersion or random error provided the most contribution to the MSPE values of all models evaluated ($> 79\%$) with higher values for STA and HH ($> 95\%$). The STA model was the only one that not present mean ($P = 0.3293$) and slope bias significance ($P = 0.0542$). All the other models presented mean bias significance ($P < 0.05$), resulting in considerably contribution of the mean bias to MSPE. For QUI, OFLin, and OFNLin models ($P = 0.0001$ for all them), the slope bias contributed significantly to MSPE (17%, 9%, and 9%, respectively) (Table 5).

The STA, HH, OFLin, and QUI equations presented lower mean bias (0.09, –0.20, –0.20, and 0.22 kg/d, respectively), while the others varied more than 5% of mean DMI (Table 5). A lower slope bias was found for HHJ, NRC, HH, and STA (–0.08, –0.08, –0.14, –0.15 kg/d, respectively), while for other equations the slope bias was ≤ -0.23 kg/d. This evaluation showed that the HHJ, HH, and NRC also did not present significant slope bias ($P > 0.05$), besides STA equation (Table 5). The RSR values were similar between models with OFNLin (0.74) presenting the lower value and QUI (0.83) the higher one (Table 5). The OFNLin had a higher CCC value (0.72) than other equations evaluated in this study ($CCC \leq 0.69$), but this model had a significant mean ($P = 0.0001$) and slope bias ($P = 0.0001$) (Table 5).

4.5 Discussion

We evaluated seven equations used to predict the DMI of *Bos taurus* and crossbred (*Bos taurus* × *Bos indicus*) dairy heifers raised in tropical conditions. We

focused on the evaluation instead the development of new equations because there is already a great number of DMI equations for dairy heifers in the literature. Although all models evaluated in this study could be used for predicting DMI of dairy heifers, our results indicated that HHJ and OFN_{Lin} equations were the most accurate and precise for *Bos taurus* heifers because they did not present significant slope and mean bias, and also presenting lower MSPE and mean bias values. The QUI, STA, NRC, HH, and OF_{Lin} models presented significative mean bias and also the higher values of MSPE resulting in low precision and accuracy, respectively. All equations evaluated using *Bos taurus* data underestimated DMI.

For crossbred heifers, the STA equation was the most adequate DMI model because its lowest mean bias and not presenting significant slope and mean bias. All other crossbred models had a significant mean bias, while QUI, OF_{Lin}, and OFN_{Lin} also presented significant slope bias, which could be associated with lower DMI of crossbred in comparison with Holstein cattle. Both, OFN_{Lin} and OF_{Lin} presented significant slope and mean bias, despite OFN_{Lin} had the highest precision ($R^2 = 0.55$) which contributed to a high CCC. All the equations overestimated DMI of crossbred heifers except the models proposed by QUI, STA, and NRC. The OFN_{Lin} and HHJ for *Bos taurus* and HH and STA for crossbred showed a high error due to the disturbance than other models, indicating that random variation was not associated with correlation among predictors or unknown parameters, which is desirable.

Substantial differences between *Bos taurus* and crossbred dairy cattle have been described by previous studies, such as heat stress tolerance, milk yield and its composition, and milking ease (Negrão and Marnet, 2006, Alfonzo et al., 2015, Ludovico et al., 2019). However, our results showed that DMI of crossbred heifers raised in tropical conditions may be affected by factors similar to those previously described in *Bos taurus* heifers, especially BW. Also, a study reported no differences in NE_m between Holstein and crossbred dairy heifers (Moreira, 2016).

Oliveira and Ferreira (2016) developed equations to predict the DMI of crossbred dairy heifers raised in Brazilian tropical conditions and we evaluated those models. Similar to that study, our database was developed using data from studies previously published in the literature, but we used additional studies available from 2016 to 2020. Although some articles contained in that database were similar to our database, those models showed a significant slope bias for crossbred heifers. This

fact could be partially explained by a large number of observations from different countries used in our study and our database was split into two subsets of data based on animal genetics (*Bos taurus* and crossbred). Therefore, the main differences between our study and the one performed by Oliveira and Ferreira (2016) are related to the dataset (37 treatment means from 11 studies versus 230 treatment means from 61 studies in our database), the number of observations used for model evaluation (from 21 to 37 observations versus 58 *Bos taurus* and 174 crossbred observations used in our evaluation), calf gender (female and male calves versus only female data used in our study), and we evaluated the model proposed by Stallings et al. (1985). Interestingly, OFNLin performed well to *Bos taurus* instead of crossbred heifers. It could be related to the models' development dataset used for Oliveira and Ferreira (2016) that had 21 treatment means (37%) from *Bos taurus* and it can explain the better performance of OFNLin for those cattle. For crossbred heifers a possible reparametrization or a factor adjustment on OFLin and OFNLin models could help to solve the problem improving the prediction of these equations, especially OFNLin model that presented the highest R^2 and lowest MSPE.

The low accuracy and precision of QUI (for *Bos taurus*) and NRC equations could be related to multicollinearity problems, for example, the use of BW and $BW^{0.75}$ as independent variables in the model (Grewal et al., 2004). The variance inflation index (VIF) is usually used to identify multicollinearity among variables, where values higher than 5 could indicate multicollinearity (Cohen et al., 1983). If VIF values are inflated, the model estimates are less reliable. When a model has multicollinearity, the standard error values of regression coefficients are increased, the predicted values are biased, and the predictors could be non-significant even with a high R^2 (O'Brien, 2007). Therefore, the low adequacy of the NRC equation could be associated with multicollinearity problems for variables with high correlation such as NE_m and $BW^{0.75}$. Hoffman et al. (2008) and Oliveira and Ferreira (2016) also reported a similar problem when that equation was evaluated using an independent database.

The DMI values found in our study agreed with those reported by the NRC (~6.0 kg/d), however, the use of different feed ingredients in Brazil and U.S. could result in different feed digestibility values. This value is used to calculate TDN, DE, ME, and consequently the NE_m that is an input in the NRC model. Thus, the TDN value may be a major source of variation, which could explain the mean bias for the NRC and QUI models. Moreover, the DMI equation adopted by the Dairy NRC (2001)

was developed using beef cattle data (NRC, 1996), which explains its low adequacy for dairy heifers. Dairy cattle breeds had a higher proportion of internal organs (liver, intestine, and kidney) than beef cattle (Terry et al., 1990, Casas et al., 1997), which is related to higher net energy requirements for maintenance. On the other hand, heifers present lower NE_m requirements compared to bulls (~15%) (Beef NRC, 2016). The NE_m requirements for dairy heifers are estimated as 86 kcal/kg of $SBW^{0.75}$ (shrunk body weight) (Fox and Tylutki, 1998, Dairy NRC, 2001). However, a study suggested that NE_m of heifers increased over time similarly to cows (Moraes et al., 2015), being estimated as 122 kcal/kg of $SBW^{0.75}$ for Holstein heifers from 6 to 22 months of age (Jiao et al., 2015). For crossbred Holstein \times Gyr heifers, the requirement of NE_m is suggested as being between 104 kcal/kg of $SBW^{0.75}$ (17 months and $1/2$ Holstein \times $1/2$ Gyr) (Moreira, 2016) and 67 kcal/kg of $SBW^{0.75}$ (3 to 7 months and $1/2$ Holstein \times $1/2$ Gyr) (Castro et al., 2020). We used BW, SBW, and EBW for those comparisons described previously, where for Jiao et al. (2015) and Moreira (2016) we used $SBW = 0.96 \times BW$ (NRC, 2001) because in that study the NE_m values were expressed as $BW^{0.75}$, but for Castro et al. (2020) we used $EBW = 0.894 \times SBW$ because NE_m values were expressed as $EBW^{0.75}$ originally. Therefore, the low accuracy of predictions from the NRC heifers' DMI model could also be related to differences in NE_m and genetic variation of crossbred heifers. Scarce data about NE_m for other Holstein \times Zebu cattle were published at the moment.

Although important studies on nutrient requirements of crossbred dairy cattle (*Bos taurus* \times *Bos indicus*) have been published (Castro et al., 2020, Oss et al., 2017, Silva et al., 2020), data for heifers are still scarce. Since 2016, heifer studies were performed to better understand the effects of ADG and supply of nutrients on the mammary gland development in prepubertal and pubertal crossbred heifers (Weller et al., 2016, Albino et al., 2017, Silva et al., 2018). Moreover, other studies evaluated the effects of gestation days on the body and conceptus composition, and the nutrients use by pregnant crossbred cows (Rotta et al., 2015, Sguizzato et al., 2020).

It is important to describe that Dairy NRC (2001) suggested adjustments in DMI for pregnant heifers based on days in pregnancy (DP). An adjustment for DP (AdjDMI) >210 to <259 days can be calculated using the following equation: $AdjDMI = (1 + ((210 - DP) \times 0.0025))$, where DP is the days in pregnancy. For DP

≥ 259 days the Dairy NRC (2001) suggested using a different equation to estimate the DMI of heifers, $DMI = (1.71 - (0.69 \times e^{(0.35 \times DP - 280)})) / 100 \times BW$, where e is the Euler number ($e = 2.718$), DP is the days in pregnancy, and BW is the body weight. However, those equations were not evaluated in our study. The DMI decreases around calving based on factors related to the animal (DP and body condition score [BCS]) and diet (contents of NDF, ether extract, and rumen undegradable protein) (Hayirli et al., 2002). Feeding programs can affect DMI around calving resulting in changes in blood metabolites and body composition of crossbred cows (Rotta et al., 2015, Sguizzato et al., 2020).

Although our objective was not to evaluate predicted DMI of heifers around calving, nonlinear models may describe more adequately the DMI reduction around calving for dairy heifers, such as that fitted by Hoffman et al. (2008). A previous equation was developed using data of Holstein heifers (Hayirli et al., 2003) during the transition period considering DP , $= 1.713 - 0.688 \times e^{(0.344 \times DP)}$, where DP = days in pregnancy. Limited information on DMI in pregnant dairy heifers is available. Heifers with similar gestation lengths but with different ages, BCS, dietary management, and feed efficiency have different levels of DMI (Korver et al., 1991, Hayirli et al., 2002).

The STA equation (mean bias = 0.09 kg/d and MSPE = 1.25 kg²/d²) was the most adequate to predict DMI of crossbred dairy heifers raised under tropical conditions. However, only few studies have evaluated this equation. Studies performed by Hoffman et al. (2008) and Oliveira and Ferreira (2016) did not evaluate STA equation. The STA, HH, and HHJ models included only BW as a predictor, while OFNLin and OFLin models also use ADG as a predictor and, thus, these models could be used when diet information is not available. However, it is known that dietary factors can affect DMI in dairy heifers, such as NDF and TDN (Tomlinson et al., 1991). Also, our results evidenced that heifers are usually fed a high roughage diet (about 70% for both *Bos taurus* and crossbred). It is known that roughage to concentrate ratio affects the feed intake where high forage diets with poor fiber digestibility can reduce the DMI by a physical limitation, while diets with high contents of TDN (mainly from starch and lipids) cause a chemostatic intake regulation (Van Soest, 1994). Also, diets with a high proportion of fiber results in a lower passage rate and lower feed efficiency in dairy heifers (kg of body weight gain/kg of feed intake). However, high dietary fiber content limits the DMI and reduces the energy

content of the diet, which is desired for heifers over 12 months (Erickson et al., 2020). A few models to predict DMI of heifers from dietary components were reported, but they require more inputs (Quigley et al., 1986a, Hoffman et al., 2008, Oliveira and Ferreira, 2016), which may limit their use.

Factors related to the environment also can affect feed intake in heifers, among which air temperature (AT) is the major one. The DMI can decrease considerably in extreme AT, being most common at high AT in hot seasons. Nonaka et al. (2008) found a decrease of 9% and 8% on DMI at 33 °C compared to 20 °C and 28 °C, respectively, for prepubertal Holstein heifers kept under constant relative humidity (60%), suggesting that heifers' DMI decrease from 28 °C. Limited data are available for other environment variables that influence the DMI in heifers, but previous studies have been performed using lactating cows (West et al., 2003).

Independent variables related to the environment could improve the accuracy of DMI estimates in dairy heifers, such as environmental AT. When Quigley et al. (1986b) studied the factors that could affect DMI in dairy heifers, they evaluated AT as a predictive variable and, despite the effect of AT on DMI was statistically significant, they concluded that this variable did not improve MSPE and R^2 . However, that research did not include data from animals subjected to high temperatures because AT range was from -11.3°C to 25.6°C. Oliveira and Ferreira (2016) also evaluated the AT as an independent variable in the DMI model, but that data was limited. Linear equations were developed by Hoffman et al. (2008) including AT, but those equations were less accurate than nonlinear models. Another possibility could be the use of the temperature-humidity index (THI) as a predictor to improve the model adequacy of those equations. For dairy cattle, heat stress can be considered from $THI > 68$ when the milk yield reduces critically (Zimbelman et al., 2009). Above this THI limit, DMI, milk, and milk fat and protein yields decrease considerably (Gantner et al., 2011).

We still have opportunities to improve models for predicting DMI of dairy heifers using dietary and/or environmental factors, besides BW. Models using dietary factors as inputs have been developed but with small improvements in model accuracy discouraging their use (Hoffman et al., 2008, Oliveira and Ferreira, 2016). The use of THI as a predictor in DMI models is interesting, especially for tropical countries where heifers are raised on pastures susceptible to stressful environmental conditions. Moreover, that could be useful for the summer season in a humid

subtropical climate. However, it is necessary to consider that different values of relative humidity and AT could result in similar THI values, and many times it does not include other climatic variables in its calculation (Nienaber and Hahn, 2007), which can result in bias. Additionally, there is an opportunity to improve our DMI models for heifers using data from electronic sensors and machine learning approaches, which could help dairy nutritionists to meet the nutrients requirements of heifers in different feeding programs.

4.6 Conclusion

For *Bos taurus* dairy heifers raised in tropical conditions the models developed by Hoffman et al. (2008), especially the HHJ model, and the non-linear model developed by Oliveira and Ferreira (2016) were the most suitable for DMI prediction, while for crossbred ones the most suitable was the Stallings et al. (1985) model. In general, the Holstein model developed by Hoffman et al. (2008) and the Dairy NRC model (NRC, 2001) had a significant mean bias, resulting in lower precision, while OFLin had a significant slope bias, resulting in lower accuracy, and the QUI model presented both. There is evidence that models from *Bos taurus* heifers could be used for estimating the DMI of crossbred heifers under tropical conditions. It is known that dietary and environmental factors can affect the DMI of dairy heifers, but additional evaluation using multimodel or machine learning approaches should be performed using a larger database. Future equations should consider different nutritional plans, dietary composition, and environmental conditions during the growing period.

4.7 Author contributions

MB, VLD, and DPDL conceived the research. MB performed the search of scientific publications to create the dataset. MB and VLD performed statistical analyses. MB, DGS, and FACM wrote the manuscript. DPDL, VLD, RA, and CMMB performed critical manuscript reviews along the writing process. All the authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

4.8 Conflict of interest

The authors declare no having any kind of conflicts of interest for publication of this research.

4.9 Acknowledgements

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Finance Code 001. We also are grateful to the São Paulo Research Foundation (FAPESP), São Paulo, Brazil, for the research funding and scholarships (FAPESP Process 2019/02307-2).

4.10 Ethics statement

Not applicable.

4.11 Software and data repository resources

Data was not deposited in an official repository.

References

- Albino RL, Sguizzato AL, Daniels KM, Duarte MS, Lopes MM, Guimarães SEF, Weller MMDCA and Marcondes MI 2017. Performance strategies affect mammary gland development in prepubertal heifers. *Journal of Dairy Science*, 100, 8033–8042.
- Alfonzo EPM, Silva MVGB, Daltro DS, Stumpf MT, Dalcin VC, Kolling G, Fischer V and McManus CM 2016. Relationship between physical attributes and heat stress in dairy cattle from different genetic groups. *International Journal of Biometeorology*, 60, 245–253.
- Almeida Júnior GA, Costa C, Carvalho SMR, Persichetti Júnior P, Panichi A, 2008. Performance of Holstein calves fed after weaning with high moisture grains silage or dry ground grains of corn or sorghum. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 148–156.
- Bareille N, Beaudeau F, Billon S, Robert A and Faverdin P 2003. Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows. *Livestock Production Science*, 83, 53–62.
- Bibby J and Toutenburg H 1977. Prediction and improved estimation in linear models. John Wiley & Sons, Berlin, Germany.
- Cappelle ER, Valadares Filho SC, Silva JFC and Cecon PR 2001. Estimates of the energy value from chemical characteristics of the feedstuffs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 1837–1856.
- Casas A, Cianzio D and Rivera A 1997. Comparison of Holstein, Charbray, and Zebu bulls for beef production under rotational grazing II. Offal components and carcass composition. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 81, 115–124.
- Castro MMD, Albino RL, Rodrigues JPP, Sguizzato ALL, Santos MMF, Rotta PP, Caton JS, Moraes LEFD, Silva FF and Marcondes MI 2020. Energy and protein requirements of Holstein × Gyr crossbred heifers. *Animal*, 14, 1857–1866.
- Cohen J, Cohen P, West SG and Aiken LS, 1983. Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, USA.

- Erickson PS, Anderson JL, Kalscheur KF, Lascano GJ, Akins MS and Heinrichs AJ 2020. Symposium review: Strategies to improve the efficiency and profitability of heifer raising. *Journal of Dairy Science*, 103, 5700–5708.
- Fox DG and Tylutki TP 1998. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 81, 3085–3095.
- Gantner V, Mijić P, Kuterovac K, Solić D and Gantner R 2011. Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. *Mljekarstvo*, 61, 56–63.
- Grewal R, Cote JA and Baumgartner H 2004. Multicollinearity and measurement error in structural equation models: Implications for theory testing. *Marketing Science*, 23, 519–529.
- Grummer RR, Mashek DG and Hayirli A 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 20, 447–470.
- Hayirli A, Grummer RR, Nordheim EV and Crump PM 2002. Animal and dietary factors affecting feed intake during the prefresh transition period in Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 85, 3430–3443.
- Hayirli A, Grummer RR, Nordheim EV and Crump PM 2003. Models for predicting dry matter intake of Holsteins during the prefresh transition period. *Journal of Dairy Science*, 86, 1771–1779.
- Hoffman PC, Weigel KA and Wernberg RM 2008. Evaluation of equations to predict dry matter intake of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 91, 3699–3709.
- Jiao HP, Yan T, Wills DA and McDowell DA 2015. Maintenance energy requirements of young Holstein cattle from calorimetric measurements at 6, 12, 18, and 22 months of age. *Livestock Science*, 178, 150–157.
- Korver S, Van Eekelen EAM, Vos H, Nieuwhof GJ and Van Arendonk JAM 1991. Genetic parameters for feed intake and feed efficiency in growing dairy heifers. *Livestock Production Science*, 29, 49–59.
- Lin L 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45, 255–268.
- Ludovico A, Trentin M and Rêgo FCA 2019. Sources of variation of dairy production and milk composition in Holstein cows, Jersey, and Girolando. *Archivos de Zootecnia*, 68, 236–243.
- Moraes LE, Kebreab E, Strathe AB, Dijkstra J, France J, Casper DP and Fadel JG 2015. Multivariate and univariate analysis of energy balance data from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98, 4012–4029.
- Moreira TS 2016. Energy requirements, energetic partition and methane emission from growing Holstein, Gyr and F1 Holstein-Gyr dairy heifers. Doctor's thesis, University of São Paulo, Pirassununga, SP, Brazil.
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD and Veith TL 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50, 885–900.
- National Research Council (NRC) 1989. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 6th ed. Washington: National Academy Press, Washington, DC, USA.
- National Research Council (NRC) 1996. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7th ed. Washington: National Academy Press, Washington, DC, USA.
- National Research Council (NRC) 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed. Washington: National Academy Press, Washington, DC, USA.

- National Research Council (NRC) 2016. Nutrient requirements of beef cattle. 8th ed. Washington: National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Negrão JA and Marnet P 2006. Milk yield, residual milk, oxytocin and cortisol release during machine milking in Gir, Gir × Holstein and Holstein cows. *Reproduction Nutrition Development*, 46, 77–85.
- Nienaber JA and Hahn GL 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *International Journal of Biometeorology*, 52, 149–157.
- Nonaka I, Takusari N, Tajima K, Suzuki T, Higuchi K and Kurihara M 2008. Effects of high environmental temperatures on physiological and nutritional status of prepubertal Holstein heifers. *Livestock Science*, 113, 14–23.
- O'Brien MR 2007. A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. *Quality & Quantity*, 41, 673–690.
- Oliveira AS and Ferreira VB 2016. Prediction of intake in growing dairy heifers under tropical conditions. *Journal of Dairy Science*, 99, 1103–1110.
- Oss DB, Machado FS, Tomich TR, Pereira LGR, Campos MM, Castro MMD, Silva TE and Marcondes MI 2017. Energy and protein requirements of crossbred (Holstein × Gyr) growing bulls. *Journal of Dairy Science*, 100, 2603–2613.
- Quigley JD, James RE and McGilliard ML 1986a. Dry matter intake in dairy heifers. 2. Equations to predict intake of heifers under intensive management. *Journal of Dairy Science*, 69, 2863–2867.
- Quigley JD, James RE and McGilliard ML 1986b. Dry matter intake in dairy heifers. 1. Factors affecting intake of heifers under intensive management. *Journal of Dairy Science*, 69, 2855–2862.
- R Development Core Team 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 3.1.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Roma Júnior LC, Savastano Júnior H, Martello LS, Leme PR, Pinheiro MG 2008. Veal production from crossbred and Holstein dairy calves. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1088–1093.
- Rotta PP, Valadares Filho SC, Gionbelli TRS, Silva LFC, Engle TE, Marcondes MI, Machado FS, Villadiego FAC and Silva LHR 2015. Effects of day of gestation and feeding regimen in Holstein × Gyr cows: I. Apparent total-tract digestibility, nitrogen balance, and fat deposition. *Journal of Dairy Science*, 98, 3197–3210.
- SAS Institute, Inc. 2012. SAS OnDemand for Academics. Release 9.04.01M5P09132017. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sguizzato ALL, Marcondes MI, Valadares Filho SC, Caton J, Neville TL, Machado FS, Pacheco MVC and Rotta PP 2020. Body composition changes of crossbred Holstein × Gyr cows and conceptus during pregnancy. *Journal of Dairy Science*, 103, 2773–2783.
- Silva AL, Detmann E, Dijkstra J, Pedroso AM, Silva LHP, Machado AF, Sousa FC, Santos GB and Marcondes MI 2018. Effects of rumen-undegradable protein on intake, performance, and mammary gland development in prepubertal and pubertal dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 101, 5991–6001.
- Silva AL, DeVries TJ, Fernandes EC, Marcondes MI 2020. *Short communication*: Development and evaluation of equations to predict growth of Holstein dairy heifers in a tropical climate. *Journal of Dairy Science*, 104, 525–531.

- Souza VL 2015. Parametrização e avaliação de modelos de estimativa das exigências e do desempenho de bovinos leiteiros para uso no Brasil. Doctor's thesis, University of São Paulo, Piracicaba, SP, Brazil.
- Stallings CC, Kroll G, Kelley JC and McGilliard ML 1985. A computer ration evaluation program for heifers, dry cows, and lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 68, 1015–1019.
- Terry CA, Knapp RH, Edwards JW, Mies WL, Savell JW and Cross HR 1990. Yields of by-products from different cattle types. *Journal of Animal Science*, 68, 4200–4205.
- Tomlinson DJ, James RE and McGilliard ED 1991. Effect of varying levels of neutral detergent fiber and total digestible nutrients on intake and growth of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, 74, 537–545, 1991.
- Van Soest PJ 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.ed. New York: Cornell University Press, NY, USA.
- Weller MMDCA, Albino RL, Marcondes MI, Silva W, Daniels KM, Campos MM, Duarte MS, Mescouto ML, Silva FF and Guimarães SEF 2016. Effects of nutrient intake level on mammary parenchyma growth and gene expression in crossbred (Holstein × Gyr) prepubertal heifers. *Journal of Dairy Science*, 99, 9962–9973.
- West JW, Mullinix BG and Bernard JK 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86, 232–242.
- Zimbelman RB, Rhoads RP, Rhoads ML, Duff GC, Baumgard LH and Collier RJ 2009. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. In: Collier RJ, editor. *Proceedings of the Southwest Nutrition and Management Conference*, Tempe, AZ, USA. Tucson, AZ, The University of Arizona, p.158–168.

Tables

Table 1 Empirical equations used to the development of the study

Description	Unity	Equation
SBW ¹	kg	$BW \times 0.96$
TDN ²	% DM	$-3.84 + 1.064 \times ADDM$
TDN ³	% DM	$91.0246 - 0.571588 \times NDF$
DE ¹	Mcal	$TDN \times 0.04409$
ME ¹	Mcal	$1.01 \times DE - 0.45$
NE _m ¹	Mcal	$1.37 \times ME - 0.138 \times ME^2 + 0.0105 \times ME^3 - 1.12$
NE _g ¹	(Mcal	$1.42 \times ME - 0.174 \times ME^2 + 0.0122 \times ME^3 - 1.65$
Intake prediction equations		
HH	kg DM/day	$15.36 \times (1 - e^{(-0.0022 \times BW)})$
HHJ	kg DM/day	$12.91 \times (1 - e^{(-0.00295 \times BW)})$
QUI	kg DM/day	$-29.86 - 0.0000154 \times BW^2 + 0.157 \times BW^{0.75} + 2.09 \times ADG - 0.118 \times ADG^2 + 0.73 \times TDN - 0.0048 \times TDN^2 - 0.0014 \times BW \times ADG - 0.019 \times TDN \times ADG$
STA	kg DM/day	$-0.417 + 0.03325 \times BW - 0.0000266154 \times BW^2$
NRC	kg DM/day	$((SBW)^{0.75} \times (0.2435 \times NE_m - 0.0466 \times NE_m^2 - 0.1128)) / NE_m$
OFLin	kg DM/day	$8.7147 - 0.2402 \times BW^{0.75} + 0.0027 \times (BW^{0.75})^2 + 3.6050 \times ADG - 1.4168 \times ADG^2$
OFNLin	kg DM/day	$0.1175 \times BW^{0.75} - 3.4984 \times e^{(-2.4690 \times ADG)}$

SBW = shrunk body weight, TDN = total digestible nutrients of the diet, DE = digestible energy, ME = metabolizable energy, NE_m = net energy for maintenance, NE_g = net energy for growth, HH = dry matter intake equation for Holstein heifers from Hoffman et al. (2008), HHJ = dry matter intake equation for crossbred Holstein × Jersey heifers from Hoffman et al. (2008), QUI = dry matter intake equation for dairy heifers from Quigley et al. (1986a), STA = dry matter intake equation for dairy heifers from Stallings et al. (1985), NRC = dry matter intake equation for dairy heifers from Dairy NRC (2001), OFLin = linear dry matter intake equation from Oliveira and Ferreira (2016), OFNLin = nonlinear dry matter intake equation from Oliveira and Ferreira (2016), BW = body weight, ADDM =

apparent digestibility of the dry matter from the diet (%), NDF = neutral detergent fiber of the diet (% DM) BW = live body weight (kg), ADG = average daily gain (kg)

¹Equations from Dairy NRC (2001).

²TDN prediction equation based on the apparent digestibility of dry matter (Capelle et al., 2001).

³TDN prediction equation based on the neutral detergent fiber of the diet (Capelle et al., 2001).

Table 2 Summary on the number of studies, observations and heifers for each breed, rearing system, type of publication, and country

Variable	N ^o Studies	%	N ^o Treatment means	%	N ^o Heifers	%
Breed						
<i>Bos taurus</i>	16	26.2	56	25.0	346	22.9
Crossbred ¹	41	67.2	174	75.0	1167	77.1
Both	4	6.6	–	–	–	–
Rearing system						
Confinement	48	78.7	189	82.2	1185	78.3
Pasture	6	9.8	8	3.5	168	11.1
Pasture Supplement	7	11.5	33	14.3	160	10.6
Type of publication						
Scientific paper	43	70.5	170	73.9	1089	72.0
Congress paper	1	1.6	2	0.9	24	1.6
Master's thesis	13	21.3	43	18.7	314	20.8
Ph.D.'s thesis	4	6.6	15	6.5	86	5.6
Country						
Brazil	50	81.9	188	81.7	1201	79.4
Ethiopia	3	5.0	14	6.1	94	6.2
Mexico	4	6.5	13	5.7	105	6.9
Kenya	3	5.0	11	4.8	97	6.4
Thailand	1	1.6	4	1.7	16	1.1
Total	61	100.0	230	100.0	1513	100.0

¹Crossbred *Bos taurus* × *Bos indicus*.

Table 3 Descriptive statistical analyses for the variables in the database related to the experimental planning, heifers' characteristics, and to the diets provided to *Bos taurus* (n = 56) and crossbred *Bos taurus* × *Bos indicus* dairy heifers (n = 174)

Variables	Experimental and animal variables							
	<i>Bos taurus</i>				Crossbred			
	N	Mean	Median	Range	N	Mean	Median	Range
Period of adaptation (days)	30	17	15	10 – 45	121	19	15	10 – 45
Experimental period (days)	56	80	84	56 – 120	166	84	84	84 – 180
Fasting (hours)	28	14.13	16.00	12.00 – 16.00	68	13.56	14.00	12.00 – 16.00
Age (days)	40	295	356	90 – 512	113	358	397	107 – 702
Initial BW (kg)	56	197.25	181.00	58.70 – 403.83	174	213.15	198.30	75.72 – 412.83
Mean BW (kg)	56	234.74	238.41	133.85 – 424.79	174	249.02	241.50	127.84 – 430.07
Final BW (kg)	56	263.39	256.11	155.00 – 445.75	174	277.10	274.65	161.94 – 447.31
ADG (kg)	56	0.77	0.79	0.24 – 1.21	174	0.75	0.82	-0.03 – 1.40
FCE (kg/kg)	20	9.27	7.69	5.78 – 16.67	84	7.78	6.64	4.01 – 21.35
DMI (kg DM/day)	56	6.53	6.30	3.46 – 10.50	174	6.20	6.03	2.63 – 10.68
Variables	Dietary factors							
	<i>Bos taurus</i>				Crossbred			
	N	Mean	Median	Range	N	Mean	Median	Range
% of Roughage (%)	56	73.01	71.20	22.37 – 100.00	161	69.56	70.00	20.41 – 100.00
DM (%)*	36	45.71	40.45	12.30 – 90.51	144	54.46	48.97	12.38 – 92.47
OM (% DM)	42	91.20	93.15	79.60 – 97.90	121	92.55	92.74	86.04 – 97.40
CP (% DM)	47	14.26	14.20	7.98 – 22.63	164	13.76	13.78	7.06 – 22.10
NDF (% DM)	47	45.30	44.10	29.40 – 65.60	158	50.29	46.27	23.17 – 88.10
ADF (% DM)	32	26.84	27.10	16.80 – 34.70	119	26.50	23.93	15.39 – 45.00
EE (% DM)	18	2.14	1.62	0.80 – 5.53	114	2.52	2.40	0.80 – 6.75
TCHO (% DM)	10	81.67	81.29	76.68 – 86.03	41	77.59	77.01	72.20 – 88.35

NFC (% DM)	17	34.66	36.30	18.03 – 44.20	89	31.84	33.42	7.90 – 50.74
MM (% DM)	42	8.82	6.85	2.10 – 20.40	121	7.45	7.26	2.60 – 13.96
TDN (% DM)	56	64.79	63.96	52.60 – 81.87	174	63.96	65.42	42.70 – 76.28
ADDM (%)	31	65.82	66.08	52.25 – 80.55	114	64.57	65.00	22.50 – 75.61
DE (Mcal/kg)	56	2.86	2.82	2.32 – 3.61	174	2.82	2.88	1.88 – 3.36
ME (Mcal/kg)	56	2.43	2.40	1.89 – 3.20	174	2.40	2.46	1.45 – 2.95
NE _m (Mcal/kg)	56	1.54	1.52	1.05 – 2.19	174	1.51	1.57	0.61 – 1.99
NE _g (Mcal/kg)	56	0.94	0.92	0.50 – 1.51	174	0.91	0.97	0.08 – 1.34

N = number of observations, BW = live body weight, ADG = average daily gain, FCE = feed conversion efficiency, DMI = dry matter intake, DM = dietary dry matter, OM = dietary organic matter, CP = dietary crude protein, NDF = dietary neutral detergent fiber, ADF = dietary acid detergent fiber, EE = dietary ether extract, TCHO = dietary total carbohydrates, NFC = dietary non-fibrous carbohydrates, MM = dietary mineral matter, TDN = dietary total digestible nutrients, ADDM = dietary apparent digestibility of dry matter, DE = dietary digestible energy, ME = dietary metabolizable energy, NE_m = dietary net energy for maintenance, NE_g = dietary net energy for growth.

**Bos taurus*: Minimum of 12.30% of DM = diet based in only fresh sweet potato vines; and crossbred: minimum of 12.38% of DM = diet with 60% of inclusion of fresh forage cactus (*Opuntia ficus - indica* Mill), which had 9.28% of DM.

Table 4 Evaluation statistics of the dry matter consumption equations of dairy heifers *Bos taurus* (n = 56)

Statistics	Observed	HH	HHJ	QUI	STA	NRC	OFLin	OFNLin
DMI	6.53	6.13	6.36	5.84	5.84	5.55	6.17	6.39
R ²	–	0.50	0.50	0.24	0.50	0.40	0.40	0.47
MSPE	–	1.24	1.19	1.68	1.36	1.61	1.35	1.25
MSPE, % mean	–	19.03	18.28	25.71	20.88	24.74	20.75	19.14
<i>MSPE decomposition (%)</i>								
Mean Bias, % MSE	–	10.47	1.90	16.81	25.77	36.36	7.03	1.14
Slope Bias, % MSE	–	0.23	1.09	8.82	0.11	0.14	3.43	5.45
Dispersion, % MSE	–	89.30	97.01	74.36	74.12	63.50	89.54	93.40
Mean Bias	–	0.40	0.16	0.69	0.69	0.97	0.36	0.13
Slope Bias	–	0.05	0.12	-0.38	0.04	0.06	-0.19	-0.20
P-Mean Bias	–	0.0141	0.3061	0.0015	0.0001	0.0001	0.0463	0.4283
P-Slope Bias	–	0.7079	0.4389	0.0143	0.7797	0.7352	0.1560	0.0815
RSR	–	0.74	0.71	1.00	0.82	0.97	0.81	0.75
CCC	–	0.63	0.63	0.43	0.59	0.44	0.60	0.67

DMI = dry matter intake, R² = coefficient of determination, MSPE = mean squared prediction error, MSE = mean squared error, RSR = RMSE-observations standard deviation ratio, CCC = concordance correlation coefficient, HH = DMI equation for Holstein dairy heifers from Hoffman et al. (2008), HHJ = DMI equation for Holstein × Jersey dairy heifers from Hoffman et al. (2008), QUI = DMI equation for dairy heifers from Quigley et al. (1986a), STA = DMI equation for dairy heifers from Stallings et al. (1985), NRC = DMI equation for dairy heifers from Dairy NRC (2001), OFLin = linear dry matter intake equation from Oliveira and Ferreira (2016), OFNLin = nonlinear dry matter intake equation from Oliveira and Ferreira (2016).

Table 5 Evaluation statistics of the dry matter consumption equations of crossbred dairy heifers *Bos taurus* × *Bos indicus* (n = 174)

Statistics	Observed	HH	HHJ	QUI	STA	NRC	OFLin	OFNLin
DMI	6.20	6.39	6.61	5.97	6.11	5.71	6.40	6.59
R ²	–	0.42	0.42	0.45	0.41	0.48	0.49	0.55
MSPE	–	1.26	1.30	1.34	1.25	1.26	1.22	1.20
MSPE, % mean	–	20.26	21.00	21.65	20.16	20.28	19.76	19.34
<i>MSPE decomposition (%)</i>								
Mean Bias, % MSE	–	2.44	10.08	2.78	0.55	14.85	2.70	10.93
Slope Bias, % MSE	–	1.79	0.47	17.58	2.13	0.53	8.95	8.75
Dispersion, % MSE	–	95.77	89.45	79.64	97.32	84.61	88.35	80.32
Mean Bias	–	-0.20	-0.41	0.22	0.09	0.48	-0.20	-0.40
Slope Bias	–	-0.14	-0.08	-0.34	-0.15	-0.08	-0.25	-0.23
P-Mean Bias	–	0.0392	0.0001	0.0275	0.3293	0.0001	0.0298	0.0001
P-Slope Bias	–	0.0744	0.3428	0.0001	0.0542	0.2987	0.0001	0.0001
RSR	–	0.78	0.81	0.83	0.77	0.78	0.76	0.74
CCC	–	0.62	0.58	0.66	0.62	0.63	0.69	0.72

DMI = dry matter intake, R² = coefficient of determination, MSPE = mean squared prediction error, MSE = mean squared error, RSR = RMSE-observations standard deviation ratio, CCC = concordance correlation coefficient, HH = DMI equation for Holstein dairy heifers from Hoffman et al. (2008), HHJ = DMI equation for Holstein × Jersey dairy heifers from Hoffman et al. (2008), QUI = DMI equation for dairy heifers from Quigley et al. (1986a), STA = DMI equation for dairy heifers from Stallings et al. (1985), NRC = DMI equation for dairy heifers from Dairy NRC (2001), OFLin = linear dry matter intake equation from Oliveira and Ferreira (2016), OFNLin = nonlinear dry matter intake equation from Oliveira and Ferreira (2016)

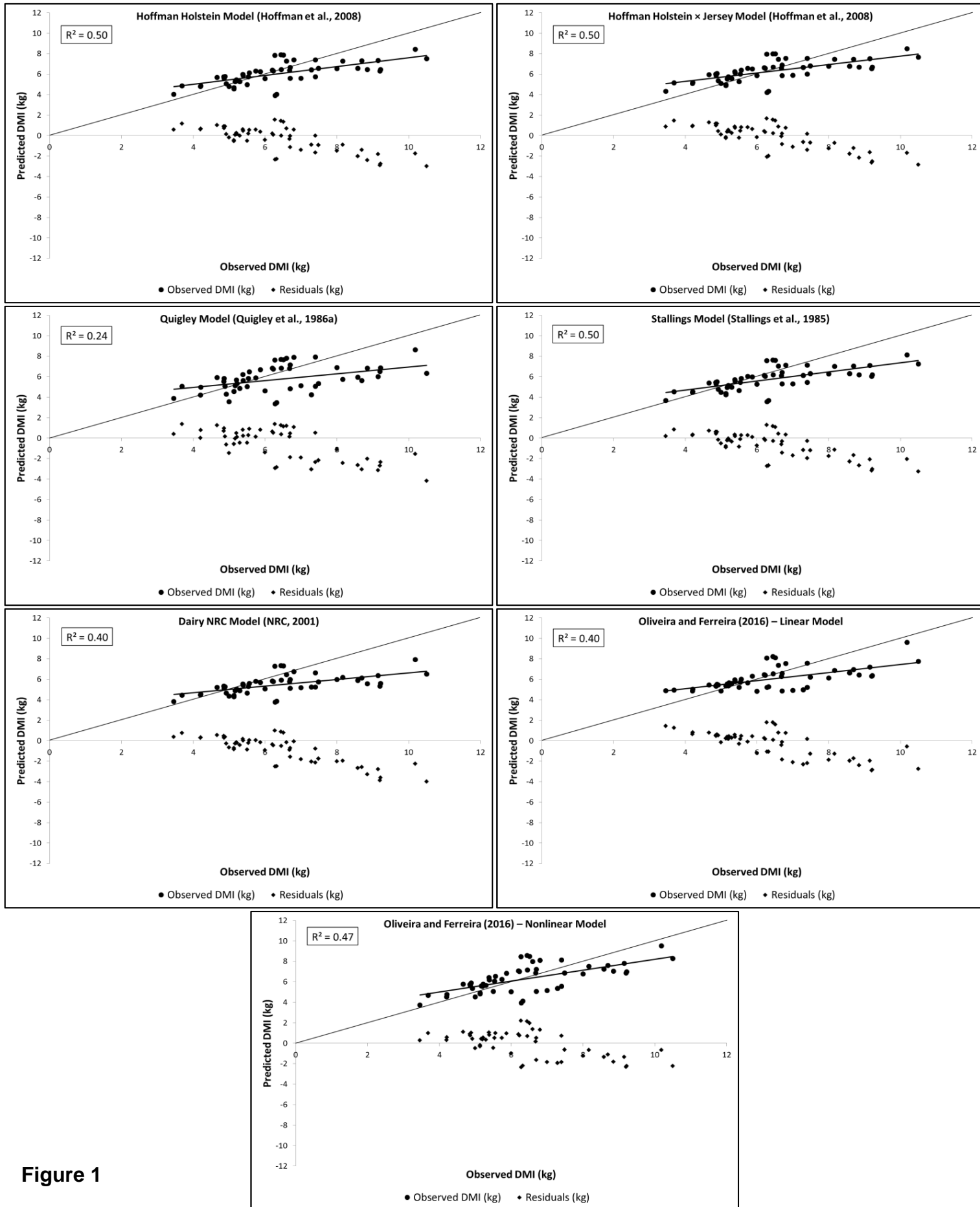


Figure 1

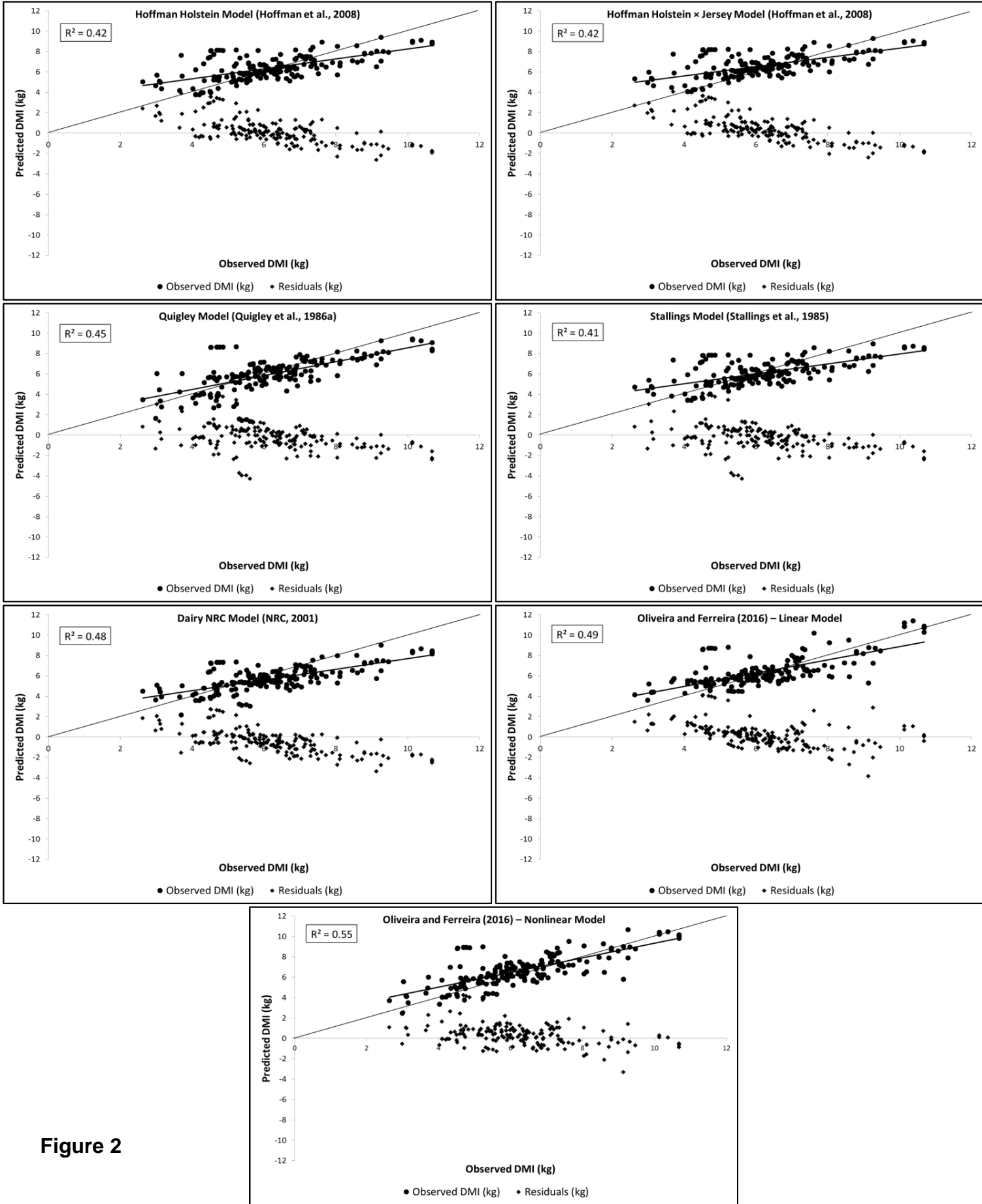


Figure 2

Figure 1 Observed versus models-predicted values and residuals versus model-predicted values from the prediction equations of DMI of *Bos taurus* dairy heifers (n = 56).

Figure 2 Observed versus models-predicted values and residuals versus model-predicted values from the prediction equations of DMI of dairy heifers *Bos taurus* × *Bos indicus* (n = 174).

5 ESTIMATIVA DAS EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA E PROTEÍNA PARA NOVILHAS LEITEIRAS HOLANDESAS, MISTIÇAS (HOLANDÊS × GIR) E JERSEY PARA REPOSIÇÃO

Resumo

O objetivo deste capítulo é descrever as exigências nutricionais de novilhas leiteiras das raças Holandês (HOL), mestiças (Holandês × Gir - HxG) e Jersey (JER) ao longo do seu crescimento por meio de estimativas baseadas no modelo de energia líquida (NRC, 2001). Para isso, alguns dos resultados dos capítulos anteriores foram incorporados ao modelo do NRC para cálculo das exigências. As curvas de crescimento de novilhas leiteiras desenvolvidas no capítulo anterior permitem estimar o peso adulto e as taxas de crescimento necessárias para a entrada em reprodução. Consequentemente é possível estimar as exigências líquidas diárias para alcançar o objetivo de desempenho. Dentre estes parâmetros, o peso adulto é fundamental, pois define a extensão do crescimento. Foram obtidos, através de análises de rebanhos, os pesos adultos (PA) de 681 kg, 607 kg e 440 kg para HOL, HxG e JER, respectivamente. A idade à primeira cobertura foi considerada como sendo realizada aos 15, 18 e 13 meses de idade HOL, HxG e JER, respectivamente, e ao primeiro parto aos 24, 27 e 22 meses para HOL, HxG, e JER, respectivamente. O ganho de peso diário (GPD) de 3 meses até o primeiro parto foi assumido como de 828 g/dia, 593 g/dia e 552 g/dia para as novilhas HOL, HxG e JER, respectivamente, objetivando o alcance de 91% do PA ao parto. Foram calculadas as exigências nutricionais de energia e proteína para manutenção, crescimento e gestação, bem como o total de energia e proteína necessário por dia. Os valores médios de exigências diárias para energia líquida de manutenção até o 1º acasalamento foram 5,1, 5,2 e 3,8 Mcal/dia, e do 1º acasalamento até o 1º parto de 9,2, 8,7 e 6,6 Mcal/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente, enquanto para energia líquida de crescimento até o 1º acasalamento foram de 2,2, 1,7 e 1,5 Mcal/dia, e do 1º acasalamento até o 1º parto foram 3,8, 2,7 e 2,5 Mcal/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente. Os valores médios de exigência diária de proteína líquida de manutenção até o 1º acasalamento foram 299, 295 e 235 g/dia, e do 1º acasalamento até o 1º parto foram 470, 440 e 375 g/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente, enquanto para proteína líquida para crescimento até o 1º acasalamento foram 158, 108 e 105 g/dia, e do 1º acasalamento até o 1º parto foram 109, 78 e 76 g/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente. As exigências de energia e proteína para gestação e o total diário também foram calculados.

Palavras-chave: Crescimento, Gado leiteiro, Ganho de peso, Gestação, Manutenção

Abstract

In this chapter we aimed to describe the nutritional requirements of dairy heifers of the Holstein (HOL), crossbred (Holstein × Gyr - HxG), and Jersey (JER) cattle throughout their growth using estimative based on the Dairy NRC (2001) model. For that, the results of the previous chapters have been incorporated to the NRC model for calculating requirements. Mature body weight (MBW) of 681 kg, 607 kg, and 440 kg were considered for HOL, HxG, and JER, respectively. Age at 1st breeding was considered as 15, 18, and 13 months of age for HOL, HxG, and JER, respectively, and for 1st calving at 24, 27, and 22 months of age for HOL, HxG, and JER, respectively. The daily weight gain (GPD) from 3 months until the first calving

was assumed to be 828 g/day, 593 g/day and 552 g/day for HOL, HxG and JER heifers, respectively, aiming at achieving 91% of the BP at delivery. Nutritional energy and protein requirements for maintenance, growth, and pregnancy were calculated, as well as the total energy and protein required per day. Mean values of daily requirements for net energy for maintenance until the 1st breeding were 5.1, 5.2, and 3.8 Mcal/day, and from 1st breeding until the 1st calving were 9.2, 8.7, and 6.6 Mcal/day for HOL, HxG, and JER, respectively, while for net energy for growth until the 1st breed they were 2.2, 1.7, and 1.5 Mcal/day, and from 1st breeding until the 1st calving were 3.8, 2.7, and 2.5 Mcal/day for HOL, HxG, and JER, respectively. Mean values of the daily requirement of net protein for maintenance until the 1st breeding were 299, 295, and 235 g/day, and from 1st breeding until the 1st calving were 470, 440, and 375 g/day for HOL, HxG, and JER, respectively, while for net protein for growth until the 1st breeding were 158, 108, and 105 g/day, and from 1st breeding until the 1st calving were 109, 78, and 76 g/day for HOL, HxG, and JER, respectively. The net energy and protein requirements for pregnancy and the daily total requirements were also calculated.

Keywords: growth, dairy cattle, weight gain, pregnancy, maintenance

5.1 Introdução

Recentemente alguns estudos foram conduzidos com o objetivo de desenvolver equações de estimação de exigências nutricionais de gado leiteiro (especialmente novilhas) para manutenção (Jiao et al., 2015; Moreira et al., 2016; Oss et al., 2017; Castro et al., 2020), crescimento (Oss et al., 2017; Castro et al., 2020) e gestação (Rotta et al., 2015). O desenvolvimento destes estudos é relevante principalmente para animais cruzados *Bos taurus* × *Bos indicus*, e especialmente para o cruzamento Holandês × Gir (HxG) (ou Girolando) que têm poucos dados na literatura. Para as novilhas *Bos taurus*, principalmente novilhas Holandesas (HOL), o modelo do NRC (2001) descreve uma série de equações para cálculo das exigências nutricionais.

Dados de exigências de energia para manutenção de raças leiteiras têm sido contestados na literatura. Estudos recentes observaram um aumento das exigências de manutenção em HOL comparado com o que é recomendado pelo NRC (2001) (Moraes et al., 2013; Jiao et al., 2015). Pelo NRC os valores de exigências de energia líquida seriam de 86 Kcal/kg de $PV_J^{0,75}$ (peso vivo metabólico em jejum) e isto teria aumentado para 122 Kcal/kg de $PV_J^{0,75}$ (Jiao et al., 2015). Para a raça Jersey (JER) os trabalhos recentes são praticamente inexistentes, sendo que se utiliza dos mesmos valores corrigidos pelo peso metabólico.

Já com relação as exigências de energia para crescimento, o modelo do NRC (2001) acaba sendo utilizado para estimar as exigências do gado Jersey baseado no

método de cálculo de peso equivalente ao animal referência (gado britânico com 478 kg de peso adulto [PA]). Desta forma a composição corporal pode ser estimada em função da energia depositada na gordura e proteína na deposição de corpo vazio.

Baseado nesta escassez de dados sobre as exigências nutricionais de novilhas leiteiras, nosso objetivo foi descrever as exigências de proteína e energia para manutenção, para crescimento e gestação desde o desmame (considerado aos 3 meses de idade) até o 1º parto previsto aos 24 meses de idade para HOL, 27 meses de idade para HxG e 22 meses de idade para JER. Tais estimações foram feitas para cada uma das três principais raças leiteiras utilizadas no Brasil (HOL, HxG, e JER). Utilizamos como base de cálculo o modelo do NRC (2001). Entretanto, algumas mudanças nos parâmetros do modelo do NRC (2001) foram necessárias, com base nos resultados encontrados nos capítulos anteriores desta tese. Entre estas estão o peso adulto, as equações de consumo de matéria seca e o ganho de peso ideal para atingir a proporção recomendada de PA ao 1º parto (91% do PA) (NASEM, 2021).

5.2 Material e Métodos

Como mencionado, o modelo do NRC (2001) foi utilizado como base de cálculo das exigências nutricionais. As equações utilizadas podem ser encontradas no Anexo C. Algumas equações oriundas de capítulos anteriores serão apresentadas na sequência. As seguintes variáveis foram utilizadas como dados de entrada para cálculos subsequentes, peso vivo (PV, em kg), idade (em meses), escore de condição corporal (ECC), nutrientes digestíveis totais (NDT) da dieta, peso adulto, intervalo entre partos e idade ao 1º parto. Outras variáveis possíveis de inclusão no modelo do NRC (2001) para ajuste da exigência de energia líquida de manutenção (relevo, sistema de criação e temperatura ambiente) foram simuladas como constantes. O sistema considerado foi de animais criados em confinamento e em termoneutralidade (21°C).

O PA considerado para cada raça foi de 681 kg, 607 kg e 440 kg para HOL, HxG, e JER, respectivamente. O PV inicial (ou seja, aos 3 meses) foi calculado a partir das equações presentes no capítulo 3 para cada uma das raças, sendo estas as seguintes, HOL - $PV (kg) = 681,17 \times (1 - 0,6494 \times e^{(-0,09154 \times Idade)})^3$, HxG - $PV (kg) = 607,33 \times (1 + e^{(-0,08986 \times Idade)})^{-2,8938}$, JER - $PV (kg) = 439,88 / (1 + 7,503 \times e^{(-0,1728 \times Idade)})$. A partir do terceiro mês de idade, somou-se o GPD alvo ao

PV para alcance do peso ao 1º parto de 91% do PA (HOL, PV = 620 kg; HxG, PV = 552 kg; e JER, PV = 400 kg). Os valores de GPD considerados na fase de criação foram de 828 g/dia, 593 g/dia e 552 g/dia para as novilhas HOL, HxG e JER, respectivamente. O ECC também foi calculado para cada mês de vida baseado nas seguintes equações obtidas no capítulo 3, HOL - $ECC (1 a 5) = 2,75343 + 0,03563 \times Idade$, HxG - $ECC (1 a 5) = 2,4644 + 0,04385 \times Idade$ e JER - $ECC (1 a 5) = 2,4949 + 0,04996 \times Idade$. Os dados de entrada de pesos e ECC podem ser verificados na Tabela 1.

Ainda, considerou-se uma dieta com 65% de NDT para todo o período de crescimento das novilhas para facilitar os cálculos. A idade do 1º parto foi considerada como ocorrendo aos 24 meses para HOL, 27 meses para HxG e 22 meses para JER. A idade do 1º acasalamento foi considerada como sendo 15 meses para HOL, 18 meses para HxG e 13 meses para JER. O intervalo entre partos considerado foi de 14 meses para as três raças. Outras variáveis, como peso ao nascimento e do concepto, foram calculadas a partir do modelo do NRC (2001). Por fim, foram construídos gráficos que descrevem as exigências líquida de energia e proteína ao longo do crescimento das novilhas para manutenção, crescimento e gestação.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Exigências de energia líquida

Novilhas HxG apresentaram exigência de energia líquida de manutenção diária levemente maior no início do crescimento, resultado obtido pelo seu maior peso corporal estimado nos primeiros meses (Fig. 1). Entretanto, a partir do 6º mês, as novilhas HOL se igualaram às HxG e posteriormente acabaram apresentando maior exigência diária (Fig. 1). Novilhas JER apresentaram sempre menor exigência diária de energia para manutenção ao longo do seu crescimento comparado com as outras raças (Fig. 1). No terço final de gestação a exigência de manutenção permaneceu estável independente da raça (Fig. 1). Os valores médios de exigência diária de energia líquida de manutenção até o 1º acasalamento foram 5,1, 5,2 e 3,8 Mcal/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente, e até o 1º parto foram 9,2, 8,7, e 6,6 Mcal/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente.

Para crescimento, as novilhas HOL apresentaram maior exigência diária de energia líquida para crescimento que as demais raças (Fig. 2). Novilhas HxG e JER

apresentaram exigência diária de energia líquida para crescimento, as quais foram similares ao longo do crescimento (Fig. 2). Novamente, para JER a exigência diária de energia líquida para crescimento foi menor comparado às demais raças ao longo de todo o crescimento e, igualmente, o mesmo comportamento de estabilização na exigência para crescimento foi evidenciado para ambas as raças no terço final de gestação como ocorreu para a exigência de manutenção (Fig 2.). Os valores médios de exigência diária de energia líquida para crescimento até o 1º acasalamento foram 2,2, 1,7 e 1,5 Mcal/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente, e até o 1º parto foram 3,8, 2,7 e 2,5 Mcal/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente.

Para gestação, a exigência diária de energia líquida é considerada a partir do 6º mês de gestação (terço final) e foi maior para HOL, seguida de HxG e JER (Fig. 3). Isto ocorre por este modelo utilizar o peso vivo ao nascimento no cálculo e, como este é calculado a partir do PA, é compreensível que a exigência seja maior para HOL, uma vez que animais adultos desta raça são mais pesados que as demais, o que resulta em bezerros mais pesados ao nascimento. De forma geral, a exigência diária total de energia líquida foi maior para as novilhas HOL, com exceção de novilhas com ≤ 6 meses, onde as novilhas HxG apresentam maior exigência devido ao maior peso de entrada usado para cálculo (Fig 4.). Os valores médios de exigência diária de energia líquida total até o 1º acasalamento foram 7,0, 7,0 e 5,2 Mcal/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente, e até o 1º parto foram 13,0, 11,7 e 9,2 Mcal/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente.

5.3.2 Exigências de proteína líquida

No início do crescimento, a exigência diária de proteína líquida para manutenção foi semelhante para as novilhas HOL e HxG, sendo menor para JER (Fig. 5). Isso permaneceu constante até próximo aos 6 meses de idade, sendo que a partir desta fase a demanda por proteína diária para manutenção aumentou em novilhas HOL em comparação com HxG, devido ao seu maior peso corporal provavelmente (Fig. 5). Os valores médios de exigência diária de proteína líquida de manutenção até o 1º acasalamento foram 299, 295 e 235 g/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente, e até o 1º parto foram 470, 440 e 375 g/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente.

Por outro lado, as exigências diárias de proteína líquida para crescimento sempre foram decrescentes para todas as raças ao longo do crescimento, sendo facilmente explicada pela alteração da composição do ganho de peso que passa a

ser composto por maior proporção de lipídeos (Van Amburgh et al., 1998) (Fig. 6). Novilhas HOL apresentaram as maiores exigências diárias, seguidas de HxG e JER (Fig. 6). Os valores médios de exigência diária de proteína líquida para crescimento até o 1º acasalamento foram 158, 108 e 105 g/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente, e até o 1º parto foram 109, 78 e 76 g/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente.

Assim como para energia, a exigência diária de proteína líquida para gestação é calculada apenas no terço final de gestação pelo modelo do NRC (2001) e foi maior para as novilhas HOL, seguidas de HxG e JER (Fig. 7). Da mesma forma que para manutenção, a exigência diária de proteína líquida para gestação também utiliza o peso ao nascimento para estimação, o que resulta em maiores exigências para animais mais pesados, casos da raça HOL. A exigência diária total de proteína líquida foi sempre maior para as novilhas HOL, seguidas de HxG e JER (Fig. 8). No terço final da gestação ocorre um considerável aumento na demanda por proteína devido à exigência diária de proteína líquida para gestação em ambas as raças (Fig. 8). Os valores médios de exigência diária de proteína líquida total até o 1º acasalamento foram 454, 403 e 340 g/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente, e até o 1º parto foram 610, 547 e 471 g/dia para HOL, HxG e JER, respectivamente.

5.3.3 Considerações

Utilizar modelos diferentes para estimação das exigências nutricionais podem levar a resultados divergentes. O modelo do NRC (2001) foi o escolhido para realizar esta estimação por ser considerado como um dos mais completos para gado leiteiro e, especialmente para as novilhas leiteiras. São poucos os modelos que descrevem equações específicas e testadas ou adaptadas para novilhas leiteiras. Alguns simplesmente sugerem que fatores de ajustes sejam utilizados (AFRC, 1993; CSIRO, 2007). Progressos ainda são necessários, pois, embora o modelo empregado seja um dos mais completos, foi desenvolvido e testado basicamente com gado HOL com animais da década de 1980 e 1990. A falta de modelos para animais mestiços (casos de HxG) com aptidão leiteira é evidente, embora alguns estudos recentes tenham surgido neste contexto para novilhas leiteiras (Moreira, 2016; Castro et al., 2020). Para gado JER avaliações, estimativas e estudos sobre exigências com novilhas são bastante escassos. Portanto, são necessários mais

estudos com novilhas leiteiras de diferentes raças com relação às exigências nutricionais.

Alguns pontos são importantes de se considerar quando se utiliza o modelo do NRC (2001) para as novilhas leiteiras. Primeiro, o PA é uma das variáveis de entrada mais importantes e é ideal que o PA do rebanho seja utilizado ao invés do peso sugerido pelo programa, pois diversos trabalhos têm relatado diferentes PAs para uma mesma raça (Nielsen et al., 2003; Berry et al., 2005; Ledinek et al., 2018; Schubert et al., 2019). Outra variável importante de se considerar é o ganho de peso. Os ganhos de peso diário aqui sugeridos são baseados em um banco de dados que representa rebanhos específicos que foram amostrados nesta tese. É importante que sejam representativos da fazenda para a qual se pretende utilizar as estimativas aqui apresentadas. Isto pode ser feito avaliando se o crescimento do rebanho é equivalente aos aqui apresentados. Desta forma o consultor ou extensionista deve estimar objetivos de ganhos de peso das fazendas de gado leiteiro para as quais pretende utilizar as estimativas.

Os ganhos de peso utilizados precisam ser pensados baseados nos objetivos de cada produtor e também nas características genéticas do rebanho, principalmente o tamanho dos animais adultos. Idades ao 1º acasalamento e 1º parto também são parâmetros importantes que interferem nas estimativas e dependem dos objetivos do produtor e tem relação com características genéticas. Talvez as novilhas leiteiras sejam a categoria animal com o menor foco e intensidade de manejo em fazendas de leite. Mesmo isso sendo verdade, é importante que medidas de crescimento sejam tomadas nas novilhas em algumas fases do seu crescimento para a correta estimativa das suas exigências nutricionais e adequada formulação das dietas. As idades recomendadas para mensurar o peso e ganho de peso de novilhas leiteiras são no nascimento, desmama (~60 dias) e próximo à primeira cobertura (12 aos 15 meses) e próximo ao 1º parto (Bazeley et al., 2016).

Este trabalho, a partir de um estudo de populações das raças utilizadas no Brasil, gerou dados de peso adulto e taxas de crescimento que permitem calcular as exigências nutricionais de novilhas de reposição.

Referências

AFRC - Agricultural and Food Research Council. 1993. Energy and protein requirements of ruminants: an advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.

Bazeley KJ, Barrett DC, Williams PD, Reyher KK. 2016. Measuring the growth rate of UK dairy heifers to improve future productivity. *Veterinary Journal* 212:9–14. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.10.043>.

Berry DP, Horan B, Dillon P. 2005. Comparison of growth curves of three strains of female dairy cattle. *Animal Science* 80:151–160. <https://doi.org/10.1079/ASC41790151>.

Castro MMD, Albino RL, Rodrigues JPP, Sguizzato ALL, Santos MMF, Rotta PP, Caton JS, Moraes LEFD, Silva FF, Marcondes MI. 2020. Energy and protein requirements of Holstein × Gyr crossbred heifers. *Animal* 14:1857–1866. <https://doi.org/10.1017/s1751731120000622>.

CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. 2007. Nutrient requirements of domesticated ruminants. Collingwood: CSIRO Publishing, 2007. 296p.

Jiao HP, Yan T, Wills DA, McDowell DA. 2015. Maintenance energy requirements of young Holstein cattle from calorimetric measurements at 6, 12, 18, and 22 months of age. *Livestock Science* 178:150–157. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.031>.

Ledinek M, Gruber L, Steininger F, Zottl K, Royer M, Krimberger K, Mayerhofer M, Egger-Danner C, Fuerst-Waltl B. 2018. Analysis of lactating cows in commercial Austrian dairy farms: Diet composition, and influence of genotype, parity and stage of lactation on nutrient in-take, body weight and body condition score. *Italian Journal of Animal Science* 18:202-214. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1504632>.

Moraes LE, Kebreab E, Strathe AB, Dijkstra J, France J, Casper DP, Fadel JG. 2013. Multivariate and univariate analysis of energy balance data from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98:4012–4029. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8995>.

Moreira TS. 2016. Energy requirements, energetic partition and methane emission from growing Holstein, Gyr and F1 Holstein-Gyr dairy heifers. Doctor's thesis, University of São Paulo, Pirassununga, SP, Brazil.

NASEM, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press.

Nielsen HM, Friggens NC, Løvendahl P, Jensen J, Ingvarsen KL. 2003. Influence of breed, parity, and stage of lactation on lactational performance and relationship between body fatness and liveweight. *Livestock Production Science* 79:119–133. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00146-X).

NRC – National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. Washington: National Academy Press. 381p.

Oss DB, Machado FS, Tomich TR, Castro MMD, Silva TE, Marcondes MI. 2017. Energy and protein requirements of crossbred (Holstein × Gyr) growing bulls. *Journal of Dairy Science* 100:2603–2613. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11414>

Rotta PP, Valadares Filho SC, Gionbelli TRS, Silva LFC, Engle TE, Marcondes MI, Machado FS, Villadiego FAC, Silva LHR. 2015. Effects of day of gestation and feeding regimen in Holstein × Gyr cows: I. Apparent total-tract digestibility, nitrogen balance, and fat deposition. *Journal of Dairy Science* 98:3197–3210. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8280>.

Schubert HE, Wood S, Reyher KK, Mills HL. 2019. Data-driven approach to using individual cattle weights to estimate mean adult dairy cattle weight. *Veterinary Records* 185:540. <https://doi.org/10.1136/vr.105471>.

Van Amburgh ME, Galton DM, Bauman DE, Everett RW, Fox DG, Chase LE, Erb HN. 1998. Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *Journal of Dairy Science*, 81:527–538. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75604-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75604-8).

Tabela 1. Dados de entrada de peso vivo, escore de condição corporal, dias de gestação e ganho de peso para cálculo das exigências nutricionais de novilhas leiteiras.

Idade (meses) ¹	HOL		HxG		JER	
	Peso (kg)	ECC (1 a 5)	Peso (kg)	ECC (1 a 5)	Peso (kg)	ECC (1 a 5)
3	89	2.86	118	2.60	80	2.64
4	114	2.90	136	2.64	97	2.69
5	139	2.93	154	2.68	114	2.74
6	164	2.97	172	2.73	131	2.79
7	190	3.00	190	2.77	147	2.84
8	215	3.04	208	2.82	164	2.89
9	240	3.07	226	2.86	181	2.94
10	265	3.11	244	2.90	198	2.99
11	291	3.15	262	2.95	215	3.04
12	316	3.18	280	2.99	232	3.09
13	341	3.22	298	3.03	248	3.14
14	366	3.25	317	3.08	265	3.19
15	392	3.29	335	3.12	282	3.24
16	417	3.32	353	3.17	299	3.29
17	442	3.36	371	3.21	316	3.34
18	467	3.39	389	3.25	333	3.39
19	493	3.43	407	3.30	349	3.44
20	518	3.47	425	3.34	366	3.49
21	543	3.50	443	3.39	383	3.54
22	568	3.54	461	3.43	400	3.59
23	594	3.57	479	3.47		
24	620	3.61	497	3.52		
25			515	3.56		
26			534	3.60		
27			552	3.65		
Ganho de peso (g/dia)						
3 meses até 1 ^o parto	828		593		552	

¹Para Holandês os dias de gestação começam a contar dos 15 meses de idade, para Holandês x Gir dos 18 meses de idade e para Jersey dos 13 meses de idade; *acasalamento.

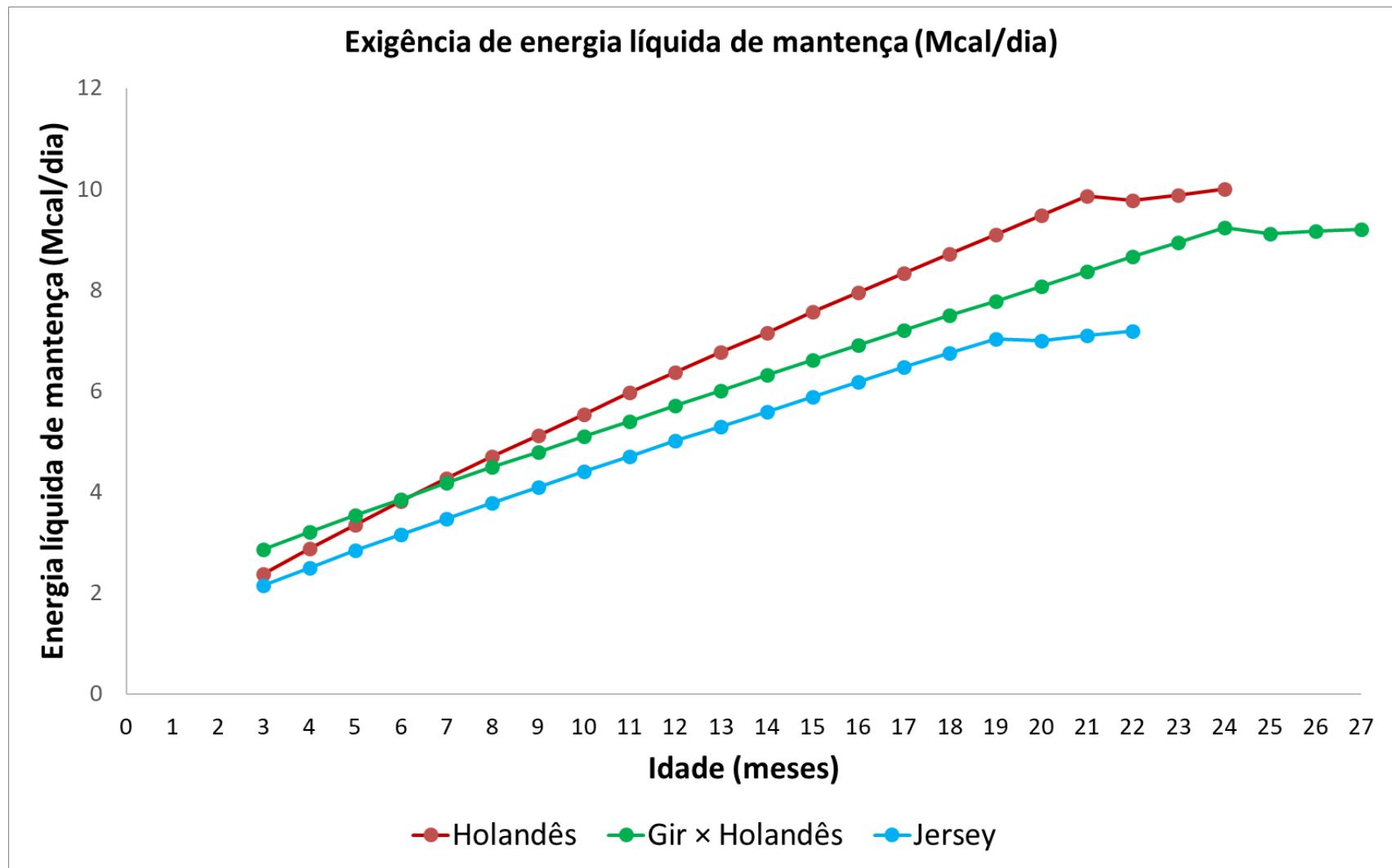


Figura 1. Exigência de energia líquida diária para manutenção de novilhas das raças Holandês, Holandês x Gir e Jersey.

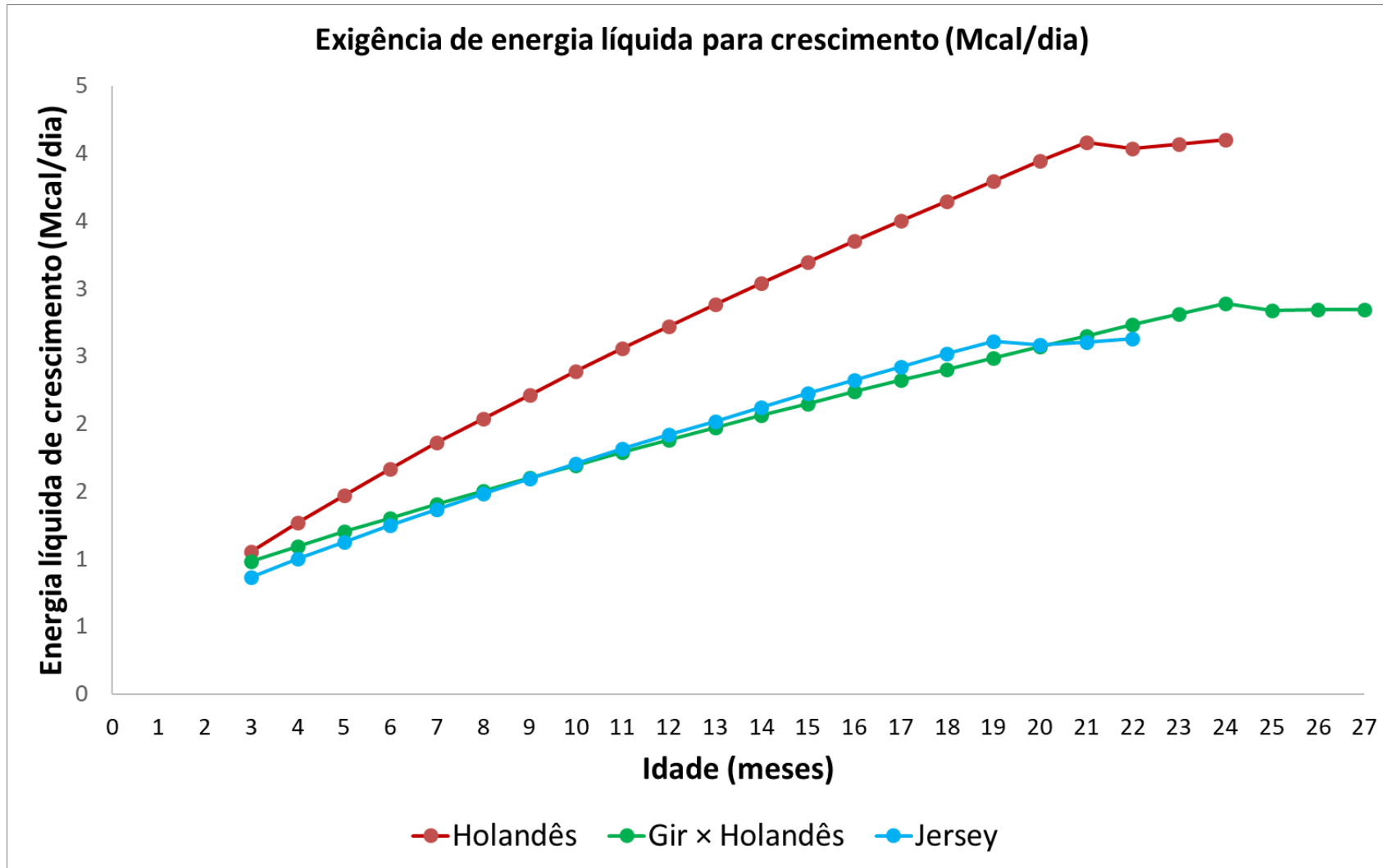


Figura 2. Exigência de energia líquida diária para crescimento de novilhas das raças Holandês, Holandês x Gir e Jersey.

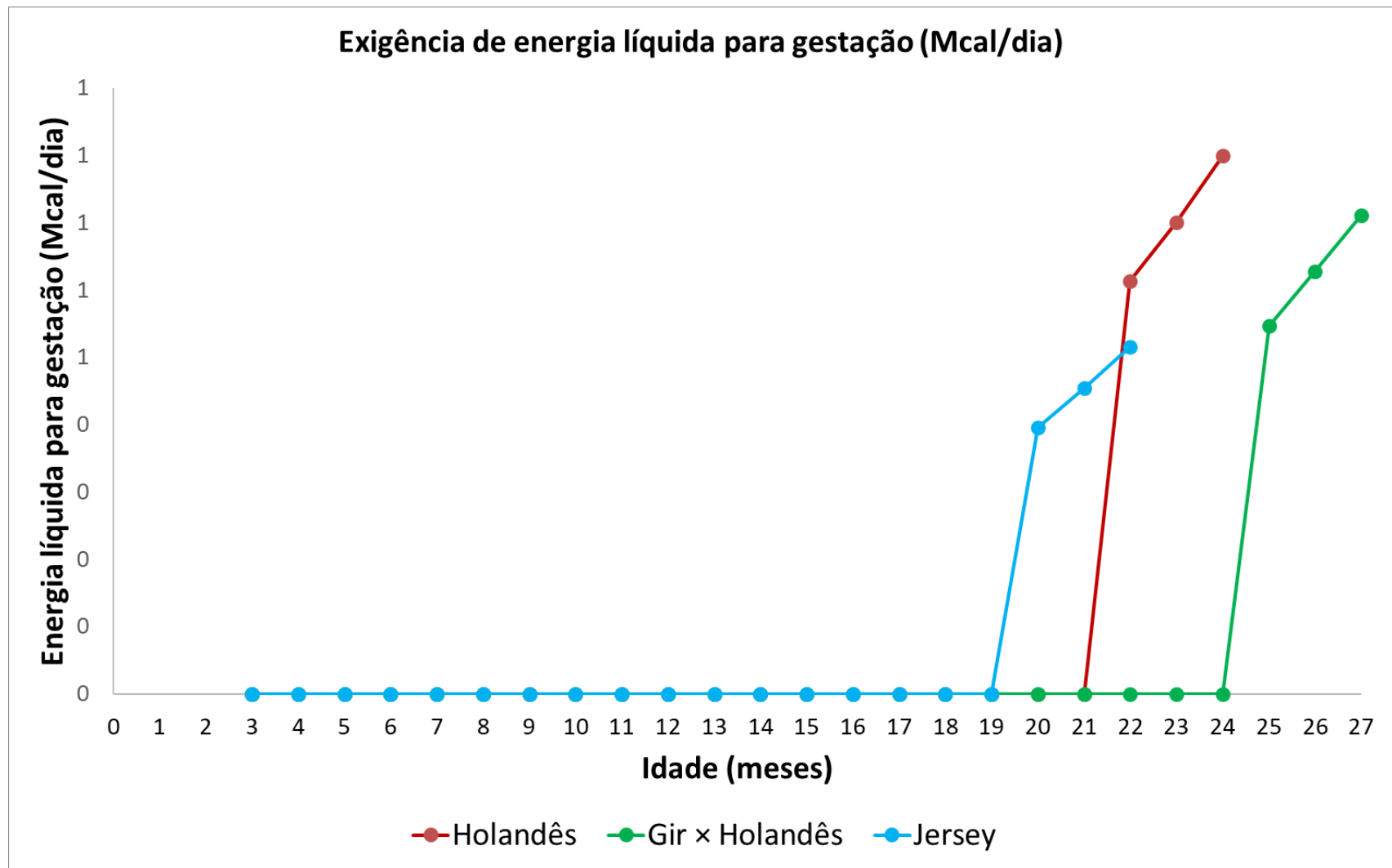


Figura 3. Exigência de energia líquida diária para gestação de novilhas das raças Holandês, Holandês x Gir e Jersey.

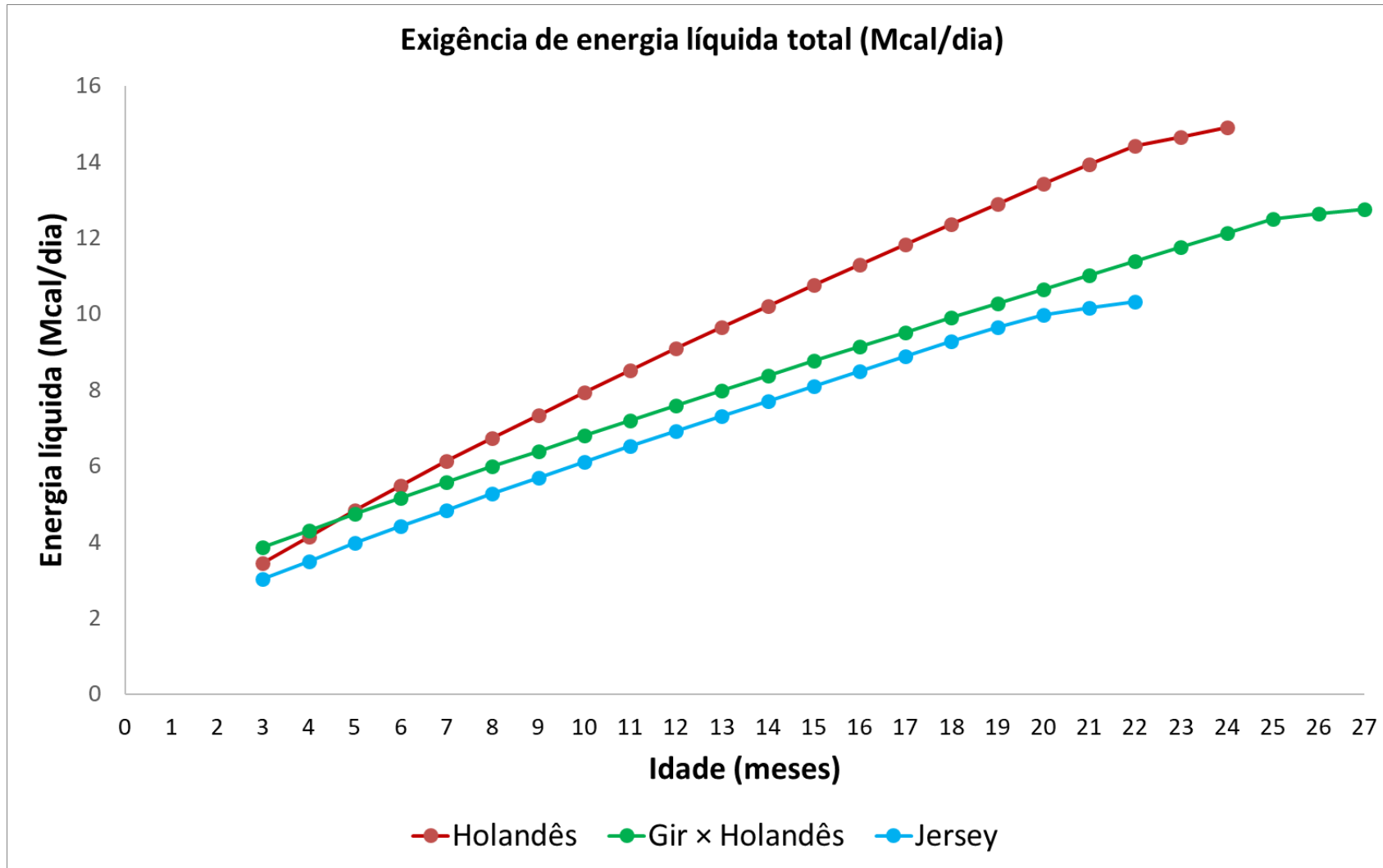


Figura 4. Exigência de energia líquida total diária de novilhas das raças Holandês, Holandês x Gir e Jersey.

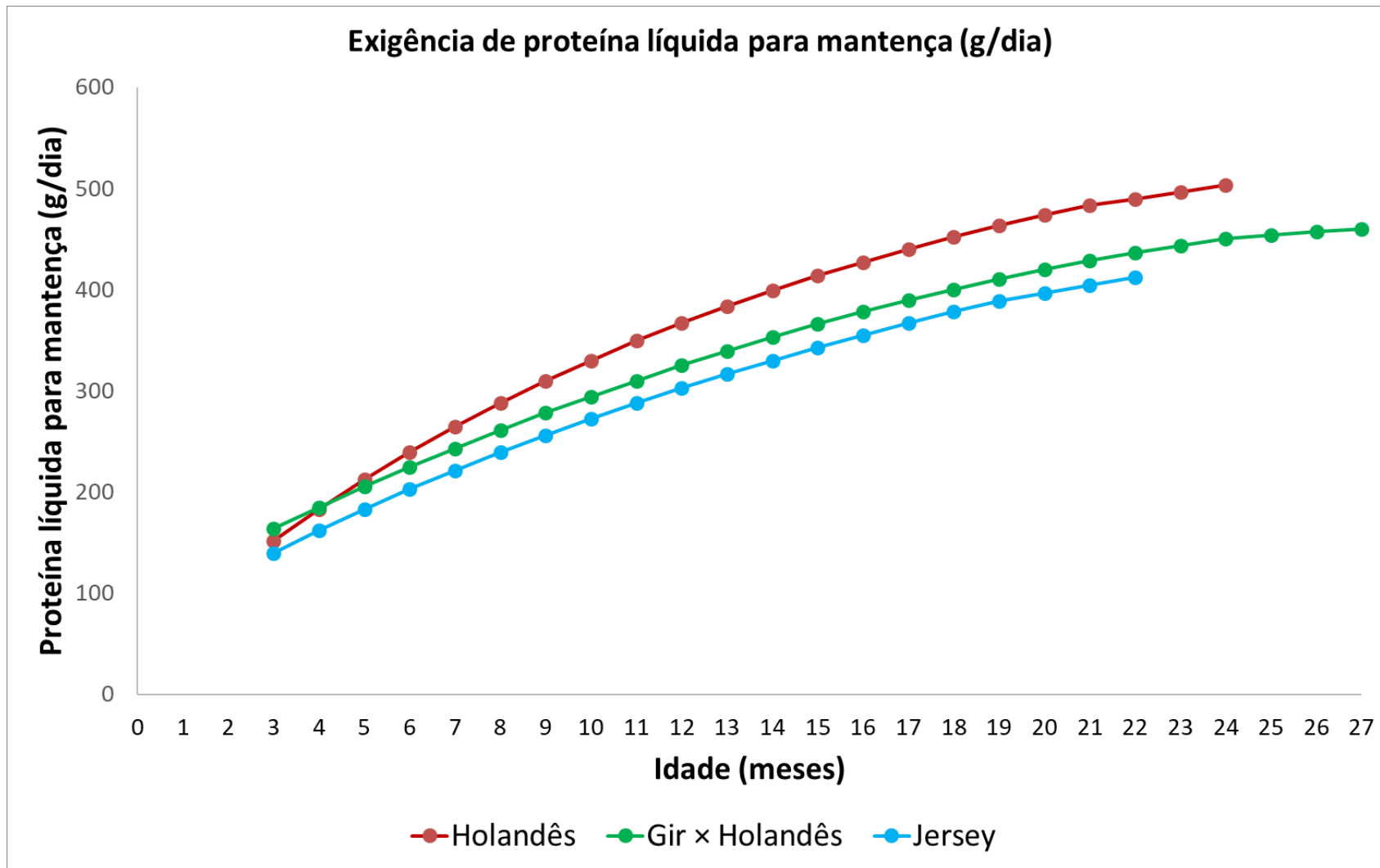


Figura 5. Exigência de proteína líquida diária para manutenção de novilhas das raças Holandês, Holandês x Gir e Jersey.

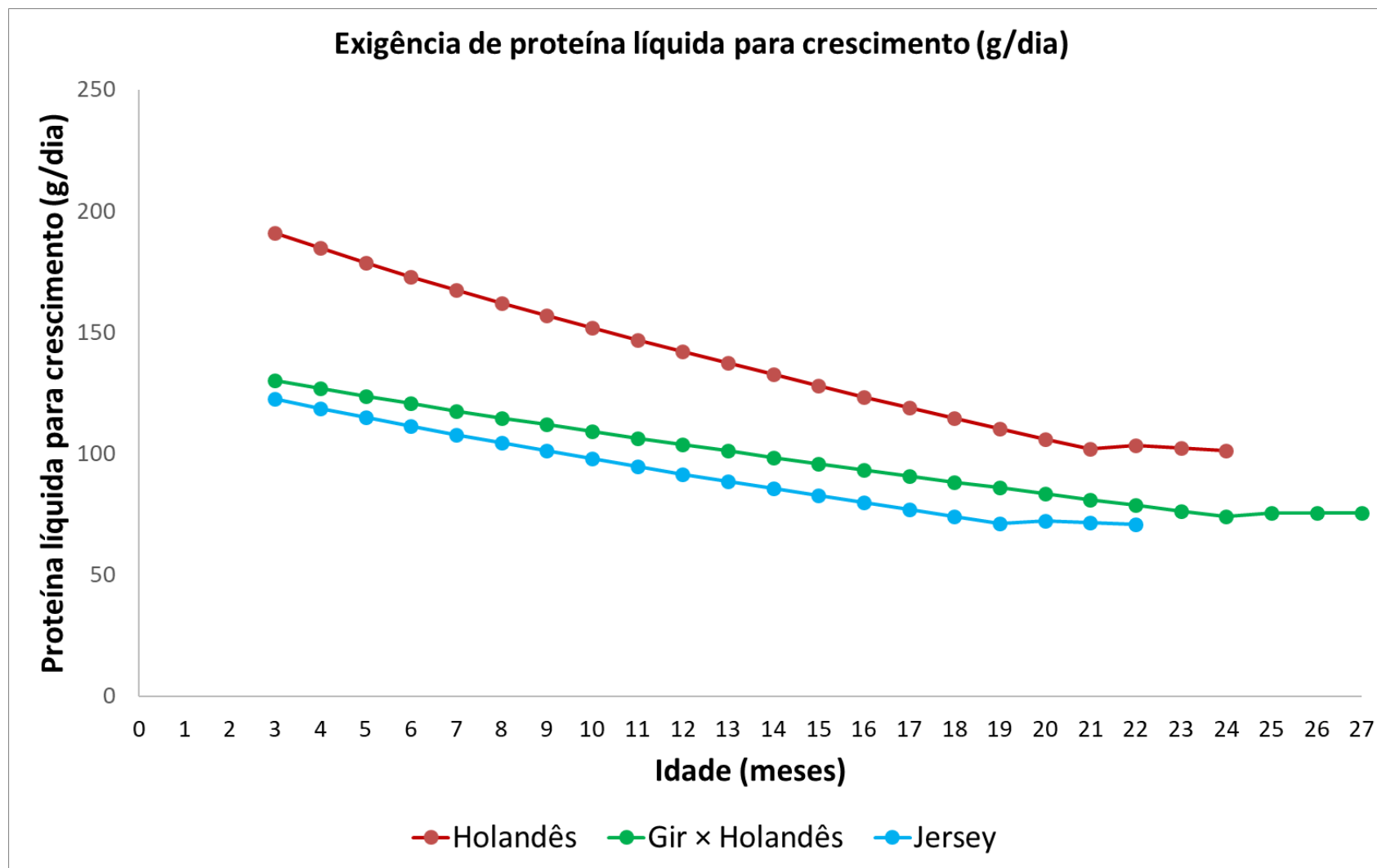


Figura 6. Exigência de proteína líquida diária para crescimento de novilhas das raças Holandês, Holandês x Gir e Jersey.

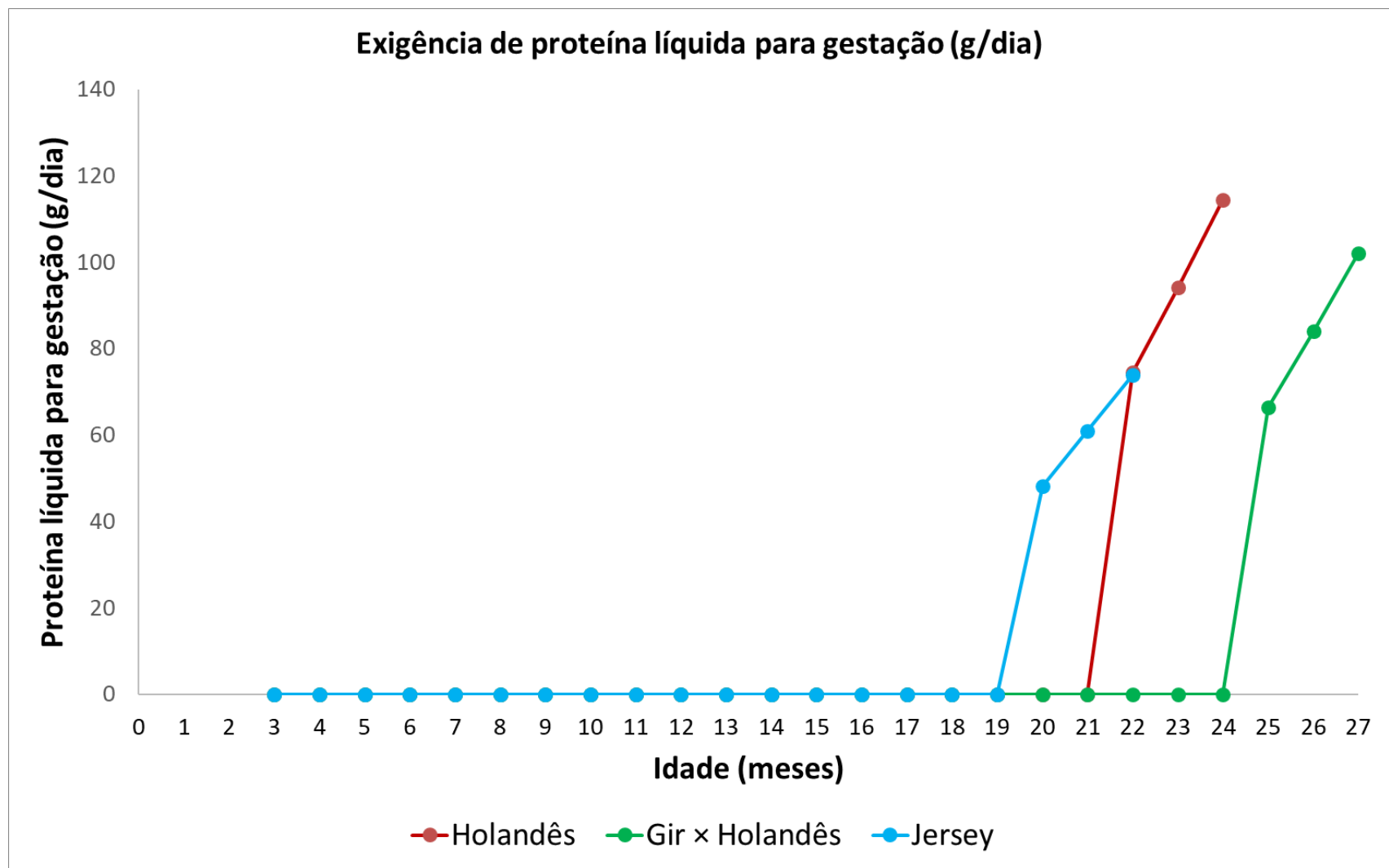


Figura 7. Exigência de proteína líquida diária para gestação de novilhas das raças Holandês, Holandês x Gir e Jersey.

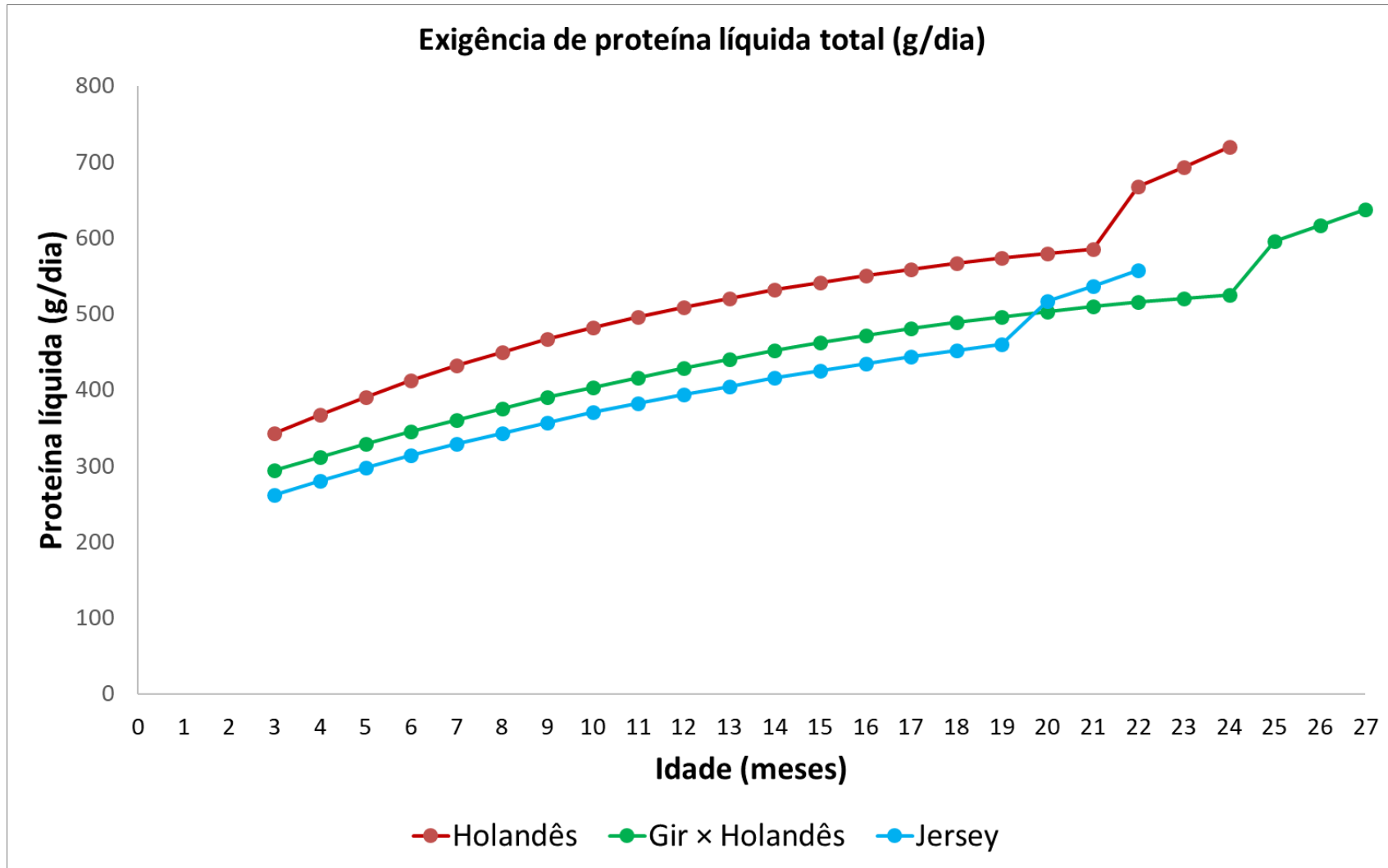


Figura 8. Exigência de proteína líquida total diária de novilhas das raças Holandês, Holandês x Gir e Jersey.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo esteve focado em avaliar o crescimento e CMS de novilhas leiteiras de diferentes grupamentos genéticos criadas em condições diferentes da grande maioria dos estudos presentes na literatura. Estas condições são basicamente de um clima mais quente e voltado a condições tropicais de produção. Nossos dados de crescimento indicaram os pesos corporais e alturas dos diferentes grupamentos genéticos estudados ao longo dos meses e, diferentemente do que se pensava, encontramos que novilhas mestiças HxG apresentaram semelhante taxa de maturação para peso vivo e altura de garupa. Para altura de cernelha não foi encontrado o mesmo efeito e isto pode ser devido a erros associados na hora da mensuração desta medida.

De uma forma geral é assumido que novilhas HxG são mais tardias. Contudo, a partir destes achados é possível supor que novilhas mestiças HxG, mesmo necessitando atingir 60% de PA para o 1º acasalamento, poderiam ser acasaladas aos 18 meses para alcançar primeiro parto aos 27 meses, que seriam valores ideais. Esta é uma resposta bastante interessante do ponto de vista prático, pois poderíamos reduzir a média de idade ao 1º parto para esse grupamento genético que atualmente no Brasil gira em torno de 30 meses. Isso se torna possível, pois o GPD (0,53 g/dia) da desmama até o primeiro acasalamento possibilita atingir 60% do PA aos 18 meses para novilhas HxG. Da mesma forma, para novilhas HOL e JER o crescimento em peso corporal está adequado e condizente com as recomendações presentes na literatura até o 1º acasalamento. Do 1º acasalamento ao 1º parto os GPD precisam ser aumentados para alcance dos 91% do PA no pré-parto para todas as três raças.

Outro ponto importante durante a condução desta pesquisa foi de que são muito poucos os estudos com crescimento de novilhas leiteiras publicados recentemente. Ainda, a grande maioria dos trabalhos é focada em novilhas HOL, sendo que alguns poucos estudos têm surgido avaliando o crescimento de animais HxG, JER ou ainda de outros grupamentos genéticos (escassez maior ainda). Caminhamos a passos curtos nesse sentido e o modelo do NRC Dairy Cattle (2001) ainda é o modelo que melhor descreve as exigências nutricionais de novilhas leiteiras.

Nossos achados também indicam que o peso vivo é uma das principais medidas para predizer o CMS de novilhas leiteiras, embora essa não seja nenhuma

novidade. As equações que apresentavam outras variáveis preditivas desempenharam pior que as que apresentavam apenas o peso vivo, ou combinado com o ganho de peso. A explicação para isso pode ser devido à diferença nos alimentos de hoje para àqueles da época de desenvolvimento das equações ou ainda na diferença entre os animais de hoje e do passado. Esse segundo argumento funciona bem para o caso da equação de predição de CMS do NRC Dairy Cattle (2001), a qual foi desenvolvida com gado de corte, posteriormente avaliada com dados de novilhas HOL, mas criadas em décadas passadas e que, possivelmente, apresentavam exigências de manutenção (menor) diferente das novilhas atuais. No mais, diferentes equações de predição de CMS foram encontradas como sendo adequadas para os dois grupamentos genéticos estudados (*Bos taurus* e cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus*) possivelmente devido as diferenças existentes entre estes grupos como, por exemplo, exigência de manutenção.

Por fim, são poucos os estudos recentes desenvolvidos com o objetivo de avaliar as exigências nutricionais de novilhas leiteiras, mesmo para novilhas HOL. Mais recentemente, alguns poucos trabalhos têm surgido neste sentido para novilhas HxG, contudo, ainda são poucos os estudos. Com outras raças e grupamentos genéticos os dados são praticamente inexistentes, como para JER. Portanto, são necessárias mais pesquisas para suprir essa lacuna no conhecimento. Futuras pesquisas poderiam estar focadas em 1) exigências nutricionais de novilhas JER em crescimento, 2) avaliar se o crescimento de novilhas Girolando também é semelhante ao crescimento de novilhas HOL, 3) mais estudos com medidas de altura ou outras que indiquem um adequado crescimento estrutural com diferentes grupamentos genéticos, e 4) estudos com exigências nutricionais para diferentes grupamentos genéticos além de HOL e HxG, como para JER, por exemplo.

ANEXOS

ANEXO A

Body growth of replacement dairy heifers from three distinct genetic groups from commercial Brazilian dairy herds

Supplementary Material S1

Supplementary Table S1. Non-linear models adjusted for body weight (kg) for each dairy cattle.

Genetic Group	Models	Parameters			Fit statistics			
		A	B*	K	AIC	BIC	R ²	RMSE
Gir x Holstein	Logistic I	601.89	5.0726	0.11130	6556.9	6553.8	0.9013	53.348
	Logistic II	607.33	2.8938	0.08986	6552.4	6549.3	0.9018	53.226
	Von Bertalanffy	611.03	0.5674	0.06912	6556.1	6553.0	0.9002	53.651
	Gompertz	608.67	2.1985	0.07935	6552.9	6549.8	0.9013	53.342
	Brody	629.64	1.0169	0.04986	6594.8	6591.7	0.8943	55.219
Holstein	Logistic I	844.36	3.0324	0.11990	9539.4	9550.4	0.8883	68.767
	Logistic II	683.50	3.2949	0.11610	9523.5	9524.5	0.8889	68.572
	Von Bertalanffy	681.17	0.6494	0.09154	9505.5	9506.5	0.8876	68.974
	Gompertz	683.85	2.5369	0.10400	9513.4	9514.4	0.8882	68.773
	Brody	690.17	1.1488	0.06722	9511.2	9512.2	0.8840	70.072
Jersey	Logistic I	439.88	7.5030	0.17280	7669.8	7670.8	0.8981	39.172
	Logistic II	440.15	3.6965	0.13640	7684.6	7685.6	0.8969	39.414
	Von Bertalanffy	338.71	1.5747	0.14100	7685.2	7686.2	0.8986	38.088
	Gompertz	356.77	5.9653	0.15440	7682.3	7683.2	0.8987	39.052
	Brody	457.52	1.1585	0.07822	7805.8	7806.7	0.8841	41.785

*parameter "m" for Logistic II, A = asymptote, B = coefficient of integration, K = rate of maturation, AIC = Akaike information criterion, BIC = Bayesian information criterion, R² = coefficient of determination, RMSE = root mean squared error.

Supplementary Table S2. Non-linear models adjusted for hip height (cm) for each dairy cattle.

Genetic	Models	Parameters			Fit statistics			
		A	B*	K	AIC	BIC	R ²	RMSE

Group		A	B	K	AIC	BIC	R ²	RMSE
Gir x Holstein	Logistic I	140.27	0.6365	0.11760	2548.9	2545.8	0.8551	4.943
	Logistic II	139.91	0.6978	0.12420	2549.9	2546.9	0.8548	4.948
	Von Bertalanffy	141.51	0.1616	0.09809	2545.8	2542.7	0.8586	4.928
	Gompertz	141.16	0.5186	0.10300	2546.5	2543.4	0.8557	4.932
	Brody	142.31	0.4246	0.08834	2544.3	2541.2	0.8564	4.921
Holstein	Logistic I	143.20	0.6821	0.12920	2894.3	2895.3	0.8184	5.593
	Logistic II	142.87	0.7374	0.13520	2895.1	2896.1	0.8183	5.594
	Von Bertalanffy	144.57	0.1715	0.10750	2891.8	2892.7	0.8185	5.591
	Gompertz	144.18	0.5517	0.11290	2892.3	2893.3	0.8185	5.591
	Brody	145.47	0.4481	0.09660	2890.8	2891.8	0.8185	5.591
Jersey	Logistic I	129.95	0.6805	0.12390	2371.3	2371.7	0.8595	4.547
	Logistic II	129.64	0.7365	0.12970	2371.3	2371.7	0.8596	4.545
	Von Bertalanffy	131.36	0.1700	0.10210	2371.4	2371.8	0.8588	4.558
	Gompertz	130.96	0.5477	0.10750	2371.3	2371.7	0.8589	4.555
	Brody	132.27	0.4434	0.09134	2371.6	2372.0	0.8584	4.565

*parameter "m" for Logistic II, A = asymptote, B = coefficient of integration, K = rate of maturation, AIC = Akaike information criterion, BIC = Bayesian information criterion, R² = coefficient of determination, RMSE = root mean squared error.

Supplementary Table S3. Non-linear models adjusted for withers height (cm) for each dairy cattle.

Genetic Group	Models	Parameters			Fit statistics			
		A	B*	K	AIC	BIC	R ²	RMSE
Gir x Holstein	Logistic I	140.10	0.6928	0.09888	2530.5	2527.4	0.8674	4.951
	Logistic II	139.62	0.7483	0.10420	2530.8	2527.7	0.8674	4.951
	Von Bertalanffy	142.51	0.1716	0.07807	2529.6	2526.6	0.8675	4.949
	Gompertz	141.81	0.5539	0.08327	2529.8	2526.7	0.8675	4.949
	Brody	144.17	0.4456	0.06769	2529.4	2526.3	0.8675	4.949
Holstein	Logistic I	138.51	0.7069	0.12780	2890.3	2891.3	0.8420	5.167
	Logistic II	138.14	0.7602	0.13360	2892.0	2893.0	0.8417	5.172
	Von Bertalanffy	139.87	0.1766	0.10610	2883.4	2884.3	0.8433	5.147
	Gompertz	139.49	0.5691	0.11150	2885.1	2886.0	0.8430	5.152
	Brody	140.78	0.4600	0.09512	2880.1	2881.1	0.8438	5.138
Jersey	Logistic I	127.75	0.6819	0.11340	2322.7	2323.1	0.8587	4.531
	Logistic II	127.37	0.7383	0.11920	2323.2	2323.6	0.8587	4.531
	Von Bertalanffy	129.44	0.1700	0.09204	2321.0	2321.4	0.8585	4.534
	Gompertz	128.96	0.5480	0.09737	2321.3	2321.7	0.8586	4.533
	Brody	130.55	0.4429	0.08142	2320.3	2320.7	0.8584	4.537

*parameter "m" for Logistic II, A = asymptote, B = coefficient of integration, K = rate of maturation, AIC = Akaike information criterion, BIC = Bayesian information criterion, R² = coefficient of determination, RMSE = root mean squared error.

ANEXO B**Feed intake of growing dairy heifers raised under tropical conditions:
A model evaluation using meta-analysis****Supplementary Material S1**

Supplementary Table S1 Selected studies to create the database for the evaluation of the dry matter intake equations for replacement dairy heifers

Authors	Country	N ¹	Breed
Aguiar et al. (2015)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Alemu et al. (2005)	Ethiopia	3	Crossbred (Holstein × Boran)
Almeida et al. (2015)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Aranda et al. (2001)	Mexico	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Araujo et al. (2011)	Brazil	5	Crossbred (Holstein × Zebu)
Barbosa (2012)	Brazil	2	Crossbred (Holstein × Jersey)
Barros et al. (2018)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Gyr)
Burgos (2013)	Brazil	2	Holstein
Carvalho et al. (2005)	Brazil	3	Holstein
Coronel-Robles et al. (2016)	Mexico	3	Holstein
Cruz et al. (2020)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Gyr)
Dias et al. (2008)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Gyr)
Faria (2000)	Brazil	5	Holstein and Crossbred (Holstein × Zebu)
Farias et al. (2012)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Franco et al. (2016)	Brazil	6	Holstein and Crossbred (Holstein × Zebu)
Gallo et al. (2019)	Brazil	3	Holstein
Garcia et al. (2006)	Brazil	4	Holstein
Gojjam et al. (2011)	Ethiopia	2	Crossbred (Holstein × Boran)
Gonçalves et al. (2014)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Guimarães (2010)	Brazil	4	Holstein
Inácio et al. (2017)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Gyr)
Janet et al. (2004)	Ethiopia	9	Crossbred (Holstein × Boran)
Kaitho and Kariuki (1998)	Kenya	4	Holstein
Kamphayae et al. (2017)	Thailand	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Kariuki et al. (1998)	Kenya	3	Holstein

Kariuki et al. (1999)	Kenya	4	Holstein
Lage (2016)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Gyr)
Lima et al. (2009)	Brazil	3	Crossbred (Holstein × Jersey)
Machado et al. (2020)	Brazil	3	Crossbred (Holstein × Gyr)
Maciel et al. (2012)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Martins (2017)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Gyr)
Matos (2009)	Brazil	2	Crossbred (Holstein × Jersey)
Mendes Neto et al. (2007)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Mendonça et al. (2010)	Brazil	5	Crossbred (Holstein × Zebu)
Miranda et al. (1999ab)	Brazil	5	Crossbred (Holstein × Zebu)
Molina-Botero et al. (2019)	Mexico	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Monteiro et al. (2014)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Gyr)
Mora et al. (2017)	Mexico	2	Crossbred (Holstein × Zebu)
Mota et al. (2013)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Oliveira et al. (2005; 2009)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Ornelas et al. (2019)	Brazil	6	Crossbred (Holstein × Gyr)
Pancoti (2015)	Brazil	2	Holstein and Crossbred (Holstein × Gyr)
Pereira et al. (2003)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Pereira et al. (2008)	Brazil	2	Crossbred (Holstein × Zebu)
Pinheiro et al. (2012)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Gyr)
Queiroz (2010)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Gyr)
Quirino (2019)	Brazil	2	Holstein and Crossbred (Holstein × Gyr)
Rangel et al. (2010)	Brazil	4	Holstein and Brown Swiss
Rodrigues et al. (2009)	Brazil	2	Crossbred (Holstein × Jersey)
Santana et al. (2010)	Brazil	5	Crossbred (Holstein × Gyr)
Santos et al. (2010)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Siécola Júnior et al. (2014)	Brazil	2	Crossbred (Holstein × Gyr)
Silva et al. (2006)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Silva (2017)	Brazil	6	Crossbred (Holstein × Gyr)
Silva et al. (2018)	Brazil	6	Holstein
Sousa (2018)	Brazil	2	Crossbred (Holstein × Gyr)
Souza et al. (2006)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Souza (2018)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Teixeira et al. (2007)	Brazil	4	Crossbred (Holstein × Zebu)
Teixeira et al. (2014)	Brazil	2	Crossbred (Holstein × Zebu)
Vieira (2006)	Brazil	3	Holstein

¹Number of treatment means.

References

- Aguiar MSMA, Silva FF, Donato SLR, Rodrigues ESO, Costa LT, Mateus RG, Souza DR and Silva VL 2015. Forage cactus in diets of confined dairy cattle: performance and economic viability. *Semina: Ciências Agrárias*, 36, 1013–1030.
- Alemu T, Chairatanayuth P, Vijchulata P and Tudsri S 2005. The potential of urea treated maize stover for growth performance of weaned crossbred calves. *Kasetsart Journal*, 39, 638–646.
- Almeida GAP, Campos JMS, Ferreira MA, Correia ALV and Andrade AP 2015. Palm (*Opuntia ficus indica* mill) cv. Giant in supplements for growth dairy females in pasture. *Revista Caatinga*, 28, 161–171.
- Aranda E, Mendoza GD, García-Bojalil C and Castrejón F 2001. Growth of heifers grazing stargrass complemented with sugar cane, urea and a protein supplement. *Livestock Production Science*, 71, 201–206.
- Araújo WA, Paulino PV, Marcondes MI, Carvalho CGV and Silva FCO 2011. Performance and carcass traits of crossbred heifers from three genetic groups fed corn or sorghum silage-based diets. *Ciência Animal Brasileira*, 12, 101–107.
- Barbosa LS 2012. Uso de sombreamento sobre índices térmicos, respostas fisiológicas e desempenho de bezerras cruzadas ½ Holandês x ½ Jersey a pasto. Master's thesis, Goiás State University, Anápolis, GO, Brazil.
- Barros LJA, Ferreira MA, Oliveira JCV, Santos DC, Chagas JCC, Alves AMSV, Silva AEM, Freitas WR 2018. Replacement of Tifton hay by spineless cactus in Girolando post-weaned heifers' diets. *Tropical Animal Health and Production*, 50, 149–154.
- Burgos EMG 2013. Desempenho de novilhas leiteiras alimentadas com diferentes volumosos. Master's thesis, Federal University of Viçosa, Viçosa, MG, Brazil.
- Carvalho MC, Ferreira MA, Cavalcanti CVA, Lima LE, Silva FM, Miranda KF, Vêras ASC, Azevedo M and Vieira VCF 2005. Association of sugar cane bagasse, forage cactus and urea with different supplements in diets of Holstein heifers. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 27, 247–252.
- Coronel-Robles U, Ortega-Cerrilla ME, Mendoza-Martínez GD, Zetina-Córdoba P, Torres-Esqueda MTS, Munguía-Ameca G, Teco-Jácome MV 2016. Productive response and progesterone concentration in Holstein heifers supplemented with *Saccharomyces cerevisiae*¹⁰⁷⁷ or *Saccharomyces boulardii*¹⁰⁷⁹. *Journal of Animal and Plant Science*, 26, 17–24.
- Cruz AAC 2018. Desempenho de novilhas Girolando alimentadas com dietas à base de palma forrageira, cana-de-açúcar mais ureia e concentrado. Master's thesis, Federal Rural University of Pernambuco, Recife, PE, Brazil.
- Dias AM, Silva FF, Veloso CM, Ítavo LCV, Pires AJV, Souza DR, Sá JF, Mendes FBL and Nascimento PVN 2008. Cassava bagasse in diets of dairy heifers: intake of nutrients and productive performance. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60, 987–995.
- Faria ES 2000. Avaliação de níveis de fibra na dieta de novilhas leiteiras de diferentes grupos zootécnicos. Doctor's thesis, Federal University of Viçosa, Viçosa, MG, Brazil.
- Farias MS, Prado IN, Valero MV, Zawadzki F, Silva RR, Eiras CE, Rivaroli DC and Lima BS 2012. Glycerine levels for crossbred heifers growing in pasture: performance, feed intake, feed efficiency and digestibility. *Semina: Ciências Agrárias*, 33, 1177–1188.
- Franco MO, Marcondes MI, Campos JMS, Detmann E, Valadares Filho SC and Freitas DR 2016. Performance of dairy females fed dried yeast from sugar cane. *Acta Scientiarum Animal Science*, 38, 205–212.
- Gallo PCS, Pereira MN, Campos GP, Gallo SB 2019. Effects of neutral detergent fiber concentration of sugarcane-based diets on the performance of Holstein heifers. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 40, 947–956.

- Garcia JAS, Vieira PF, Cecon PR, Setti MC, McManus C and Louvandini H 2006. Performance of growing cattle fed sunflower meal. *Ciência Animal Brasileira*, 7, 223–233.
- Gojjam Y, Tolera A and Mesfin R 2011. Management options to accelerate growth rate and reduce age at first calving in Friesian–Boran crossbred heifers. *Tropical Animal Health and Production*, 43, 393–399.
- Gonçalves MF, Oliveira MV, Nogueira HCR, Santos APS, França AMS, Hermisdorff IC, Santos RM 2014. Desempenho de novilhas alimentadas com co-produtos da indústria do milho ou do ácido cítrico. *Veterinária Notícias*, 20, 28–36.
- Guimarães AV 2010. Desempenho de novilhas leiteiras alimentadas com farelo de mamona e valor energético do farelo e torta da mamona. Master's thesis, Federal University of Viçosa, Viçosa, MG, Brazil.
- Inácio JG 2016. Bagaço de cana-de-açúcar como volumoso exclusivo para novilhas leiteiras. Master's thesis, Federal Rural University of Pernambuco, Recife, PE, Brazil.
- Jenet A, Fernandez-Rivera A, Tegegne A, Yimegnuhail A, Osuji PO, Kreuzer M 2004. Growth and feed conversion of Boran (*Bos indicus*) and Holstein × Boran heifers during three physiological states receiving different levels of a tropical diet. *Livestock Production Science*, 89, 159–173.
- Kaitho RJ and Kariuki JN 1998. Effects of Desmodium, Sesbania and Calliandra supplementation on growth of dairy heifers fed *Napier* grass basal diet. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 11, 680–684.
- Kamphayae S, Kumagai H, Butcha P, Rituechai V, Udchachon S 2017. Yeast mixture of liquid beer and cassava pulp with rice straw for the growth of dairy heifers. *Tropical Animal Health and Production*, 49, 491–496.
- Kariuki JN, Gachuri CK, Gitau GK, Tamminga S, van Bruchem J, Muia JMK and Irungu KRG 1998. Effect of feeding *Napier* grass, lucerne and sweet potato vines as sole diets to dairy heifers on nutrient intake, weight gain and rumen degradation. *Livestock Production Science*, 55, 13–20.
- Kariuki JN, Gitau GK, Gachuri CK, Tamminga S, Muia JMK 1999. Effect of supplementing *Napier* grass with desmodium and lucerne on DM, CP and NDF intake and weight gains in dairy heifers. *Livestock Production Science*, 60, 81–88.
- Lage CFS 2016. Desenvolvimento corporal, idade à puberdade e desenvolvimento da glândula mamária de fêmeas mestiças leiteiras aleitadas com diferentes teores de sólidos totais na dieta líquida. Master's thesis, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil.
- Lima MLM, Fernandes JJR, Carvalho ER, Santos SC, Cruz MC and Brito ACF 2009. Performance of dairy crossbred heifers fed sugar cane corrected and supplemented with concentrate having *Quillaja saponaria molina* extract. *Ciência Animal Brasileira*, 10, 730–734.
- Machado AF, Guimarães SEF, Guimarães JD, Santos GM, Silva AL, Silva YFRS, Lollobrigida Netto DS, Correa PVF, Marcondes MI 2020. Effect of protein supplement level on the productive and reproductive parameters of replacement heifers managed in intensive grazing systems. *Plos One*, 15, e0239786.
- Maciel RP, Neiva JNM, Araujo VL, Cunha OFR, Paiva J, Restle J, Mendes CQ and Lôbo RNB 2012. Intake, nutrient digestibility and performance of dairy heifers fed diets containing palm kernel cake. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, 698–706.
- Martins PC 2017. Consumo alimentar residual e ganho de peso residual em novilhas f1 Girolando. Master's thesis, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil.
- Matos BC 2009. Efeito da relação proteína metabolizável:energia metabolizável da ração de novilhas pré-púberes em crescimento acelerado. Master's thesis, University of São Paulo, Piracicaba, SP, Brazil.

- Mendes Neto J, Campos JMS, Valadares Filho SC, Lana RP, Queiroz AC and Euclides RF 2007. Effects of partial replacement of *Tifton 85* hay with citrus pulp on intake, performance, and development of dairy heifers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 626–634.
- Mendonça BPC, Lana RP, Mancio AB, Detmann E, Barbosa AM and Guimarães G 2010. Levels of mineral mixture and urea in supplementation of crossbred heifers, with Gyr predominance, reared at pasture during the dry season. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 2273–2280.
- Miranda LF, Queiroz AC, Valadares Filho SC, Cecon PR, Pereira ES, Paulino MF, Campos JMS and Miranda JR 1999a. Performance and ponderal development of dairy heifers fed sugar cane based diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28, 605–613.
- Miranda LF, Queiroz AC, Valadares Filho SC, Cecon PR, Pereira ES, Campos JMS, Lana RP and Miranda JR 1999b. Ingestive behavior of dairy heifers fed sugar cane based diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28, 614–620.
- Molina-Botero IC, Arroyave-Jaramillo J, Valencia-Salazar S, Barahona-Rosales R, Aguilar-Pérez CF, Burgos AA, Arango J, Ku-Vera JC 2019. Effects of tannins and saponins contained in foliage of *Gliricidia sepium* and pods of *Enterolobium cyclocarpum* on fermentation, methane emissions and rumen microbial population in crossbred heifers. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 1–11.
- Monteiro CCF, Melo AAS, Ferreira MA, Campos JMS, Souza JSR, Silva ETS, Andrade RPX and Silva EC 2014. Replacement of wheat bran with spineless cactus (*Opuntia ficus indica* Mill cv Gigante) and urea in the diets of Holstein x Gyr heifers. *Tropical Animal Health and Production*, 46, 1149–1154.
- Mora BV, Castillo-Gallegos E, Alonso-Díaz MÁ, Ocanã-Zavaleta E, Jarillo-Rodríguez J 2017. Live-weight gains of Holstein 3 Zebu heifers grazing a *Cratylia argentea*/Toledo-grass (*Brachiaria brizantha*) association in the Mexican humid tropics. *Tropical Animal Health and Production*, 91, 1057–1068.
- Mota DA, Berchielli TT, Canesin RC, Rosa BL, Ribeiro AF and Brandt HV 2013. Nutrient intake, productive performance and body measurements of dairy heifers fed with different sources of protein. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 35, 273–279.
- Oliveira MVM, Lana RP, Freitas AWP, Eifert EC, Pereira JC, Valadares Filho SC and Pérez JRO 2005. Effects of different dietary levels of monensin on nutrient digestibility and on ruminal, blood and urinary metabolites in dairy heifers. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 2143–2154.
- Oliveira MVM, Lana RP, Eifert EC, Luz DF and Vargas Junior FM 2009. Performance of Holstein heifers in feedlot receiving monensin at different levels. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 1835–1840.
- Ornelas LTC, Silva DC, Tomich TR, Campos MM, Machado FS, Ferreira AL, Maurício RM, Pereira LGR 2019. Differences in methane production, yield and intensity and its effects on metabolism of dairy heifers. *Science of the Total Environment*, 689, 1133–1140.
- Pancoti CG 2019. Exigências nutricionais de energia em novilhas Gir, Holandês e F1 – Holandês x Gir. Doctor's thesis, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil.
- Pereira JC, Silva PRC, Cecon PR, Resende Filho MA and Oliveira RL 2003. Broiler-litter and supplement based on ruminal microbiota in dairy heifers diets: Performance and economic evaluation. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32, 653–662.
- Pereira JC, Cunha DNFV, Cecon PR and Faria ES 2008. Performance, rectal temperature and respiratory ratio of dairy heifers from three genetic groups fed diets with different levels of fiber. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 328–334.
- Pinheiro AA, Veloso CM, Rocha Neto AL, Silva RR, Silva FF, Mendes FBL, Santana Júnior HA, Azevedo ST and Carvalho GGP 2012. Ingestive behavior of dairy heifers fed cocoa (*Theobroma cacao*) meal levels in the diet. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 13, 224–236.

- Queiroz MFS 2010. Teores crescentes de proteína bruta em dietas à base de cana-de-açúcar para novilhas Holandês x Gir. Doctor's thesis, São Paulo State University, Jaboticabal, SP, Brazil.
- Quirino DF 2019. Behavior, performance, and tick incidence in Girolando and Holstein grazing heifers. Master's thesis, Federal University of Viçosa, Viçosa, MG, Brazil.
- Rangel AHN, Campos JMS, Oliveira AS, Valadares Filho SC, Assis AJ and Souza SM 2010. Performance and nutritional parameters of growing heifers fed corn silage or sugar cane with concentrate. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 2518–2526.
- Rodrigues AA, Flores OS, Ferreira Junior AG, Netto DP, Ferreira RP and Pedroso AF 2009. Dry matter intake and weight gain of dairy heifers fed sugar cane and grazing alfalfa. In: 46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Maringá, PR, Brazil. 3p. 1–3. Sociedade Brasileira de Zootecnia, Brazil.
- Santana DFY, Lira MA, Santos MVF, Ferreira MA, Santos DC, Mello ACL, Dubeux Júnior JCB, Araujo GGL 2010. Dry matter intake and performance of Girolando and Guzerá heifers and Guzerá under supplementation in caatinga, during the rainy season, in Pernambuco, Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 2148–2154.
- Santos SA, Campos JMS, Valadares Filho SC, Detmann E, Oliveira AS and Souza SM 2010. Productive performance of growing dairy heifers fed corn silage and soybean or cottonseed meal based concentrate. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 638–647.
- Siécola Júnior S, Bitencourt LL, Melo LQ, Silveira VA, Lopes NM, Silva JRM, Pereira RAN and Pereira MN 2014. Deleafed sugarcane and performance of heifers and dairy cows. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66, 219–228.
- Silva FF, Aguiar MSMA, Veloso CM, Pires AJV, Bonomo P, Dutra GS, Almeida VS, Carvalho GGP, Silva RR, Dias AM and Ítavo LCV 2006. Performance of dairy heifers fed on elephantgrass silage added with different levels of cassava bagasse. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 58, 205–211.
- Silva DC 2017. Metabolismo em novilhas Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar. Master's thesis, State University of Southwestern Bahia, Itapetinga, BA, Brazil.
- Silva AL, Detmann E, Dijkstra J, Pedroso AM, Silva LHP, Machado AF, Sousa FC, Santos GB, Marcondes MI 2018. Effects of rumen-undegradable protein on intake, performance, and mammary gland development in prepubertal and pubertal dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 101, 5991–6001.
- Sousa MG 2018. Proteína degradável no rúmen em suplementos múltiplos para novilhas Girolandas à pasto. Master's thesis, Federal University of Jequitinhonha and Mucuri Valleys, Diamantina, MG, Brazil.
- Souza AL, Garcia R, Bernardino FS, Campos JMS, Valadares Filho SC, Cabral LS and Gobbi KF 2006. Coffee hulls in dairy heifers diet: intake, digestibility, and production. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 921–927.
- Souza DD 2018. Farelo de mamona em dietas para novilhas leiteiras em pastejo. Doctor's thesis, State University of Southwestern Bahia, Itapetinga, BA, Brazil.
- Teixeira RMA, Campos JMS, Valadares Filho SC, Oliveira AS, Assis AJ and Pina DS 2007. Intake, digestibility and performance of dairy heifers fed coffee hulls replacing of corn silage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 968–977.
- Teixeira FA, Silva FF, Bonomo P, Pires AJV, Nascimento PVN and Gonçalves Neto J 2014. Performance of dairy heifers grazing on *Urochloa decumbens* pastures deferred for two periods. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 36, 109–115.
- Vieira VCF 2006. Associação do bagaço de cana-de-açúcar, palma forrageira e ureia com diferentes suplementos em dietas de novilhas da raça Holandesa. Master's thesis, Federal Rural University of Pernambuco, Recife, PE, Brazil.

ANEXO C

- Escore de condição corporal na escala de 1 a 9 ($ECC9$)

$$ECC9 = ((ECC - 1) \times 2) + 1$$
- Efeito compensatório do plano nutricional prévio ($COMP$)

$$COMP = 0,8 + ((ECC9 - 1) \times 0,05)$$
- Peso vivo ao nascimento (PVN)

$$PVN (kg) = PA \times 0,06275$$
- Peso do concepto ($PConc$)

$$PConc (kg) = (18 + ((DiasGest - 190) \times 0,665)) \times (PVN/45)$$
- Peso vivo em jejum (PV_j)

$$PV_j (kg) = PV \times 0,96$$
- **Exigência de energia líquida de manutenção (EL_m)**

$$EL_m (Mcal/dia) = (((PV_j - PConc)^{0,75} \times (0,086 \times COMP)))$$
- Concentração de energia digestível da dieta (ED)

$$ED (Mcal/kg) = 0,04409 \times NDT$$
- Concentração de energia metabolizável da dieta (EM)

$$EM (Mcal/kg) = 1,01 \times ED - 0,45$$
- Concentração de energia líquida de ganho da dieta (EL_{gDieta})

$$EL_{gDieta} (Mcal/kg) = 1,42 \times EM - 0,174 \times (EM^2) + 0,0122 \times (EM^3) - 1,65$$
- Ganho de peso diário em jejum (GPD_j)

$$GPD_j (kg) = 13,91 \times (EL_{gDieta}^{0,9116}) \times (EQPV_j^{0,6837})$$
- Peso adulto em jejum (PA_j)

$$PA_j (kg) = PA \times 0,96$$
- Peso vivo em jejum equivalente ao animal referência ($EQPV_j$)

$$EQPV_j (kg) = PV_j \times (478/PA_j)$$
- Ganho de peso diário de corpo vazio equivalente ao animal referência ($EQGPD_v$)

$$EQGPD_v (kg) = 0,956 \times GPD_j$$
- Peso de corpo vazio equivalente ao animal referência ($EQPV_v$)

$$EQPV_v (kg) = EQPV_j \times 0,891$$
- **Exigência de energia líquida de ganho (energia retida) (EL_g)**

$$EL_g (Mcal/dia) = 0,0635 \times (EQPV_v^{0,75}) \times (EQGPD_v^{1,097})$$
- Proteína bruta endógena (PB_{Endo})

$$PB_{Endo} (g/dia) = 11,8 \times CMS$$
- Proteína metabolizável endógena (PM_{Endo})

$$PM_{Endo} (g/dia) = 0,4 \times PB_{Endo}$$
- Exigência de proteína líquida endógena ($ExEndo$)

$$ExEndo (g/dia) = PM_{Endo}/0,67$$
- Consumo de matéria seca (CMS)

→ Se Holandês e Jersey (Hoffman et al., 2008),

$$CMS (kg/dia) = 12,91 \times (1 - e^{(-0,00295 \times PV)})$$

→ Se Holandês x Gir (Stallings et al., 1985), $CMS (kg/dia) = -0,417 + 0,03325 \times PV - 0,0000266154 \times PV^2$
- Produção de proteína microbiana (PB_{Microb})

$$PM_{Microb} (g/dia) = 0,13 \times NDT \times CMS$$

- Proteína metabolizável fornecida pela proteína microbiana (PM_{Bact})

$$PM_{Bact} (g/dia) = 0,64 \times PB_{Microb}$$

- Exigência de proteína líquida metabólica fecal ($ExFecal$)

$$ExFecal (g/dia) = (CMS \times 1000 \times 0,03 - 0,5 \times ((PM_{Bact}/0,8) - PM_{Bact}))$$

- Exigência de proteína líquida urinária ($ExUri$)

$$ExUri (g/dia) = (4,1 \times (PV - PConc)^{0,5})$$

- Exigência de proteína líquida devido à descamação epitelial ($ExDescEpit$)

$$ExDescEpit (g/dia) = (0,3 \times (PV - PConc)^{0,6})$$

- **Exigência de proteína líquida para manutenção (PL_m)**

$$PL_m (g/dia) = ExDescEpit + ExUri + ExFecal + ExEndo$$

- **Exigência de proteína líquida para ganho (PL_g)**

$$PL_g (g/dia) = GPD \times (268 - (29,4 \times (EL_g/GPD)))$$

- Eficiência do uso da energia metabolizável para gestação ($EfEM_{gest}$)

$$EfEM_{gest} = 0,14$$

- **Exigência de energia líquida para gestação (EL_{gest})**

$$EL_{gest} (Mcal/dia) = ((2 \times 0,00159 \times DiasGest - 0,0352) \times (PVN/45))/EfEM_{gest}$$

- Eficiência do uso da proteína metabolizável para gestação ($EfPM_{gest}$)

$$EfPM_{gest} = 0,33$$

- **Exigência de proteína líquida para gestação (PL_{gest})**

$$PL_{gest} (g/dia) = (((0,69 \times DiasGest) - 69,2) \times (PVN/45))/EfPM_{gest}$$