



**FELIPE AMORIM CAETANO DE SOUZA**

**CURVAS DE CRESCIMENTO EM EQUINOS DA RAÇA  
MANGALARGA MARCHADOR UTILIZANDO MÉTODO  
TRANSVERSAL**

**LAVRAS - MG  
2017**

**FELIPE AMORIM CAETANO DE SOUZA**

**CURVAS DE CRESCIMENTO EM EQUINOS DA RAÇA MANGALARGA  
MARCHADOR UTILIZANDO MÉTODO TRANSVERSAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação  
em Zootecnia, área de concentração Produção e Nutrição de  
Não Ruminantes, para a obtenção do título de mestre.

Orientadora

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Sarah Laguna Conceição Meirelles

Coorientadores

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Raquel Silva de Moura

Prof<sup>º</sup>. Dr<sup>º</sup> Joel Augusto Muniz

**LAVRAS – MG**

**2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Souza, Felipe Amorim Caetano de.

Curvas de crescimento em equinos da raça Mangalarga  
Marchador utilizando método transversal / Felipe Amorim Caetano  
de Souza. - 2017.

104 p. : il.

Orientador(a): Sarah Laguna Conceição Meirelles.

Coorientador(a): Raquel Silva de Moura, Joel Augusto Muniz.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Medidas morfométricas. 2. Modelos. 3. Peso Vivo. I.  
Meirelles, Sarah Laguna Conceição. II. Moura, Raquel Silva de. III.  
Muniz, Joel Augusto. IV. Título.

**FELIPE AMORIM CAETANO DE SOUZA**

**CURVAS DE CRESCIMENTO EM EQUINOS DA RAÇA MANGALARGA  
MARCHADOR UTILIZANDO MÉTODO TRANSVERSAL**

**GROWTH CURVES IN MANGALARGA MARCHADOR HORSES USING CROSS-  
SECTIONAL METHOD**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação  
em Zootecnia, área de concentração Produção e Nutrição de  
Não Ruminantes, para a obtenção do título de mestre.

Aprovada em 22 de fevereiro de 2017.

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Raquel Silva de Moura

UFLA

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup>. Tales Jesus Fernandes

UFLA

Dr<sup>a</sup> Sandra Aparecida Santos

EMBRAPA PANTANAL

Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Sarah Laguna Conceição Meirelles

**LAVRAS – MG  
2017**

*A Deus por sempre me conduzir para o caminho da paz, perseverança e honestidade.*

**DEDICO**

*A minha família, especialmente meus pais João Marcos e Helenice, meus irmãos Diego e Lucas.*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre fortalecer minha fé, ajudando-me a vencer todas as batalhas diárias da vida;

A minha família, especialmente meus avós (*in memoriam*) pelos ensinamentos, confiança e respeito em minhas decisões.

A minha namorada Fabiana pelos conselhos, companheirismo e amor.

A Universidade Federal de Lavras, Departamento de Zootecnia e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pelo apoio em toda a Pós-Graduação.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio na execução desta pesquisa científica.

A todos do Núcleo de Estudos em Equideocultura (NEQUI-UFLA) pelas amizades e ajuda na construção do conhecimento.

A prof<sup>ª</sup> Sarah Meirelles, prof<sup>ª</sup> Raquel Moura, prof<sup>º</sup> Joel Muniz e prof<sup>º</sup> Tales Fernandes pela orientação, oportunidades concedidas, confiança, dedicação e ensinamentos.

A todos os demais professores e técnicos que contribuíram para minha formação.

Ao José Carlos Magalhães pela colaboração na obtenção dos dados.

E a todas as pessoas que de alguma forma ajudaram em minha formação acadêmica.

**Muito Obrigado!**

*Mas aqueles que contam com o senhor renovam suas forças; ele dá-lhes asas de águias.  
Correm sem se cansar, vão para frente sem se fatigar.*

***Isaías 40, 31***

## RESUMO

A raça Mangalarga Marchador (MM) está entre as raças brasileiras mais numerosas e amplamente distribuídas por todo território nacional. O estudo de curvas de crescimento animal baseados em modelos não lineares tem sido frequentemente utilizado como método para análise do desenvolvimento de diversas espécies, no entanto, não há relatos de estudo sobre modelagem da curva de crescimento nesta raça. Neste trabalho objetivou-se avaliar o ajuste dos modelos de Brody, Gompertz, Logístico, Von Bertalanffy e Platô de Resposta Quadrática aos dados de peso vivo (PV) (capítulo I) e de medidas morfométricas (MF) (capítulo II) obtidos pelo método transversal, em equinos MM, a fim de selecionar o melhor modelo e prever sobre o crescimento e a maturidade de machos e fêmeas desta raça. Os dados experimentais foram obtidos em uma exposição agropecuária em Belo Horizonte/ MG, no ano de 2012. Foram utilizados dados de PV de 214 animais (94 machos e 120 fêmeas) e MF de 200 animais (75 machos e 125 fêmeas) da raça MM, com idade entre 6 e 153 meses. Estes foram pesados individualmente em balança mecânica convencional e mensurados em altura da cernelha (AC), comprimento corporal (CC), perímetro torácico (PT) e de canela (PC). Os modelos não lineares utilizados foram Brody, Gompertz, Logístico, Von Bertalanffy e o modelo segmentado de Platô de Resposta Quadrática. A estimação dos parâmetros dos modelos foi realizada pelo método de mínimos quadrados, utilizando-se o algoritmo numérico de Gauss-Newton, com base em rotina do software R. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-wilk. A comparação e seleção do modelo mais adequado para descrever a curva de crescimento foram realizadas por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ); desvio padrão residual (DPR); critério de informação de Akaike corrigido (AICc). No capítulo I o PV adulto estimado pelos modelos variou entre 431 Kg a 439 Kg para machos e 416 Kg a 420 kg para fêmeas. O modelo de Von Bertalanffy foi o mais eficiente para expressar o crescimento de PV nos machos e o de Brody para as fêmeas. As fêmeas MM são mais precoces que os machos para atingir o PV adulto. No capítulo II a AC adulta estimada pelos modelos variou entre 146,25 a 148,34 cm para fêmeas e de 148,55 a 151,80 cm para machos. O CC adulto variou entre 148,59 a 151,64 cm para fêmeas e de 150,77 a 154,88 cm para machos. O PT adulto variou entre 179,07 a 182,88 cm para as fêmeas. Os dados de PT dos machos não apresentaram normalidade. O PC adulto variou entre 18,25 a 18,76 cm para as fêmeas e 18,95 a 19,41 cm para machos. Sendo mais indicada utilização do modelo logístico para expressar o crescimento em AC, CC e PC dos machos e o modelo de Brody para a AC, CC, PT e PC das fêmeas. As fêmeas apresentam maior precocidade do que os machos, exceto para PC. O método transversal de obtenção de dados pode ser aplicado no estudo de curvas de crescimento, em peso vivo e medidas morfométricas.

**Palavras-chave:** Idade. Medidas morfométricas. Modelos. Peso vivo. Qualidade de ajuste



## ABSTRACT

The Mangalarga Marchador (MM) breed is among the most numerous Brazilian breeds and widely distributed throughout the national territory. The study of animal growth curves based on nonlinear models has often been used as a method for the analysis of the development of various species, however, there is no report of a study on the modeling of the growth curve in this breed. The objective of this work was to evaluate the fit of the Brody, Gompertz, Logistic, Von Bertalanffy and Quadratic Response Plateau models to the cross-sectional data of the body weight (BW) (Chapter I) and morphometric measures (MMs) (Chapter II), in MM horses, in order to select the best model and predict growth and maturity of males and females of this breed. The experimental data were obtained at an agricultural exhibition in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, in the year 2012. BW data were obtained from 214 animals (94 males and 120 females) and MMs data of 200 animals (75 males and 125 females) of MM, aged between six and 153 months. These were weighed individually on conventional mechanical scales and measured in height at the withers (HW), body length (BL), thoracic perimeter (TP) and cannon (CP). The nonlinear models used were Brody, Gompertz, Logistic, Von Bertalanffy and Quadratic Response Plateau segmented model. The parameters of the model were estimated by employing the method of least squares, using the Gauss-Newton numerical algorithm based on R software routine. The normality of the data was verified by the Shapiro-Wilk test. The comparison and selection of the adequate model to describe the growth curve were performed using the Coefficient of determination ( $R^2$ ); Residual Standard Deviation (RSD); Akaike's Information Criterion (AIC). In Chapter I, the adult BW estimated by the models ranged from 431 kg to 439 kg for males and 416 kg for 420 kg for females. The Von Bertalanffy model was the most efficient for expressing the growth of BW in males and that of Brody for females. MM females are more precocious than males to reach adult BW. In Chapter II the adult HW estimated by the models ranged from 146.25 to 148.34 cm for females and from 148.55 to 151.80 cm for males. The adult BL ranged from 148.59 to 151.64 cm for females and from 150.77 to 154.88 cm for males. Adult TP ranged from 179.07 to 182.88 cm for females. The TP data of the males did not present normality. Adult CP ranged from 18.25 to 18.76 cm for females and 18.95 to 19.41 cm for males. The use of the logistic model to express the growth in HW, BL and CP of the males and the Brody model for HW, BL, TP and CP of females is more indicated. Females present greater precocity than males, except for CP. The cross-sectional data collection can be applied in the study of growth curves, in body weight and morphometric measures.

**Keywords:** Age. Morphometric measurements. Models. Body weight. Adjustment quality

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diferenças na taxa percentual de crescimento de tecidos de acordo com sua prioridade no organismo animal.....	22
Figura 2- Curva de crescimento animal, em formato sigmoidal, desde a concepção.....	24
Figura 3- Curvas de crescimento em peso vivo de diferentes espécies animais e humanos. ...	36
Figura 4- Balança mecânica utilizada para obtenção do peso vivo dos animais. ....	54
Figura 5- Representação da curva de crescimento em peso vivo, obtida pelos modelos não-lineares de Brody para fêmeas (A) e von Bertalaffy para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.....	61
Figura 6- Representação da curva de crescimento em peso vivo, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelos modelos não-lineares de Brody para fêmeas (A) e von Bertalaffy para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.....	65
Figura 7- Mensuração das variáveis morfométricas: (A) Altura de cernelha, (B) Comprimento corporal, (C) Perímetro torácico e (D) Perímetro de canela.....	72
Figura 8- Representação da curva de crescimento em altura na cernelha obtida pelo modelo logístico para fêmeas (A) e para machos (B) da raça Mangalarga Marchador. ....	91
Figura 9- Representação da curva de crescimento em comprimento corporal obtida pelo modelo Brody para fêmeas (A) e logístico para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.	91
Figura 10- Representação da curva de crescimento em perímetro torácico obtida pelo modelo Brody para fêmeas da raça Mangalarga Marchador.....	92
Figura 11- Representação da curva de crescimento em perímetro de canela obtida pelo modelo Brody para fêmeas (A) e logístico para machos (B) da raça Mangalarga Marchador. ....	92
Figura 12- Representação da curva de crescimento em altura de cernelha obtida pelo modelo de Platô de Resposta Quadrática para fêmeas (A) e machos (B) da raça Mangalarga Marchador.....	94

Figura 13- Representação da curva de crescimento em perímetro torácico, obtida pelo modelo de Platô de Resposta Quadrática em machos da raça Mangalarga Marchador.....	95
Figura 14- Representação da curva de crescimento em altura na cernelha, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelo modelo não-linear Logístico para fêmeas (A) e machos (B) da raça Mangalarga Marchador.....	101
Figura 15- Representação da curva de crescimento em comprimento corporal, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelos modelos não-lineares de Brody para fêmeas (A) e Logístico para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.....	102
Figura 16- Representação da curva de crescimento em perímetro torácico, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelo modelo não-linear de Brody para fêmeas da raça Mangalarga Marchador.....	103
Figura 17- Representação da curva de crescimento em perímetro de canela, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelos modelos não-lineares de Brody para fêmeas (A) e Logístico para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Correlação (r) entre medidas corporais e peso vivo de equinos.....	33
Tabela 2- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento em peso vivo de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.....	57
Tabela 3- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento do peso vivo de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.....	59
Tabela 4- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento para altura de cernelha de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.....	76
Tabela 5- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento da altura de cernelha de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.....	79
Tabela 6- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento para comprimento corporal de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.....	81
Tabela 7- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento do comprimento corporal de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.....	82
Tabela 8- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento para perímetro torácico de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.....	83

Tabela 9- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento do perímetro torácico de fêmeas da raça Mangalarga Marchador.....	84
Tabela 10- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento para perímetro de canela de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.....	85
Tabela 11- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento do perímetro de canela de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.....	87
Tabela 12- Parâmetros estimados e coeficiente de determinação para o modelo de Platô de Resposta Quadrática na descrição da curva de crescimento das medidas morfométricas de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.....	93

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1 BREVE HISTÓRICO DA RAÇA MANGALARGA MARCHADOR .....	17
2.2 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO ANIMAL .....	19
2.3 VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA MENSURAÇÃO DO CRESCIMENTO ANIMAL .....	28
2.3.1 <i>Peso vivo</i> .....	28
2.3.2 <i>Medidas morfométricas</i> .....	30
2.4 APLICAÇÃO DA MODELAGEM ESTATÍSTICA NO ESTUDO DO CRESCIMENTO ANIMAL .....	34
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO I: MODELAGEM DO CRESCIMENTO EM PESO VIVO DE EQUINOS MANGALARGA MARCHADOR .....</b>	<b>49</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>50</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>51</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>53</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>65</b>
<b>CAPÍTULO II: MODELAGEM DO CRESCIMENTO EM MEDIDAS MORFOMÉTRICAS DE EQUINOS MANGALARGA MARCHADOR.....</b>	<b>66</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>67</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>68</b>

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>69</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>71</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>75</b>
3.1 ANÁLISE DO CRESCIMENTO UTILIZANDO MODELOS NÃO-LINEARES .....	75
3.2 ANÁLISE DO CRESCIMENTO UTILIZANDO O MODELO SEGMENTADO DE PLATÔ DE RESPOSTA QUADRÁTICA .....	93
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>96</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>101</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A raça Mangalarga Marchador tem como origem a região sul do estado de Minas Gerais, sendo a raça brasileira mais numerosa e amplamente distribuída por todo o território nacional. Estes animais possuem andamento marchado, docilidade e rusticidade o que valoriza a raça, sendo indicados para o lazer, esportes e no trabalho diário das propriedades rurais.

Os equinos apresentam no primeiro ano de vida uma maior velocidade de crescimento das medidas corporais, estruturas ósseas e fisiológicas, bem como peso corporal, que se reduz quando os animais se aproximam da idade adulta (NRC, 2007; RED E DUNN, 1997). Este comportamento do crescimento, ao longo do tempo, tem formato sigmoidal e pode ser descrito por modelos que consideram a relação não linear entre as características do animal e idade (CARNEIRO et al., 2014; FREITAS, 2005).

Com intuito de compreender melhor a dinâmica entre o peso vivo, bem como outras características morfofuncionais em relação à idade, o estudo de curvas de crescimento animal a partir de modelos não lineares vem sendo utilizado como um método de análise do desenvolvimento de diversas espécies, pois apresenta a capacidade de resumir as informações contidas nos dados em um conjunto definido de parâmetros com interpretação biológica, de interesse no ponto de vista de manejo (FREITAS, 2005; MAZZINI et al., 2005; MENDES et al., 2009). Em muitas situações também são utilizados os modelos segmentados como forma de facilitação do estudo do processo de crescimento animal, a fim de, captar alterações significativas ao longo do tempo (SANTANA, 2013).

Na elaboração de curvas de crescimento existem duas formas principais de coleta de dados: o método transversal e longitudinal. O método transversal é o mais utilizado em estudos de desenvolvimento humano, por ser mais barato, rápido e prático (SILVA et al., 2010; SPERANDIO et al., 2011). Neste método as curvas são construídas a partir de medidas tomadas uma única vez, em uma amostra de determinada população. Já no método longitudinal, os dados são tomados do mesmo grupo de indivíduos, desde o nascimento até a



idade adulta. Este método é o mais utilizado para acompanhar o crescimento animal, no entanto, demanda longo tempo de acompanhamento dos mesmos (ZEFERINO et al., 2003).

Existem várias pesquisas demonstrando a aplicação destes modelos sobre o crescimento de diversas espécies, no entanto, para espécie equina têm-se poucos trabalhos científicos e principalmente na raça Mangalarga Marchador não há relato de estudo sobre modelagem da curva de crescimento, tornando esta pesquisa inédita. Desta forma são necessários estudos que avaliem a curva de crescimento desta raça por meio de modelos de regressão não lineares, para que possamos entender melhor a dinâmica entre as variáveis morfofuncionais e a idade, aplicando os resultados no manejo diário dos haras, corrigindo aspectos nutricionais, sanitários e de bem estar dos animais.

Neste trabalho será apresentada uma revisão literária sobre o tema da pesquisa e posteriormente serão discutidos nos capítulos I e II a modelagem da curva de crescimento em peso vivo e medidas morfométricas de equinos da raça Mangalarga Marchador, respectivamente.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Breve histórico da raça Mangalarga Marchador**

A raça Mangalarga Marchador originou-se na região sul do estado de Minas Gerais, onde sempre foi utilizada nas lidas do campo e como meio de transporte das famílias, desempenhando importante função econômica e social na vida rural dos sul-mineiros. Entre as raças brasileiras é a mais numerosa e está amplamente distribuída por todo o território nacional, sendo características destes animais o andamento marchado, a docilidade e rusticidade, permitindo a sua utilização para o lazer, esportes e no trabalho diário das propriedades rurais, como por exemplo, no auxílio do manejo de bovinos (COSTA et al., 2004).

A formação do cavalo Mangalarga Marchador está intimamente ligada à história do Brasil, pois em 1808 devido à invasão de Napoleão Bonaparte na coroa portuguesa, a família

real comandada pelo rei Dom João VI foi obrigada a fugir para a colônia brasileira. Nesta viagem vieram cavalos da corte portuguesa, que eram animais da raça Puro Sangue Lusitano (PSL), cuja origem étnica vem de cavalos nativos da península Ibérica, germânicos e berberes (Sorraia, Marismeño, Garrano, Bébere ou Barbo). Estes animais PSL eram originários da coudelaria de Alter do Chão, famoso centro de produção de cavalos da coroa portuguesa na época, que fornecia animais para toda a nobreza européia. Acredita-se que um dos animais PSL vindos com a família real foi doado para Gabriel Francisco Junqueira, conhecido como Barão de Alfenas, que era proprietário da fazenda Campo alegre, considerada berço da raça. Desde modo, Barão de Alfenas realizou cruzamentos deste cavalo PSL com éguas nativas existentes em sua propriedade no sul de Minas Gerais. Estes acasalamentos originaram animais de porte elegante, beleza plástica, temperamento dócil e próprio para montaria (Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador - ABCCMM, 2016).

Os cavalos PSL, na época, denominados como Alter, por serem provenientes da Coudelaria de Alter do Chão em Portugal, eram cavalos de trote selecionados para Alta Escola, que era um adestramento voltado para o cavalo de combate. Desde modo a origem do andamento marchado da raça Mangalarga Marchador estaria nas éguas nativas, mas o fator preponderante foi à seleção realizada pelo criador sul-mineiro, para três funções: marcha para viagens, caçada ao veado e para lida com o gado. (ABCCMM, 2016).

Morfologicamente, os animais desta raça são caracterizados como eumétricos e mediolíneos; altura na cernelha entre 140 - 154 cm e 147 - 157 cm para fêmeas e machos respectivamente; cabeça triangular com perfil reto a subconca; pescoço piramidal; estrutura forte e bem proporcionada; andamento tipo marcha batida ou picada (ABCCMM, 2016).

A Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador (ABCCMM) foi fundada em 16 de julho de 1949, em reunião realizada em Caxambu – MG, possuindo hoje sede em Belo Horizonte - MG. Esta entidade é considerada a maior associação de uma única raça da América Latina, com aproximadamente 11 mil associados, sendo 5 mil destes do estado de Minas Gerais. Esta raça, além de difundida por todo o Brasil, tem também criadores em vários países como: Estados Unidos, Alemanha, Holanda, Bélgica, Portugal, Itália, Canadá, Israel, Peru, Uruguai, Argentina, Congo, França e Dinamarca. Além disso,

possui aproximadamente 500.000 animais registrados; 300 veterinários cadastrados para realizarem transferência de embriões; 56 técnicos de registro; 24 árbitros e 16 instrutores; 67 núcleos de criadores no Brasil e quatro associações de criadores da raça no exterior (ABCCMM, 2016).

Segundo a ABCCMM (2016), são realizados aproximadamente 200 eventos durante o ano, nos diversos estados do país, com participação de mais 9.000 expositores. São comercializados em torno 4.500 animais em 50 leilões da raça, além da realização de 25 eventos no exterior, comprovando a relevância da raça Mangalarga Marchador, que gera cerca de 40.000 empregos diretos e mobiliza 200.000 pessoas indiretamente.

A Exposição Nacional do Mangalarga Marchador, principal evento da raça, é realizada desde 1982 pela ABCCMM, reunindo representantes de todos os Estados, com julgamento de mais de 1.000 animais na pista, todos credenciados anualmente com os títulos de Campeão ou Reservado Campeão nas exposições regionais oficializadas pela entidade em todo o país (ABCCMM, 2016).

Atualmente a raça Mangalarga Marchador é considerada a maior raça brasileira de equinos criada no Brasil e está entre as maiores do mundo, o que conferiu o título de raça Nacional por meio do sancionamento da Lei nº 12.975 em 2014, demonstrando o grande reconhecimento econômico e social desta raça no país (ABCCMM, 2016).

## **2.2 Crescimento e desenvolvimento animal**

Como descrito por Lawrence e Fowler (2002) em seu livro intitulado “Growth of Farms Animals” o processo do crescimento animal é algo extremamente complexo, pois além de depender de fatores externos aos animais, envolve não só crescimento do organismo como um todo, mas o de várias partes integrantes do corpo, como o crescimento celular, dos tecidos, dos órgãos, dentre outros. Neste sentido o crescimento não é um processo uniforme, mas sim uma série de adaptações que serão necessárias para a vida animal, podendo assim considerar segundo eles, que quase todos os aspectos relacionados à expressão de um gene são responsáveis pelo crescimento.

Existem duas razões pelas quais os animais crescem, a primeira é devido às mudanças em suas necessidades fisiológicas que se alteram ao longo de sua maturidade. A segunda corresponde às consequências físicas do crescimento, onde os animais terrestres lidam com a ação da gravidade, sendo necessários que os mesmos mudem geometricamente para manter o organismo fisiologicamente normal (LAWRENCE; FOWLER, 2002). Do mesmo modo, Brody (1945), citado por Lawrence e Fowler (2002), diz em sua publicação que essas mudanças nos animais ao longo do tempo respeitam o princípio da homeostase, ou seja, para o animal sobreviver é necessário que suas células estejam protegidas contra variações de temperatura, pressão, nutrição, dentre outros, onde isto só é conseguido por modificação nas estratégias de crescimento, afim de, se estabelecer um equilíbrio fisiológico.

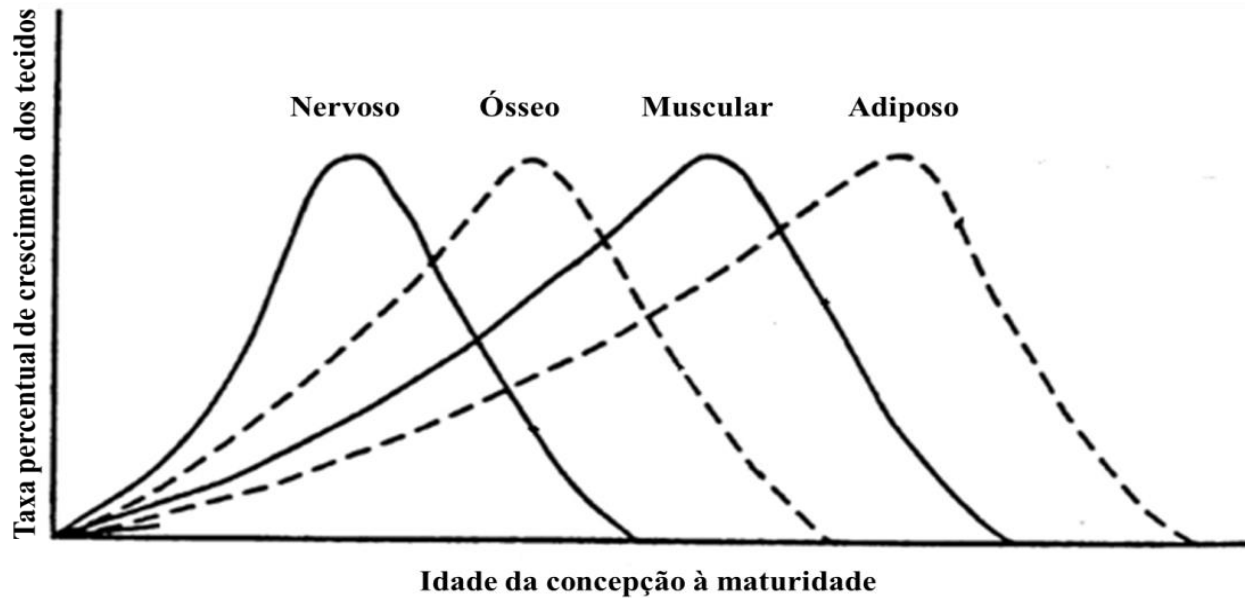
A base do crescimento animal é por meio da síntese protéica. Desde modo, o processo de formação de cadeias polipeptídicas, isto é, proteínas, ocorrem pelos processos de transcrição e tradução (LAWRENCE; FOWLER, 2002). A transcrição nada mais é do que a transferência das informações contidas no DNA para o RNA mensageiro, que atravessará a membrana nuclear para comandar a síntese protéica no citoplasma, onde todo este processo ocorre no núcleo celular. A tradução, por sua vez, ocorre no citoplasma celular, onde os RNA mensageiros (RNAm) são transportados pelo RNA transportador (RNAt) até os ribossomos onde será realizado a tradução. As sequências de três bases nitrogenadas específicas para os aminoácidos, também conhecidos como códons do RNAm se ligam aos anticódons do RNAt, realizando a iniciação da leitura deste código genético, alongação e término da leitura por códons de finalização (RAMALHO et al., 2012), formando assim as cadeias polipeptídicas e gerando as proteínas necessárias para todo crescimento e desenvolvimento dos animais.

A nível celular, o crescimento se dá pela síntese protéica, então o processo do crescimento ocorre principalmente por divisão celulares, ou seja, mitoses, onde ocorre replicação dos cromossomos (FRAPE, 2004; LAWRENCE; FOWLER, 2002). O ciclo celular é dividido em interfase e as fases de mitose. A interfase do ciclo é a fase entre o fim de um período mitótico e início do próximo, sendo que nesta fase não há alterações visíveis nas células. A interfase é dividida em três fases: G1 – onde ocorre a síntese de grande quantidade de proteínas, enzimas e RNA, havendo, conseqüentemente, o crescimento das células; Fase S

– onde ocorre a autoreplicação das moléculas de DNA; G2 – onde ocorre a síntese de moléculas necessárias à divisão celular. As células musculares e nervosas depois de formadas não replicam, situam-se na fase G0 ou fase estática e só mudam de tamanho e forma durante a vida do animal, exceto em casos de lesões no tecido muscular (LAWRENCE; FOWLER, 2002). É a partir do crescimento celular que se tem o crescimento dos tecidos, pois estes são formados pelas células.

O crescimento dos tecidos ocorre pelos processos de hiperplasia, que é o aumento do número de células, e hipertrofia aumento no diâmetro das células. No período pós-natal, por exemplo, o tecido adiposo cresce por hiperplasia e hipertrofia e o tecido muscular esquelético somente por hipertrofia (HORNICK et al., 2000). Mas é interessante ressaltar que no organismo animal há uma prioridade no crescimento dos tecidos de acordo com sua importância no desenvolvimento, onde primeiramente cresce o tecido nervoso, depois ósseo, muscular e por último o adiposo (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993), (FIGURA 1). Além disso, o ciclo de crescimento de cada órgão e tecido não ocorre de forma sincronizada, onde normalmente a forma dos animais e proporções dos tecidos que o constituem alteram – se de acordo com as necessidades fisiológicas dos mesmos (LAWRENCE; FOWLER, 2002).

Figura 1- Diferenças na taxa percentual de crescimento de tecidos de acordo com sua prioridade no organismo animal.



Fonte: Adaptado de Hecht (1916) e Pállson (1952), citado por Lawrence e Fowler (2002).

O crescimento também é controlado pelos níveis hormonais do indivíduo. Segundo Hornick et al. (2000) o tecido muscular e adiposo são os mais influenciados. Dentre esses hormônios que atuam no controle do crescimento de tecidos pode-se citar: o hormônio do crescimento (GH), miostatina, leptina, tiroxinas, fator semelhante à insulina (IGF's) e os hormônios esteróides. O hormônio do crescimento (GH) atua principalmente sobre o crescimento do tecido muscular, adiposo e da glândula mamária, também é conhecido como somatotopina. O fator semelhante à insulina tipo 1 (IGF-1) é secretado principalmente pelo fígado, sob a ação do hormônio do crescimento, agindo sobre a síntese protéica. A insulina por sua vez controla a concentração de glicose na corrente sanguínea, direcionando a glicose para as células musculares e adipócitos. Triiodotironina (T3) e tiroxina (T4) controlam o aumento do tamanho e o número de mitocôndrias, o que disponibiliza mais ATP para as células presentes nos tecidos. Já a testosterona é um hormônio de poder anabolizante, que melhora a eficiência alimentar, promove aumento no ganho de peso e das concentrações

basais de estrógeno, que promoverá a elevação dos níveis de GH, aumentando a síntese protéica, e também diminuindo a degradação protéica. (BRAGA-BASARIA et al., 2002).

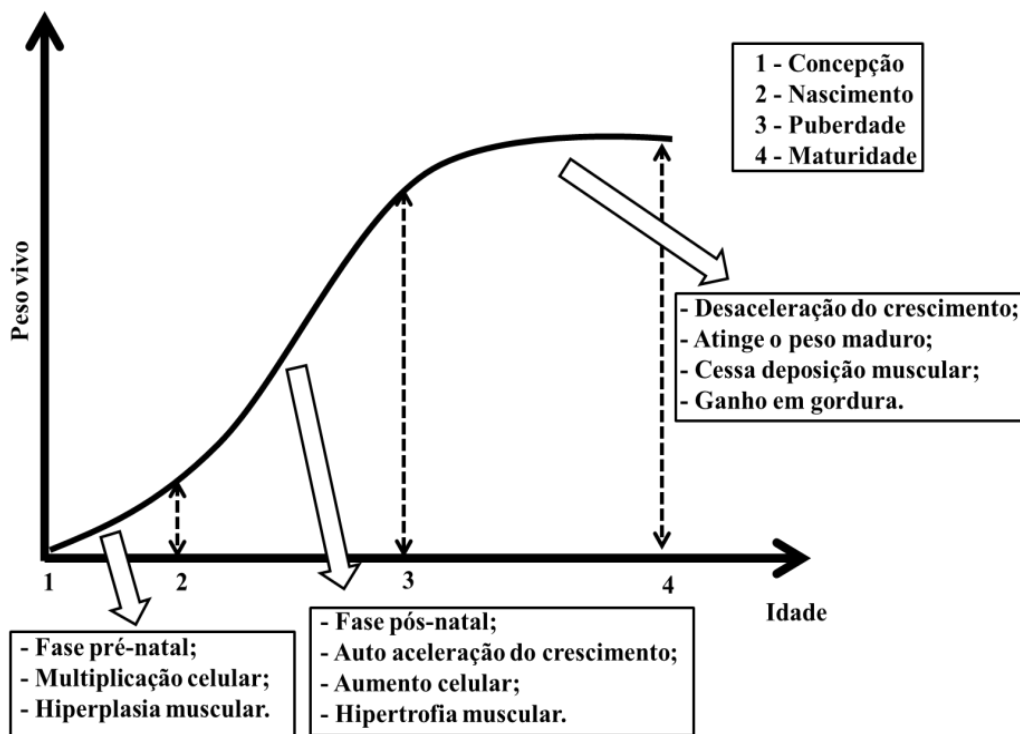
A maioria das células animais perde a capacidade de diferenciação a partir dos estágios iniciais da vida. Dependendo do tecido do animal, como por exemplo, o muscular esquelético, o número de células é determinado somente nos terços iniciais da fase fetal (Hiperplasia). Na fase pré-natal ocorre também o desenvolvimento do esqueleto e de órgãos. Já após o nascimento há uma aceleração do crescimento e aumento na deposição de tecidos até a puberdade (LAWRENCE; FOWLER, 2002; OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993). É a partir da puberdade que a deposição muscular cessa e ocorre deposição em gordura, há uma desaceleração do crescimento e os animais atingem o peso e tamanho maduro (FIGURA 2) (FREITAS, 2005; PIMENTEL et al., 2017)

Os animais tem um padrão de crescimento pré – determinado geneticamente, mas o crescimento real dos mesmos envolve, além de fatores genéticos, também os fatores ambientais (LAWRENCE; FOWLER, 2002). Desde modo, os animais tendem a crescer até um tamanho máximo de acordo com sua espécie. Segundo Lawrence e Fowler (2002), para que o animal cresça, este precisa de nutrientes, de modo que, o crescimento animal é o progressivo acréscimo de nutrientes e seus metabólitos, que começa na concepção e continua sempre que a ingestão de nutrientes excede as necessidades para manutenção, este conceito também é denominado de crescimento positivo.

Desta maneira todos os processos que envolvem o crescimento levam tempo, como por exemplo, os eventos bioquímicos relacionados ao mesmo, então quando se está analisando o crescimento em relação ao tempo, refere – se como crescimento temporal. Neste sentido o crescimento de uma variável a ser analisada no animal em função da idade ou do tempo produz uma curva de crescimento muito característica de cada espécie, por exemplo, em mamíferos, denominada como curva de crescimento sigmoide (FIGURA 2), por ser semelhante com a letra S (FREITAS, 2005; LAWRENCE E FOWLER, 2002), permitindo a aplicação de modelagem estatística não linear para estudo do crescimento animal (FREITAS, 2005; GUEDES et al., 2004; MAZZINI et al., 2003; PEREIRA et al., 2005; PIMENTEL et al., 2017). Críticas referentes à utilização de explicações do crescimento baseados em modelos

não lineares são às vezes mencionadas, pois estes demonstram menos os efeitos de mudanças nas necessidades fisiológicas decorrentes de alterações no estado nutricional, por exemplo. Mas são fundamentais, porque descrevem de forma simples e facilitada o crescimento animal (LAWRENCE; FOWLER, 2002).

Figura 2- Curva de crescimento animal, em formato sigmoidal, desde a concepção à maturidade.



Fonte: Adaptado de Owens, Dubeski e Hansont (1993).

Muitos são os fatores que podem interferir no crescimento pré e pós-natal dos animais como: nutrição e alimentação, condições ambientais estressantes, idade da mãe, raça, sexo, clima, ano de nascimento, localização geográfica, treinamento e outros (CAMPOS et al. 2007; GONÇALVES et al., 2012; LAWRENCE; FOWLER, 2002; MISERANI et al. 2002; MOTA; OLIVEIRA; PUOLI FILHO, 2010; REZENDE et al. 2000; SANTOS et al. 1992, 1995, 1999, 2007, SILVA et al., 2012). Dentre estes citados talvez a nutrição seja o mais estudado pelos



cientistas, quanto sua interferência no crescimento, pois é a nutrição que assegura o sucesso no desenvolvimento em todos os estágios de vida do animal. Segundo pesquisas de Barker e Clark (1997) dentre os fatores ambientais a nutrição é a que desempenha o papel mais importante, pois influencia o desenvolvimento placentário e conseqüentemente o crescimento fetal e pós-natal, destacando-se principalmente a nutrição materna.

Na criação de equinos preocupa-se sempre em fornecer uma dieta balanceada de acordo com as exigências nutricionais em cada fase de vida do animal para que se possa estabelecer o melhor manejo nutricional. Neste sentido, de acordo com o Nutrient Requirements of Horses - NRC (2007), uma das categorias mais exigentes dentro da espécie equina são as éguas gestantes, onde a demanda por nutrientes é aumentada principalmente no terço final de gestação, período no qual ocorre maior crescimento fetal. É durante esta fase da gestação que há uma aceleração da taxa de crescimento do feto e qualquer alteração no manejo, ambiente, bem estar, como por exemplo, a subnutrição da égua podem trazer danos ao desenvolvimento dos diversos tecidos corporais, como o ósseo e muscular após o nascimento e também durante a idade adulta dos equinos (ANDREAZZI et al., 2015, GUIMARÃES; MEIRELLES; FERNANDES, 2015; MARTIN-ROSSET, 2005).

Deficiências na elaboração de planos nutricionais, como sub ou supernutrição de potros, falta de fornecimento de sal mineral próprio para equinos, desmame precoce, permanência de animais jovens por longo período de tempo estabulados, além de outros erros de manejo podem trazer danos ao padrão de crescimento dos animais, o que leva a prejuízos irreparáveis ao desenvolvimento, gerando principalmente problemas articulares severos e desvios ósseos (deformidades flexurais e angulares) (CINTRA, 2013; FLETCHER et al., 2000; MARTIN-ROSSET, 2005). São exemplo destes problemas os desvios totais e parciais de aprumos, como: animais com joelhos cambaios, transcurvos, ajoelhados, base dos membros fechada, dentre outros defeitos que comprometerão a locomoção dos animais e conseqüentemente seu potencial atlético para desempenho em provas equestres futuras. Além disto, podem ocorrer alterações no tamanho do corpo, como altura na cernelha, que pode levar os equinos a não serem aceitos nos padrões raciais de suas associações de raça, o que leva a não concessão de registro definitivo dos animais, desvalorizando-os mercadologicamente.

Com intuito de estudar mais sobre o crescimento equino desde a formação fetal, efeitos hormonais no desenvolvimento, além das consequências da privação do fornecimento de nutrientes para o feto sobre principalmente o peso vivo e altura de cernelha, Peugnet et al. (2014) conduziram suas pesquisas transferindo embriões de Pôneis para éguas de raças Puro Sangue Inglês ou Saddlebred e vice-versa. Estes autores investigaram o efeito da restrição nutricional fetal sobre o crescimento e metabolismo de glicose dos potros até os 18 meses de idade, avaliando a altura na cernelha, peso corporal, T3 (Triiodotironina) e IGF1 (Fator semelhante à insulina I). Encontraram como resultados que o crescimento fetal foi aumentado quando embriões de raças pequenas eram transferidos para raças grandes resultando em potros 57% mais pesados e 14% mais altos ao nascimento e 29% mais pesados e 8% mais altos aos 18 meses. Quando se testou o contrário, transferindo embriões de raças grandes para raças pequenas o crescimento foi restringido nos potros em 37% mais leves e 11% menores ao nascimento. Os padrões de crescimento dos potros foram modificados até três anos de idade, assim como a homeostase da glicose, a função cardiovascular e também as concentrações de hormonais da tireoide foram afetadas até o desmame. Segundo estes autores os resultados demonstram que as condições de manejo, principalmente o nutricional alteram os eventos iniciais de desenvolvimento dos animais, interferindo na vida pós-natal e consequentemente na saúde futura dos equídeos.

Outras consequências no crescimento podem vir de modificações ocasionadas no ambiente uterino, que levam a alterações na expressão do genoma fetal, o que provoca danos irreversíveis ao longo da vida dos equinos. Esta programação fetal vem sendo a teoria mais aceita para explicação das doenças e falhas no desenvolvimento que ocorrem durante a vida adulta dos animais (BARKER; CLARK, 1997). Desde modo, quando a fêmea equina recebe, por exemplo, uma dieta desbalanceada, desencadeia uma alteração na nutrição e estado endócrino do feto, que resulta em adaptações que modificam a estrutura, fisiologia e metabolismo do mesmo (SUGDENE; HOLNESS, 2002), predispondo a deficiências no crescimento normal dos equinos. Além disso, segundo Waterland e Jirtle (2004) podem também ocasionar alterações epigenéticas no genoma fetal e na expressão de genes

específicos através de modificações no DNA do embrião durante seu crescimento e desenvolvimento.

Muitas vezes, a fim de tentar corrigir os danos causados anteriormente pelas falhas de manejo, principalmente os nutricionais, profissionais que atuam na criação de equinos utilizam frequentemente hormônios de crescimento e dietas para supernutrição dos potros, visando um ganho compensatório, mas estas práticas podem trazer prejuízos à saúde dos animais, além do aumento no custo de produção dos haras. Muitas dúvidas ainda existem sobre o crescimento compensatório na espécie equina, alguns trabalhos como os conduzidos por Ellis e Lawrence (1978) demonstraram que os equinos são capazes de manter as epífises ósseas abertas durante períodos de restrição alimentar, afim de, permitir a possibilidade de aumento dos tamanhos ósseos quando o alimento volta a ser abundante, além de também conseguir o aumento do tamanho do esqueleto e ganhos de peso vivo compensatório. Da mesma forma Onoda et al. (2011) mostraram a possibilidade de ganhos de peso compensatórios em potros de corrida em diferentes estações do ano, mas estudos devem ser realizados principalmente em raças brasileiras como o Mangalarga Marchador para maior detalhamento desta forma de crescimento.

Desta maneira o conhecimento do crescimento e dos fatores que interferem no mesmo nas fases pré e pós-natal se torna fundamental para direcionamento de manejos nutricionais necessários e controle de problemas ocorridos nos primeiros anos de vida dos animais (SANTOS et al., 2007). Isto é importante principalmente no período desde o desmame até a puberdade, onde há maior taxa de crescimento absoluto, sendo o foco dos sistemas de produção animal (LAWRENCE; FOWLER, 2002).

Neste sentido embora esforços sejam direcionados para o atendimento das exigências de bom manejo e bem estar dos animais nos criatórios de equinos, ainda são necessárias mais pesquisas sobre crescimento e desenvolvimento animal, especialmente na espécie equina, para minimização dos efeitos que interferem no pleno desempenho dos animais.

## **2.3 Variáveis utilizadas para mensuração do crescimento animal**

Existem diversas técnicas utilizadas para se medir os diferentes aspectos do processo do crescimento animal, tanto nos manejos práticos, como em experiências científicas. Dentre estas técnicas podem se citar os métodos de pesagem e a mensuração de medidas corporais dos animais (LAWRENCE; FOWLER, 2002, MARTIN-ROSSET, 2005). Assim a aplicabilidade do peso vivo e da morfometria na avaliação zootécnica do crescimento dos equinos, bem como a utilização destas variáveis em todas as fases de criação da espécie torna-se fundamental e serão descritas no decorrer desta revisão literária.

### **2.3.1 Peso vivo**

O peso vivo (PV) é um parâmetro fundamental no manejo diário dos haras, sendo aplicável em diversas situações ligadas aos manejos sanitários e nutricionais de equinos, como: determinação da quantidade de alimento a ser fornecido aos animais; avaliação de programas nutricionais; indicação precoce de problemas de saúde; informação auxiliar no treinamento para competições equestres; melhoria da eficiência reprodutiva e determinação da quantidade de medicamentos a ser administradas aos animais (LEWIS, 2000).

O PV é uma das ferramentas mais utilizadas para avaliação da condição nutricional dos equídeos, mas muitas vezes não é levado em consideração pelos criadores e profissionais no manejo do rebanho, pelo desconhecimento de sua importância e porque estes possuem dúvidas quanto a sua obtenção. Isto traz dificuldades principalmente para introdução e organização de programas nutricionais nas propriedades rurais (CARROL; HUNTINGTON, 1988), que podem acarretar em deficiências nutricionais dos equinos, comprometendo o seu crescimento e desenvolvimento corporal.

A forma mais precisa de se obter o PV é através de pesagem em balança, mas muitas vezes, o seu alto custo de implantação limita sua disponibilidade para uso na maioria dos criatórios brasileiros. Mas existem métodos alternativos para estimativa de PV disponíveis no mercado e na literatura como fitas para peso, tabelas e fórmulas matemáticas que são metodologias práticas, baratas e mais adequadas do que o simples exame visual do animal. É

importante ressaltar que estes métodos podem variar principalmente entre as raças. Estudos conduzidos por Souza (2014) demonstraram que para equinos Mangalarga Marchador a fita para estimação do PV posicionada atrás da cernelha e atrás do codilho foi o método mais eficiente na obtenção do PV real dos animais em diferentes classes de idade e estágios de gestação.

O peso vivo pode ser afetado por várias características relacionadas ao próprio animal como: sexo, idade, estado gestacional, escore corporal e raça ou não ligadas a ele, como: a disponibilidade de alimentos, estado sanitário, condições ambientais e de bem estar, treinamento, dentre outros (HINTZ, 2002). Neste contexto o estudo de como o peso vivo se comporta ao longo do tempo se torna necessário. Estima-se que no primeiro ano de vida, os equinos adquiram 65% do peso vivo adulto (NRC, 2007). Garcia et al. (2011) em suas pesquisas com equinos da raça Puro Sangue Inglês encontraram nos animais 10% do peso adulto ao nascimento, 45% aos 6 meses, 65% aos 12 meses e 79% aos 18 meses. Já Rezende et al. (1986) encontraram valores de 9,7% do peso adulto ao nascimento, 33,4% aos 6 meses, 62% para machos e 71% para fêmeas aos 12 meses de idade em animais da raça Mangalarga Marchador.

Assim, vários estudos tem sido conduzidos por alguns pesquisadores, como Santos et al. (2007), Mcmanus, Louvandini e Campos (2010), Garcia et al. (2011), Fraldinho et al. (2015), dentre outros, buscando explicar o crescimento desta variável. Afim de, demonstrar de forma mais prática, que a partir do crescimento de peso vivo em relação à idade dos animais, é possível a detecção erros de manejo, principalmente deficiências nutricionais, além da busca de quais as variáveis que mais interferem no peso vivo dos equinos.

A obtenção do peso vivo é a técnica mais utilizada, principalmente na determinação das taxas de crescimento animal e para predição do crescimento das composições corporais de diversas espécies. É importante ressaltar que o crescimento real dos animais, seja em condições práticas ou experimentais depende da confiabilidade dos pesos vivos obtidos, pois erros na obtenção do peso corporal podem invalidar os dados de crescimento calculados (LAWRENCE; FOWLER, 2002).

### 2.3.2 Medidas morfométricas

A morfometria é amplamente utilizada na equideocultura, pois nesta área de conhecimento o estudo do exterior dos animais, termo conhecido como ezoognósia, se torna fundamental na avaliação zootécnica dos animais. Nesta espécie a avaliação morfológica tem grande relevância na seleção de animais para participação em competições esportivas equestres e também para escolha de matrizes e garanhões na reprodução, visto que há relação da morfologia com a locomoção dos animais (CABRAL et al., 2004a, 2004b, 2004c; SANTIAGO et al. 2016, ZAMBORLINI et al., 1996), que na raça do Mangalarga Marchador está focada na seleção da marcha. Segundo Godoi et al. (2013) para atividades esportivas, a avaliação morfométrica é fundamental, onde essas podem ser utilizadas como base no estudo detalhado dos equinos e na busca de melhores desempenhos dos mesmos. Além disso, se torna importante para escolha de equinos, podendo ser utilizadas, por exemplo, para estudo do crescimento dos animais dentro de cada raça.

As medidas corporais também são amplamente utilizadas como forma de mensurar o crescimento animal (CABRAL et al. 2004a; LAWRENCE; FOWLER, 2002; REZENDE et al., 2016; SANTOS et al; 2007). Dentre estas podem-se citar: altura na cernelha, altura na garupa, comprimento corporal, comprimento dorso-lombar, perímetro torácico, perímetro de canela, dentre outras. A maior parte das medições refletem principalmente os comprimentos e raios ósseos dos animais, podendo estar relacionadas com a qualidade óssea do esqueleto, capacidade cardiorrespiratória e de carga durante os trabalhos de treinamento dos equinos (BERBARI NETO (2005). Assim, estas mensurações são muito utilizadas nas espécies bovina e equina, principalmente para estudos de conformação (PIMENTEL et al. 2017; PINTO et al. 2005).

Para Nascimento (1999) um animal com boa conformação faz com que este execute suas atividades de forma mais eficiente, melhorando a qualidade da marcha e, conseqüentemente, seu desempenho nas competições. Desta forma, as mensurações morfométricas também são, segundo ele usualmente utilizadas como metodologia para avaliação da conformação dos animais, como no momento do registro definitivo, em que são mensuradas diversas medidas lineares nos equídeos, a fim de, se obter características destes

compatíveis com o padrão racial determinado pelas associações de raça. Como exemplo, a altura na cernelha, onde na raça Mangalarga Marchador, segundo o padrão racial vigente, deve estar entre 140 a 154 cm e 147 a 157 cm para fêmeas e machos, respectivamente, caso contrário não é concedido o registro definitivo para o animal e este equino conseqüentemente perderá valor mercadológico e não será utilizado na reprodução.

Existem dois métodos para obtenção das medidas morfométricas (medidas lineares e angulares): o método tradicional, que é o mais utilizado, e o método digital. Basicamente no método tradicional utiliza-se de equipamentos próprios, como hipômetro (usado para medidas lineares de alturas e comprimentos), fitas métricas (usadas para medidas lineares de perímetros) e artrogoniômetro (usado para medidas angulares) (SANTIAGO et al. 2014). Já no método digital, os animais têm as regiões que serão mensuradas demarcadas com marcadores reflexivos nas respectivas bases anatômicas de cada medida morfométrica, são fotografados ou filmados por câmera digital e posteriormente as imagens são analisadas em softwares próprios (BACK; CLAYTON, 2013). Esta última metodologia, tem sido enfatizadas por alguns autores, devido à otimização do tempo de coleta de dados e melhoria da acurácia na obtenção dos mesmos, de modo a permitir o aumento no número de animais a serem mensurados (BACK; CLAYTON, 2013). Mas são necessários mais estudos comprovando sua utilização para análise do crescimento equino, onde a maioria dos trabalhos publicados na literatura científica ainda utiliza o método tradicional.

É interessante ressaltar que existem fontes de erros que devem ser levadas em consideração, pois podem diminuir a acurácia destas medidas, como exemplo, a identificação e localização incorreta das bases anatômicas das regiões corporais, mudança na posição/postura do animal no momento da medição e erros envolvidos na realização das medições (LAWRENCE; FOWLER, 2002). Além disto, segundo pesquisas com a raça Mangalarga Marchador de Zamborlini et al. (1996), fatores ambientais como: ano, idade à avaliação e sexo podem ocasionar variações nas medidas corporais dos animais.

Na avaliação morfológica dos animais a morfometria também auxilia no estabelecimento das proporções entre as regiões corporais, que são as relações entre as regiões do corpo e o conjunto formado por elas (BARBOSA, 1993; NASCIMENTO, 1999,

MCMANUS et al. 2008; ZÚCCARI et al., 2004). O conhecimento destas proporções dos equinos é relevante para o melhoramento genético dos rebanhos, devido a sua relação com a funcionalidade da espécie, definição dos biótipos e aptidão dos equinos (SANTIAGO et al., 2014, 2016). Neste sentido, para classificação do tipo ou biótipo dos equinos faz-se necessário o uso de medidas morfométricas, além da grande experiência, por parte dos técnicos, na observação zootécnica de animais. Esta classificação é realizada por meio de índices de aptidão funcional ou conformação descritos por Bortoni (1990) e Cabral et al. (2004a, 2004b, 2004c) que também utilizam destas medidas morfológicas para se obter os valores dos índices, com respectiva interpretação prática principalmente sobre o crescimento equino.

As medidas morfométricas indicam como o formato do corpo está mudando ao longo do tempo, além de servirem como preditoras do peso vivo dos animais (LAWRENCE; FOWLER, 2002). Esta outra aplicabilidade da morfometria foi demonstrada nos estudos conduzidos por Henneke et al. (1983) e Carrol e Huntington (1988), onde as medidas corporais apresentaram alta correlação com o PV dos animais (TABELA 1), ou seja, grande dependência entre estas variáveis, o que auxiliou não somente os próprios autores, mas como muitos outros a confeccionarem fitas, tabelas e fórmulas matemáticas para estimação do peso vivo, que levam em consideração medidas corporais, como comprimento corporal e perímetro torácico. Estes métodos são amplamente utilizados na equideocultura, auxiliando principalmente no acompanhamento do crescimento nas diferentes fases da criação de equinos.



Tabela 1 - Correlação (r) entre medidas corporais e peso vivo de equinos.

Parâmetro	Henneke et al. (1983)	Carrol e Huntington (1988)
Perímetro torácico	0,90***	0,87***
Comprimento corporal		0,75***
Altura da cernelha	0,21	0,62***
Escore corporal	0,50**/0,30 <sup>A</sup>	0,22***
Perímetro x comprimento corporal		0,90***
Perímetro x altura	0,59***	0,84***
Perímetro x comprimento x altura		0,85***
Altura x escore corporal		0,45***

Legenda: \*\*P<0,01; \*\*\*P<0,001; <sup>A</sup> % gordura

Fonte: Carrol e Huntington (1988)

Em geral os equinos apresentam no primeiro ano de vida uma maior velocidade de crescimento das medidas corporais. Estima-se que ao nascimento, a altura de cernelha dos potros represente cerca de 60% da altura adulta e ao completar o primeiro ano de vida ele adquira 90% da sua altura final (NRC, 2007). Garcia et al. (2011) encontraram na raça Puro Sangue Inglês que 63% do altura adulta ao nascimento, 85% aos 6 meses, 90% aos 12 meses e 95% aos 18 meses. Vallete et al. (2008) também avaliando potros das raças PSI, trotadores franceses e sela francesa demonstraram que o padrão de crescimento das três raças foi semelhante, ocorrendo do primeiro ao terceiro mês um intenso crescimento e a partir desta idade o mesmo se torna mais lento ao longo do tempo. Em estudos de Cabral et al. (2004b) com a raça Mangalarga Marchador verificaram que os animais possuíam aproximadamente 80% a 90% da altura de cernelha, comprimento corporal, perímetros torácico e de canela aos 12 meses de idade para machos e fêmeas. Neste sentido Santos et al. (2007) dizem que uma das preocupações mais relevantes para os criadores de equinos é conhecer a taxa adequada de crescimento destas variáveis em potros, uma vez que, são responsáveis por grande parte da receita bruta dos criatórios.

Várias pesquisas foram realizadas com equinos, de diferentes raças, avaliando o relacionamento entre as medidas corporais com o crescimento, uma vez que estão intimamente correlacionados a uma boa estrutura zootécnica do animal. Na raça Mangalarga

Marchador estudos relacionados à morfometria já foram realizados com intuito de entender como as medidas morfométricas se modificam ao longo do tempo e demonstraram que os equinos desta raça apresentam variações crescentes no índice corporal, nas medidas lineares e angulares durante o crescimento, sendo classificados como brevilíneos até os três meses, passando para mediolíneos a partir dos quatro meses de vida (CABRAL et al., 2004a, 2004b, 2004c).

Da mesma forma, com intuito de verificar a evolução da raça por meio da comparação das medidas morfométricas do rebanho atual Mangalarga Marchador com os animais campeões nacionais, Santiago et al. (2013, 2014, 2016) comprovou que os machos e fêmeas considerados expoentes da raça são proporcionalmente semelhantes em sua conformação corporal com o rebanho atual, no que se refere a medidas lineares e angulares. Demonstrando assim, a importância do acompanhamento do comportamento de crescimento destas medidas, ao longo do tempo, para o bom direcionamento da seleção, para definições de parâmetros eficientes para análise do crescimento e conseqüentemente auxílio nas tomadas de decisão em relação ao manejo dos animais da raça Mangalarga Marchador.

#### **2.4 Aplicação da modelagem estatística no estudo do crescimento animal**

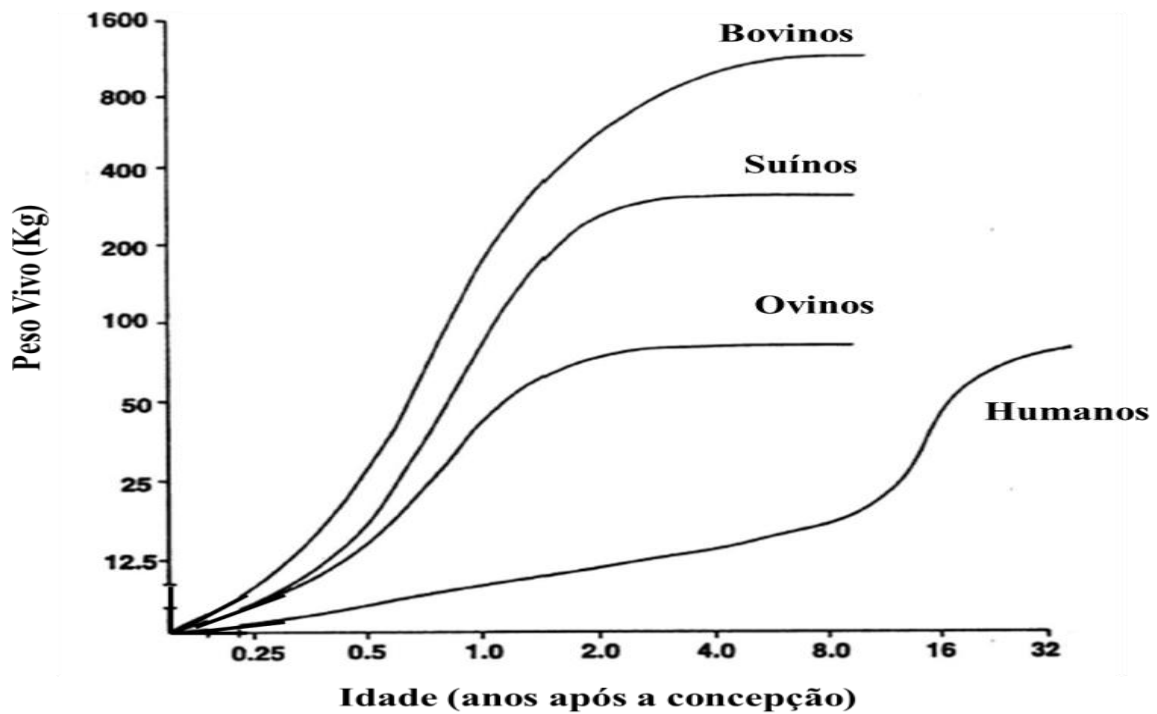
No estudo de características zootécnica dos animais, tem - se demonstrado grande interesse na utilização de metodologias que auxiliem o entendimento do crescimento e desenvolvimento animal. Mas os pesquisadores encontram dificuldades, pois este conhecimento envolve conceitos matemáticos e estatísticos. Neste contexto, para se estudar crescimento, além de se conhecer a fisiologia do mesmo é necessário considerar a relação existente entre duas variáveis quantitativas, por exemplo, peso vivo e idade, afim de, encontrar uma relação que descreva o comportamento de uma variável, chamada de variável dependente, em função da outra, denominada variável independente. (DRAPER; SMITH, 1998; HOFFMANN; VIEIRA, 1998).

Segundo Draper e Smith (1998) esta relação pode ser descrita por meio de funções matemáticas, as quais são denominadas modelos de regressão, sendo estes classificados como: modelos lineares, não lineares e os linearizáveis. Dentre os modelos de regressão destaca-se o

não linear como o mais indicado e aplicável na descrição das curvas de crescimento animal. Modelos estatísticos não lineares são aqueles em que pelo menos uma das derivadas parciais depende de algum parâmetro do modelo e não existe transformação capaz de torná-lo linear (DRAPER; SMITH, 1998). Fernandes et al. (2014) complementa que uma das grandes aplicações destes modelos de regressão é no estudo de curvas de crescimento, que descreve uma sequência de medidas de uma determinada espécie ou indivíduo em função do tempo, geralmente peso, altura ou diâmetro. Em geral, neste tipo de curva, as taxas de crescimento aumentam até atingir um máximo (ponto de inflexão), depois decrescem e tendem a zero.

Os modelos não lineares vêm sendo amplamente utilizados na descrição das curvas de crescimento em diversas espécies animais (FIGURA 3), pois permite que as informações presentes em um conjunto de dados (por exemplo: pesos x idade) sejam resumidas em um pequeno número de parâmetros com interpretações práticas, facilitando o entendimento do fenômeno (FERNANDES, 2012; LOBO et al., 2006; OLIVEIRA; LÔBO; PEREIRA, 2000; PAZ et al. 2004). Deste modo a modelagem do crescimento utilizando estas equações gera uma curva de crescimento, que proporciona uma descrição visual do crescimento, e a interpretação fornece uma explicação do que está ocorrendo biologicamente (KSHIRSAGAR; SMITH, 1995).

Figura 3- Curvas de crescimento em peso vivo de diferentes espécies animais e humanos.



Fonte: Adaptado de Lawrence e Fowler (2002).

Nos estudos onde são ajustados modelos não lineares, a estimação dos parâmetros em geral é obtida por meio da minimização da soma de quadrados dos erros, o que leva a um sistema de equações normais não lineares sem solução explícita, exigindo o uso de processos iterativos para obtenção das estimativas (DRAPER; SMITH, 1998; SOUZA et al., 2007). Entre os métodos iterativos, destaca-se o de Gauss – Newton (GUEDES et al., 2004; MAZZINI et al., 2003; PEREIRA et al., 2005; SOUZA et al., 2014; ZEVIANI et al., 2012).

Para Freitas (2005) as análises de dados baseadas nas curvas de crescimento, são fundamentais na produção animal, pois incluem as situações em que as unidades experimentais ou indivíduos de diferentes subpopulações ou tratamentos (sexo, raça, entre outros), são analisados ao longo de diversas condições de avaliação (tempo, doses e etc.). Este autor afirma que existem várias aplicações para as curvas de crescimento dentre elas pode - se

citar: identificar em uma população os animais mais pesados em idades mais jovens, avaliar o perfil de respostas de tratamentos ao longo do tempo e modelar o padrão de resposta de dados, como, por exemplo, peso-idade durante a vida do animal.

Em pesquisas realizadas com curvas de crescimento animal, há uma grande preferência por modelos não lineares, sendo que os modelos mais utilizados são o de Gompertz, Logístico, Brody, Richards e von Bertalanffy. Estudos realizados na raça bovina Hereford, Mazzini et al. (2003, 2005) demonstraram isto, ao selecionarem o modelo não linear que melhor se ajusta ao crescimento de 160 bovinos machos utilizando as funções de Brody, Gompertz, Logística, Richards e von Bertalanffy. Concluíram que as funções que apresentaram melhor ajuste foram as de von Bertalanffy e Gompertz, seguidas pela Logística. Já as demais foram inadequadas para descrever os dados em estudo. Mendes et al. (2008) avaliaram o modelo Logístico difásico no ajuste da curva de crescimento de fêmeas desta mesma raça e obtiveram melhores ajustes ponderando pelo inverso da variância e considerando erros autorregressivos de segunda ordem.

Silva et al. (2011) também estudaram o ajuste destes cinco modelos na descrição do crescimento de vacas de corte de diferentes tipos biológicos. Os autores concluíram que os melhores ajustes foram obtidos pelos modelos Brody e von Bertalanffy. Da mesma forma, Guedes et al. (2004) ao estudarem as curvas de crescimento de cordeiros da raça Santa Inês e Bergamácia, utilizando a ponderação pelo inverso da variância amostral, obtiveram bons ajustes. Os autores concluíram que os melhores ajustes foram obtidos pelos modelos von Bertalanffy e Gompertz. Diferentemente de Teixeira et al. (2012) que selecionaram os modelos de Richard e Brody como os mais indicados para fazer predição do peso adulto nesta mesma raça.

Souza et al. (2010) compararam o ajuste destes 5 modelos na descrição do crescimento de animais da raça Indubrasil do estado de Sergipe. Estes autores concluíram que o melhor modelo para descrever as curvas de crescimento desta raça é o modelo Logístico. Carneiro et al. (2014) avaliando bovinos da raça Tabapuã criados em cinco regiões do Nordeste brasileiro utilizando modelos não lineares, demonstraram que existe diferença entre as curvas de

crescimento nas 5 regiões estudadas tornando-se inadequado o uso de um único modelo para toda as regiões.

Os trabalhos sobre curva de crescimento com animais são predominantemente com bovinos das diversas raças. Para equinos, poucas pesquisas têm sido direcionadas dentro do rebanho brasileiro, o qual é composto principalmente por diversas raças nacionais e com características morfológicas voltadas para biótipos rústicos e adaptados às condições de criação no país. Outro fator que potencializa esta problemática é que os equinos crescem em medidas corporais, estruturas ósseas e fisiológicas até a idade adulta (NRC, 2007; RED E DUNN, 1997), que nesta espécie é aproximadamente aos cinco anos, e este crescimento tardio explica muitas vezes a dificuldade de execução de pesquisas com crescimento nesta espécie.

Na espécie equina, McManus, Louvandini e Campos (2010) estudaram a curva de crescimento de equinos das raças Hanoveriana (HA), Brasileiro de Hipismo (BH), Puro Sangue Inglês (PSI) e mestiços (PSIxBH) criados pelo Exército brasileiro, utilizando os modelos não lineares de Gompertz, Brody, Logístico, Weibull e Richards. Estes animais foram pesados e medidos de seis meses de idade até adultos e os autores notaram que geral, as várias curvas estimaram a mesma altura e peso adulto, exceto a curva logística, que teve o menor  $R^2$  e mais alto erro dentro de cada grupo.

Santos et al. (2007) fizeram um estudo sobre o crescimento de 192 cavalos pantaneiros de 1991 a 2003 de potros até a idade adulta, onde foram ajustados cinco modelos não-lineares (Brody, Richards, Gompertz, Logístico e Weibull) para peso e altura e optou-se pelo modelo com menor erro médio quadrático combinado. Todos os animais foram mensurados quanto ao peso e altura da cernelha. Ao final do experimento os autores observaram que, o modelo de Richards para altura da cernelha e o modelo de Weibull para o ganho de peso, foram os mais adequados para estimar o crescimento dos cavalos Pantaneiros de ambos os sexos. Contrários a estes resultados, o mesmo autor em estudos anteriores havia encontrado o modelo de Weibull como melhor preditor para altura de cernelha em animais desta mesma raça (SANTOS et al. 1999). Onoda et al. (2011) por sua vez, ao avaliarem 232 potros de corrida indicaram a equação de Richards como a de melhor ajuste para o peso corporal. Também Fraldinho et al. (2015) ao estudar o crescimento da raça Puro Sangue Lusitano concluíram que

o modelo de Richards foi o mais eficaz para as variáveis peso vivo, altura na cernelha, perímetro torácico e perímetro de canela. Confirmando, portanto, a necessidade de se estudar cuidadosamente a curva de crescimento em cada raça, uma vez que os modelos que são indicados para descrever o crescimento de determinada espécie ou raça podem não obter bons resultados em outras. Estes autores também demonstraram que os machos se mostraram mais precoces que as fêmeas, indicando que as diferenças são devidas ao dimorfismo sexual existente entre os sexos.

Vários autores observaram em suas pesquisas uma mudança repentina no padrão de crescimento animal, sugerindo que modelar este crescimento em duas partes talvez produza melhores resultados. Dentre os modelos não lineares, uma alternativa é definir um modelo por partes, contemplando diferentes intervalos de idade. Esta ideia é chamada de regressão segmentada e sua grande vantagem é a flexibilidade de ajustar diferentes funções que descrevam o crescimento do animal para cada intervalo de idade considerado. Um caso particular dos modelos segmentados são os chamados "modelo platô de resposta", caracterizado por dois segmentos, sendo o primeiro determinado por uma curva crescente ou decrescente até atingir determinada idade, digamos  $t_0$ , e a partir deste ponto o modelo assume um valor constante,  $p$ , denominado platô (SANTANA et al., 2012).

O modelo linear quadrático ( $y = a + bx + cx^2$ ), por ser um modelo mais elaborado, é melhor do que o modelo linear simples, pois é possível determinar um ponto de máximo. Todavia, dependendo da natureza dos dados e do experimento, esse modelo é criticado e julgado como inadequado, uma vez que preconiza um decaimento após ser atingido o ponto de máximo, fato que não condiz com a realidade de crescimento na maioria das espécies. Para tentar contornar este problema, a técnica platô de resposta tem sido aplicada com base no modelo polinomial quadrático, obtendo-se bons resultados (OLIVEIRA et al., 2000).

Oliveira, Lana e Oliveira (2012) avaliaram diferentes modelos de regressão, lineares e não lineares na descrição do crescimento ruminal e concluíram que o modelo platô de resposta quadrática pode ser utilizado para descrever tal curva de crescimento. Santana et al. (2012) também comparam o ajuste de um modelo de Platô de Resposta Quadrática com um modelo não linear exponencial na descrição da curva de crescimento de bovino nelore do

estado de São Paulo. Estes autores conseguiram bons ajustes por ambos os modelos e afirmam que qualquer um dos dois pode ser utilizado na descrição do crescimento desta raça. Rezende et al. (2007) estudando a exigência de Zn em frangos de corte, compararam o ajuste de vários modelos com platô de resposta e concluíram que todos os modelos foram adequados para descrever a variável em estudo, evidenciando a qualidade dos ajustes obtidos por meio da regressão com platô de resposta.

Para o estudo de crescimento animal existem duas metodologias para coleta de dados, que são os métodos transversal e longitudinal. No método longitudinal, os dados são tomados do mesmo grupo de indivíduos, desde o nascimento até a idade adulta (ZEFERINO et al., 2003), ou seja, as medidas são realizadas repetidamente no mesmo animal durante sua vida. Este método é o mais utilizado nas pesquisas científicas com o crescimento animal. Já no método transversal, às curvas são construídas a partir de medidas tomadas uma única vez, em uma amostra de determinada população, assim não há necessidade ficar acompanhando os mesmos indivíduos ao longo do tempo. Este método é muito utilizado em pesquisas com humanos, devido a sua praticidade e baixo custo (SILVA et al., 2010; SPERANDIO et al., 2011).

Não se tem relatos de estudos utilizando o método transversal de obtenção de dados com animais da espécie equina, somente o longitudinal. O que traz dificuldades para realização de pesquisas sobre crescimento com a espécie, pois o longo tempo de experimentação do nascimento a fase adulta, que nos equinos ocorre aproximadamente aos cinco anos (NRC, 2007; RED E DUNN, 1997), torna, muitas vezes, inviável a pesquisa, pois a maioria dos proprietários vendem os animais ainda jovens, uma vez que a principal fonte de renda é obtida pela comercialização de potros. Assim, quando se considera amostras obtidas de medidas repetidas no mesmo animal, pode haver a possibilidade de ocorrência da dependência dos erros, exigindo a adoção de modelos autoregressivos que normalmente são mais complexos, podendo causar pior ajuste (MAZZINI et al., 2005).

Além disso, o produto econômico dos equinos é o movimento dos membros, pois são estes os responsáveis pelo desempenho nos diversos esportes hípicas, provas de velocidade, concurso de marcha, na lida com o gado no campo, e em outras atividades, diferindo das



demais espécies, como os bovinos onde se comercializa principalmente carne e leite, nas aves a carne e os ovos e nos suínos a carne. Estas diferenças fazem com que haja a necessidade do estudo do crescimento e de fatores que influenciam diretamente na locomoção dos equinos, visto que, esta é resultado da coordenação neuromotora dos movimentos, do treinamento e de medidas morfométricas adequadas (PINTO et al. 2005; ZAMBORLINI et al., 1996). Portanto, torna-se necessário avaliar e modelar o peso vivo e as medidas morfométricas, pois afetam diretamente na locomoção e avaliação nutricional dos equinos.

A partir do conhecimento do modelo de regressão que descreve tal comportamento do crescimento equino, pode-se obter uma seletividade melhor dos animais no plantel ainda em idade precoce, como, no desmame, e evitar o descarte equivocado de animais com potencial desejado, uma vez que, a comercialização de potros ocorre principalmente no primeiro ano de vida (PINTO et al., 2005). Desta maneira, também o estudo do crescimento equino é fator determinante para garantir a correta adequação dos animais aos padrões raciais e consequente concessão do registro genealógico definitivo pelas associações de raças, além do controle de práticas de manejo nutricional nos haras. Porém, deve ser levado em consideração que há uma diferença entre desenvolvimento máximo e ótimo dos animais e muitos problemas relacionados ao crescimento dos equinos podem ser prevenidos quando dispomos de conhecimento da curva de crescimento da raça e suas variações. Uma vez que, alguns cavalos podem apresentar taxa desenvolvimento (crescimento ósseo e muscular) mais lento do que outros, mesmo estando coordenado o seu sistema de crescimento (SANTOS et al., 2007).

Portanto, o estudo de curvas de crescimento é necessário para se conhecer o desenvolvimento dos equinos e entender melhor a dinâmica entre as variáveis morfofuncionais e a idade, a fim de, selecionar o modelo que melhor descreve o crescimento da espécie, auxiliando de forma prática no manejo das propriedades rurais, de modo a maximizar produção e desempenho dos equinos em nosso país.

## REFERÊNCIAS

- ANDREAZZI, M. A. et al. Avaliação da bioquímica sanguínea em éguas gestantes. **Archives of Veterinary Science**. Curitiba, v. 20, n. 2, p. 1-9, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DO CAVALO MANGALARGA MARCHADOR. Disponível em: <<http://www.abccmm.org.br>> Acessado em: 7 outubro de 2016.
- BACK, W.; CLAYTON, H, M. **Equine Locomotion**. New York: Elsevier, 2013.
- BARBOSA, C.G. **Estudo morfométrico na raça Mangalarga Marchador - Uma abordagem multivariada**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1993. 77p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Minas Gerais, 1993.
- BARKER, D.J.P.; CLARK, P. M. Fetal undernutrition and disease in later life. **Reviews of Reproduction**. v. 2, p. 105–112, 1997.
- BERBARI NETO, F. **Evolução de medidas lineares e avaliação de índices morfométricos em garanhões da raça Campolina**. 2005. 90f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes. 2005.
- BORTONI R. F.; **Mangalarga Marchador: E os outros cavalos de sela do Brasil**. Uberaba - MG: Grupo Rotal, 1990.
- BRAGA-BASARIA, et al. Tratamento de nódulos autônomos e sistícos da tireóide com injeção intranodular de etanol. **Revista Associação de Medicina Brasileira**, São Paulo, v. 48, p. 335-340, 2002.
- CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Conformação e proporções corporais. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1798-1805, 2004a.
- CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Medidas Lineares. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1790-1797, 2004b.
- CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Medidas angulares. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 33, n. 6, p. 989-1000, 2004c.
- CAMPOS, V. A. L. et al. Influência de fatores genéticos e ambientais sobre as características produtivas no rebanho equino do Exército Brasileiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.1, p.23-31, 2007.

- CARNEIRO, A. P. S. et al. Identidade de modelos não lineares para comparar 279 curvas de crescimento de bovinos da raça Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Viçosa, v. 49, n.1, p.57-62, 2014.
- CARROLL, C.L.; HUNTINGTON, P.J. Body condition scoring and weight estimation of horses. **Equine Veterinary Journal**, v.20, n.1, p. 41-45, 1988.
- CINTRA, A.G.C. **O cavalo: características, manejo e alimentação**. São Paulo: Roca, 2013.
- COSTA, M.D. et al. Caracterização demográfica da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte v.56, p.687-690, 2004.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley,1998.
- ELLIS, R.N.W.; LAWRENCE, T.L.J. Energy under-nutrition in the weanling filly foal. II. Effects on body conformation and epiphyseal plate closure in the fore-limb. **British Veterinary Journal**, v. 134, p. 322–332, 1978.
- FERNANDES T. J. **Curva de crescimento do fruto do cafeeiro em diferentes alinhamentos de plantio utilizando modelos não lineares**. 2012. 81p. Dissertação (Mestrado em Estatística). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- FERNANDES, T. J. et al. Seleção de modelos não lineares para descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014.
- FLETCHER K. L. et al. Influence of age and sex on serum osteocalcin concentrations in horses at weaning and during physical conditioning. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 20, n. 2, p.124-126, 2000.
- FRALDINHO, M. J. et al. Growth and development of the Lusitano horse managed on grazing systems. **Livestock Science**, v. 12, p. 1871-1413, 2015.
- FRAPE, D. **Horses/ Feeding and feeds**. Oxford: Blackwell Publishing, 2004.
- FREITAS A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.3, p.786-795, 2005.
- GARCIA, F. P. S. et al. Determinação do crescimento e desenvolvimento de potros puro sangue inglês em Bagé-RS. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v. 106, p. 43-46, 2011.
- GODOI, F.N. et al. Morfologia de potros da raça Brasileiro de Hipismo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.4, p.736-742, 2013.

- GONÇALVES, R. W. et al. Efeito da endogamia sobre características morfométricas em cavalos da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.64, n.2, p.419-426, 2012.
- GUEDES, M. H. P. et al. Estudo das curvas de crescimento de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia considerando Heterogeneidade de variâncias. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 381-388, mar./abr. 2004.
- GUIMARÃES, C. F.; MEIRELLES, M. G.; FERNANDES, C. B. Eficiência placentária na espécie equina: quais fatores podem estar relacionados? 2015. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal**, São Paulo, v. 52, n. 2, p. 98-105, 2015.
- HENNEKE, D.R. et al. Relationship between condition score, physical measurements and body fat percentage in mares. **Equine Veterinary Journal**, v.15, p.371-372, 1983.
- HINTZ, H.F. How much does that horse weight? **Journal of Equine Veterinary Science**, v.22, n.11, p. 362, 2002.
- HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão: uma introdução a econometria**. 3. ed. São Paulo: Hucitec, 1998. 379 p.
- HORNICK, J. L. et al. Mechanisms of reduced and compensatory growth. **Domestic Animal Endocrinology**. v. 19 p. 121–132, 2000.
- LAWRENCE, T. L. J; FLOWLER, V. R. **Growth of farms animals**. New York: CABI Publishing 2002.
- LEWIS, L.D. **Nutrição Clínica equina: alimentação e cuidados**. São Paulo: Editora Roca, 2000.
- LOBO, R. N. B. et al. Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.3, p.1012-1019, 2006.
- KSHIRSAGAR, A. M.; SMITH, W. B. **Growth curves**. New York: Marcel Dekker, 1995.
- MARTIN-ROSSET, W. 2005. **Growth and development in the equine**. Wageningen: Academic Publishers, 2005.
- MAZZINI A. R. A. et al. F. Análise da curva de crescimento de machos Hereford. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v.27, n.5, p.1105-1112, 2003.
- MAZZINI A. R. A. et al. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autoregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, 2005.

MCMANUS et al. Body indices for the pantaneiro horse. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 45, n. 5, p. 362-370, 2008.

MCMANUS, C. M.; LOUVANDINI H. E CAMPOS V. A. L. Non linear growth curves for weight and height in four genetic groups of horses. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11, n. 1, p. 80-89, jan./mar. 2010.

MISERANI, M. G. et al. Avaliação dos Fatores que Influem nas Medidas Lineares do Cavalo Pantaneiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.1, p.335-341, 2002.

MENDES, P. N. et al. Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas da raça Hereford. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1984-1990, out. 2008.

MENDES, P. N. et al. Análise da curva de crescimento difásica de fêmeas Hereford por meio da função não linear de Gompertz. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 10, n. 2, p. 454-461, 2009.

MOTA, M. D. S; OLIVEIRA H. N E PUOLI FILHOS, N. P. Avaliação do crescimento em potros da raça Quarto de milha. **Revista electrónica de Veterinaria**. V. 11, n. 1, p. 1-10, 2010.

NASCIMENTO, J. F. **Mangalarga Marchador: Tratado Morfofuncional**. Belo Horizonte: ABCCMM. 1999.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL-NRC, 2007. **Nutrient Requirements of Horses**, United States of America: Washington DC. 2007.

OLIVEIRA, A. S.; LANA, R. P.; OLIVEIRA, M. R. C. Modelos de crescimento microbiano ruminal em função do suprimento de nutrientes. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.13, n.2, p.457-468 abr./jun., 2012.

OLIVEIRA H. N., LÔBO R. B., PEREIRA C. S., Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça GUZERÁ. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v.35, n.9, 2000.

ONODA, T. et al. Empirical Growth Curve Estimation Using Sigmoid Sub-functions that Adjust Seasonal Compensatory Growth for Male Body Weight of Thoroughbred Horses. **Journal Equine Science**, v. 22, n. 2, p. 37-42, 2011.

OWENS, F.N.; DUBESKI, P.; HANSONT, C.F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, v.71, p.3138-3150, 1993.

- PAZ, C. C. P. et al. Ajuste de modelos não-lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovino de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.6, p.1416-1425, 2004.
- PEREIRA, J. M. et al. Nonlinear models to predict nitrogen mineralization in on oxisol. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 4, p. 395-400, 2005.
- PEUGNET, P., et al. Enhanced or reduced fetal growth induced by embryo transfer into smaller or larger breeds alters post-natal growth and metabolism in pre-weaning horses. **PloS one**. v. 9, n. 7, p. 1-20, 2014.
- PIMENTEL et al. Gender on the growth of Criollo foals from birth to three years of age. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 47, n. 1, p. 1-7, 2017.
- PINTO L. F. B. et al. Análise Multivariada das Medidas Morfométricas de Potros da Raça Mangalarga Marchador: Análise de Componentes Principais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.2, p.589-599, 2005.
- RAMALHO et al. **Genética na Agropecuária**. 5 ed. Lavras:Editora UFLA. 2012 p 35-76.
- REED, K.R.; DUNN, N.K. Growth and development of the Arabian horse. In: Equine Nutrition and Physiology Symposium, 5, 1977, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977. p.76-98.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 12 jun. 2012.
- REZENDE, A. S. C. et al. Efeito de nível do concentrado suplementar sobre o crescimento de potros pós-desmama. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.38, n.6, p.927-941, 1986.
- REZENDE, A. S. C. et al. Efeito de Dois Diferentes Programas Nutricionais sobre o Desenvolvimento Corporal de Potros Mangalarga Marchador. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 495-501, 2000.
- REZENDE, D. M. L. C. et al. Ajuste de modelos de platô de resposta para a exigência de zinco em frangos de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 468-478, 2007.
- REZENDE, M. P. G. et al. Conformação corporal de equinos de diferentes grupos genéticos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 17, n. 3, p. 1-10, 2016.

- SANTANA, T. J. S. **Novos modelos de curvas de crescimento para bovinos de corte**. 2013. 70p. Tese (Doutorado em Estatística). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- SANTANA, T. J. S. et al. Ajuste de modelos platô de resposta em dados de crescimento de bovinos da raça nelore do estado de São Paulo. In: 57º Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 57, 2012. **Anais...** São Paulo, 2012, p.1-5.
- SANTIAGO, J. M. et al. Q. Comparação entre as medidas morfométricas do rebanho atual de machos Mangalarga Marchador e dos campeões da raça. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v.70, n.1, p.46-52, 2013.
- SANTIAGO, J. M. et al. Comparação entre as medidas morfométricas do rebanho atual de machos Mangalarga Marchador e das campeãs da raça. **Revista Brasileira Saúde e Produção animal**, Ondina, v. 15, n. 1, p. 141-148, 2014.
- SANTIAGO, J. M. et al. Evolution of morphometric measures in the Mangalarga Marchador breed. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 1, p. 191-199, 2016.
- SANTOS, S. A. et al. Influência de alguns fatores ambientais sobre características de crescimento de cavalos Brasileiro de Hipismo até um ano de idade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 1, p.171-179, 1992.
- SANTOS, S. A. et al. **Avaliação e conservação do cavalo pantaneiro**. Corumbá-MS: EMBRAPA-CPAP, 1995.
- SANTOS, S.A. et al. Using nonlinear models to describe height growth curves in pantaneiro horses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.7, p.1133-1138, 1999.
- SANTOS, S. A. et al. Monitoramento do desenvolvimento de cavalos pantaneiros por meio de curvas de crescimento. **Archivos de Zootecnia**, vol. 56, Sup. 1, p.648, 2007.
- SILVA, D. A. S. et al. Comparison between the growth of Brazilian children and adolescents and the reference growth charts: data from a Brazilian project. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 86, n. 2, p.115-120, 2010.
- SILVA, F. L. et al. Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 3, p. 262-271, 2011.
- SILVA A. C. M, et al. Genetic variability in local Brazilian horse lines using microsatellite markers. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 881-890, 2012.
- SOUZA, G da S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linear**. Embrapa: Brasília. 3ª reimpressão, 2007, 505 p.

- SOUZA, L. A. et al. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado do Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 671-676, 2010.
- SOUZA, I. F. et al. Fitting nonlinear autoregressive models to describe coffee seed germination. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 42, n.10, p. 2016-2021, 2014.
- SOUZA, F. A. C. **Métodos alternativos para estimativa do peso vivo em equinos Mangalarga Marchador e Campolina**. 2014. 56 p. Monografia (Graduação em Zootecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- SPERANDIO, N. et al. Comparação do estado nutricional infantil com utilização de diferentes curvas de crescimento. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 4, p.565-574, 2011.
- SUGDEN, M. C.; HOLNESS, M. J. Gender-specific programming of insulin secretion and action. **Journal Endocrinology**. v. 175: 757-767, 2002.
- TEIXEIRA, M. C. et al. Curva de crescimento de cordeiros oriundos de três sistemas de produção na Região Nordeste do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 2011-2018, 2012.
- VALETTE, J. P. et al. Use of linear and non-linear functions to describe the growth of young sport- and race-horses born in Normandy. **Animal**, v. 2, p.560-565, 2008.
- WATERLAND, R. A.; JIRTLE, R. L. Early nutrition, epigenetic changes at transposons and imprinted genes, and enhanced susceptibility to adult chronic diseases. **Nutrition**, v. 20, p. 63-68, 2004.
- ZAMBORLINI, L. S. et al. Estudo genético-quantitativo de medidas lineares de equinos da raça Mangalarga Marchador - I. Estimativas dos fatores de ambiente e parâmetros genéticos. **Revista Brasileira de Ciências Veterinárias**, Niterói, v.3, n.2, 33-37, 1996.
- ZEFERINO, A. M. B. et al. Acompanhamento do crescimento. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 79, n. 1, p.23-32, 2003.
- ZEVIANI, W. M. et al. Modelos não lineares para a liberação de potássio para esterco animal em latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n. 10, p. 1789-1796, 2012.
- ZÚCCARI, C. E. S. Proporções gerais e índices corporais de éguas adultas da raça Pantaneira do Núcleo de Criação e Conservação do Cavallo Pantaneiro da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul / UFMS. In: IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal, 6, 2004. **Anais...** Corumbá, 2004, 1-6.



**CAPÍTULO I: MODELAGEM DO CRESCIMENTO EM PESO VIVO DE  
EQUINOS MANGALARGA MARCHADOR**

## RESUMO

Na raça Mangalarga Marchador variações crescentes nas características morfológicas e funcionais podem ser observadas de acordo com a idade. Para obter uma boa compreensão da dinâmica entre o peso corporal e outras características em relação à idade, curvas de crescimento animal estão sendo estudadas a partir de modelos não lineares como forma de analisar o desenvolvimento de diferentes espécies. Neste trabalho objetivou-se avaliar o ajuste dos modelos Brody, Gompertz, Logístico e von Bertalanffy a dados transversais de peso vivo de equinos Mangalarga Marchador, a fim de selecionar o melhor modelo e prever sobre o crescimento e a maturidade de machos e fêmeas desta raça. Foram pesados 214 equinos, sendo 94 machos e 120 fêmeas não gestantes, com idade variando entre seis e 153 meses. A estimação dos parâmetros dos modelos foi realizada pelo método de mínimos quadrados, utilizando-se o algoritmo numérico de Gauss-Newton, com base em rotina do software R. Os modelos foram comparados pelos critérios: coeficiente de determinação ( $R^2$ ); desvio padrão residual (DPR); critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ). O peso adulto estimado pelos modelos variou entre 431 Kg a 439 Kg para os machos e entre 416 Kg a 420 kg para fêmeas. O método transversal de obtenção de dados pode ser aplicado no estudo de curvas de crescimento. O modelo de Von Bertalanffy foi o mais eficiente para expressar o crescimento nos machos enquanto que para as fêmeas o modelo Brody se mostrou mais apropriado. As fêmeas Mangalarga Marchador são mais precoces que os machos para atingir o peso vivo adulto.

**Palavras-chave:** Idade. Método transversal. Modelos estatísticos. Qualidade de ajuste

## ABSTRACT

In the Mangalarga Marchador breed increasing variations can be observed in the morphological and functional characteristics in keeping with their age. To achieve a good understanding of the dynamics between body weight and other features with respect to age, animal growth curves from non-linear models have been studied as a means of analyzing the development of different species. The objective of the current study was to evaluate the fit of the Brody, Gompertz, Logistic and von Bertalanffy models to the cross-sectional data of the body weight of the Mangalarga Marchador horses to identify the best model and make accurate predictions regarding the growth and maturity in the males and females of this breed. The study involved recording the weight of 214 horses, of which 94 were males and 120 were non-pregnant females, between six and 153 months of age. The parameters of the model were estimated by employing the method of least squares, using the Gauss-Newton numerical algorithm based on R software routine. Comparison of the models was done based on the following criteria: coefficient of determination ( $R^2$ ); Residual Standard Deviation (RSD); corrected Akaike Information Criterion (AICc). The estimated weight of the adult horses by the models ranged from 431 kg to 439 kg for males and between 416 kg to 420 kg for females. The growth curves were studied using the cross-sectional data collection method. For males, the von Bertalanffy model was found to be the most effective in expressing growth, while in females the Brody model was more suitable. The Mangalarga Marchador females achieve adult body weight earlier than the males.

**Keywords:** Age. Cross-sectional method. Statistical models. Adjustment quality

## 1. INTRODUÇÃO

A raça Mangalarga Marchador (MM) teve origem na região sul do estado de Minas Gerais, estando entre as raças brasileiras mais numerosas e amplamente distribuídas por todo território nacional. Estes animais possuem andamento marchado, docilidade e rusticidade, sendo indicados para o lazer, esportes e no trabalho diário das propriedades rurais, como por exemplo, no manejo de bovinos (COSTA et al., 2004; ABCCMM, 2016).

Com intuito de compreender melhor a dinâmica entre o peso vivo, bem como outras características em relação à idade, o estudo de curvas de crescimento animal a partir de modelos não lineares vem sendo utilizado como um método de análise do desenvolvimento de diversas espécies, pois apresenta a capacidade de resumir as informações contidas nos dados em um conjunto definido de parâmetros com interpretação biológica, de interesse no ponto de vista de manejo (CARNEIRO et al., 2014; MAZZINI et al., 2005; MENDES et al., 2008). Os principais objetivos da modelagem da curva de crescimento são descrever e prever o crescimento, a maturidade dos animais e também realizar inferências baseadas na interpretação dos parâmetros envolvidos nos modelos (LOBO et al., 2006).

Na elaboração de curvas de crescimento existem duas formas principais de coleta de dados: o método transversal e longitudinal. O método transversal é o mais utilizado em estudos de desenvolvimento humano, por ser mais barato, rápido e prático (SILVA et al., 2010; SPERANDIO et al., 2011). Neste método as curvas são construídas a partir de medidas tomadas uma única vez, em uma amostra de determinada população. Já no método longitudinal, os dados são tomados do mesmo grupo de indivíduos, desde o nascimento até a idade adulta. Este método é o mais utilizado para acompanhar o crescimento animal, no entanto, demanda longo tempo de acompanhamento dos mesmos (ZEFERINO et al., 2003).

São escassos os estudos sobre o monitoramento da curva de crescimento de equinos, que geralmente consideram amostras obtidas de medidas repetidas no mesmo animal, do nascimento a fase adulta (CABRAL, et al. 2004a, 2004b, 2004c; FRALDINHO et al., 2015; MCMANUS, LOUVANDINI E CAMPOS, 2010; SANTOS et al., 2007). Este procedimento experimental traz dificuldades para realização de pesquisas com a espécie nessa área, pois a

fase adulta ocorre até os cinco anos e a maioria dos criatórios mantêm poucos animais até esta idade, uma vez que a principal fonte de renda para criadores envolvidos com equideocultura é obtida pela comercialização de potros.

Além disso, no caso de medidas repetidas no mesmo animal ocorre dependência dos erros afetando as propriedades das estimativas, exigindo a adoção de modelos autoregressivos que normalmente são mais complexos, podendo causar pior ajuste (MAZZINI et al., 2005). Alternativamente, tal situação pode ser solucionada utilizando dados transversais com o emprego de modelos não lineares. Na raça Mangalarga Marchador não há relato de estudos sobre modelagens da curva de crescimento.

Neste trabalho objetivou-se avaliar o ajuste dos modelos Brody, Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy aos dados de peso vivo de equinos Mangalarga Marchador obtidos pelo método transversal, a fim de selecionar o melhor modelo e predizer sobre o crescimento e a maturidade de machos e fêmeas desta raça.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados experimentais foram obtidos durante uma exposição agropecuária realizada em Belo Horizonte – MG no ano de 2012. O estudo foi aprovado pelo comitê de Ética em Pesquisa da UFLA, sob protocolo 039/12. Foram utilizados 214 animais da raça Mangalarga Marchador (MM), sendo 94 machos e 120 fêmeas não gestantes, com idades entre seis e 153 meses. Os animais acima de 36 meses tinham registro definitivo na raça Mangalarga Marchador. Todos os equinos foram pesados individualmente por uma única pessoa, logo após a inspeção sanitária para entrada no parque de exposições, em balança mecânica convencional, marca Filizola<sup>®</sup>, instalada e calibrada no parque de exposições (FIGURA 4).

Figura 4- Balança mecânica utilizada para obtenção do peso vivo dos animais.



Fonte: Do autor (2017).

Foi utilizado o método transversal que consiste na elaboração das curvas de crescimento a partir de medidas tomadas uma única vez de uma amostra de equinos Mangalarga Marchador, de modo a refletir a natureza sigmoideal dos dados na expressão do crescimento da espécie.

Os modelos não lineares, Brody (1), Gompertz (2), Logístico (3) e von Bertalanffy (4) foram utilizados para descrever a curva de crescimento em peso vivo dos equinos de cada sexo, com base nas seguintes equações:

$$y_i = a * \{1 - \exp[b - kt_i]\} + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$y_i = a * \exp\{-\exp[b - kt_i]\} + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$y_i = \frac{a}{\{1 - \exp[b - kt_i]\}} + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$y_i = a * \{1 - \exp[b - kt_i]\}^3 + \varepsilon_i \quad (4)$$

Nas equações (1), (2), (3) e (4) tem-se que: “ $y_i$ ” é o peso vivo, em Kg, do animal; “ $a$ ” é o valor assintótico, ou peso adulto do animal; “ $b$ ” é um parâmetro de locação e está associado ao ponto de inflexão do modelo, ou seja, a idade em que o animal passa de um crescimento acelerado para um crescimento desacelerado até estabilizar o peso em seu valor máximo  $a$ ; “ $k$ ” indica a taxa de crescimento do peso do animal, ou índice de precocidade, uma vez que quanto maior o valor de  $k$ , menos tempo será necessário para o animal atingir o seu peso adulto e “ $t_i$ ” refere-se à idade em que o animal foi pesado; “ $\varepsilon_i$ ” é o erro experimental associado à medida do peso vivo  $i$ , pressupõe-se que este seja aleatório, independente e com distribuição normal  $N(0, \sigma^2)$ .

A estimação dos parâmetros dos modelos foi feita pelo método de mínimos quadrados conforme Draper e Smith (1998), utilizando-se o algoritmo numérico de Gauss-Newton, com base em rotina do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015), estimando-se os parâmetros pela função `gnls`, função esta que ajusta modelos não lineares usando o método dos mínimos quadrados generalizados, do pacote `nlme`.

Para verificar a normalidade dos dados foi feito o teste de Shapiro-wilk. Sob a suposição de normalidade dos resíduos foram também obtidos os intervalos de confiança para as estimativas dos parâmetros. Define-se o intervalo de 95% de confiança para o parâmetro  $\beta_i$  do modelo como:

$$- IC(\beta_i) : \beta_i \pm t(v; 0; 025) \cdot S(\beta_i)$$

Em que:  $b_i$  é a estimativa para o parâmetro ( $\beta_i$ );  $S(b_i)$  é o erro padrão da estimativa e  $t(v;0;025)$  é o quantil superior da distribuição t de Student, considerando  $\alpha= 5\%$  e o grau de liberdade  $v = n - p$ .

A comparação e seleção do modelo mais adequado para descrever a curva de crescimento foram realizadas com base nos seguintes avaliadores de qualidade de ajuste:

i. Desvio-padrão residual (DPR), calculado pela expressão  $DPR=\sqrt{QME}$ , sendo QME o quadrado médio residual. Quanto menor for o DPR melhor o modelo se ajusta.

ii. Coeficiente de determinação ( $R^2$ ), obtido por:  $R^2 = 1 - \frac{SQE}{SQTotal}$ , em que SQE é a soma

de quadrados dos resíduos e SQTotal é a soma de quadrados total. O coeficiente de determinação varia de 0 a 1, tendo melhor ajuste o modelo cujo  $R^2$  estiver mais próximo de 1.

iii. Critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), calculado através da expressão

$$AIC_c = \ln(SQE/n) + 2(q+1) + \frac{2(q+1)(q+2)}{n-(q+2)},$$

em que  $n$  é o tamanho da amostra e  $q$  é

o número de parâmetros do modelo. Quanto menor o valor de  $AIC_c$  melhor é o ajuste fornecido pelo modelo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pressuposição de normalidades dos erros se verificou pelo teste de Shapiro-Wilk para todos os modelos (valor-p > 0,01) (TABELA 2). Os indicadores de qualidade de ajuste mostraram que os quatro modelos descreveram adequadamente o desenvolvimento ponderal destes equinos, com valores de coeficiente de determinação superiores a 91%, com ligeira vantagem para o modelo von Bertalanffy nos machos e o modelo Brody para as fêmeas, que também obtiveram menores valores de DPR e  $AIC_c$ .



Tabela 2- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento em peso vivo de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Sexo	SW	$R^2$	DPR	$AIC_c$
Brody	Machos	0,8408	0,9138	23,88	399,7957
	Fêmeas	0,8544	0,9223	20,65	511,8354
Gompertz	Machos	0,8633	0,9137	23,88	399,8071
	Fêmeas	0,8695	0,9165	21,16	515,1416
Logístico	Machos	0,8325	0,9114	24,10	400,5839
	Fêmeas	0,8297	0,9100	21,90	518,5168
von Bertalanffy	Machos	0,8741	0,9140	23,85	399,6911
	Fêmeas	0,9054	0,9185	21,05	514,0019

Fonte: Do autor (2017).

Diferente do presente estudo, Fraldinho et al. (2015) observaram que o modelo de Richards foi mais eficaz na descrição do padrão de crescimento da raça Puro Sangue Lusitano (PSL), quando comparados aos modelos de Brody, Logístico, von Bertalanffy e Gompertz. Onoda et al. (2011) concordaram com aqueles autores ao considerar o modelo de Richards melhor que outros modelos lineares e não lineares para estudo do crescimento de cavalos de corrida. Porém Santos et al. (2007) concluíram que o modelo de Weibull foi mais adequado para descrever a curva de crescimento, em ganho de peso, na raça Pantaneira. No presente estudo tentou-se o ajuste dos modelos Weibull e Richards, mas não houve convergência dos algoritmos de estimação dos parâmetros, tanto para machos quanto para as fêmeas, não podendo estes serem utilizados. Confirmando, portanto, a necessidade de se estudar cuidadosamente a curva de crescimento, uma vez que os modelos que são indicados para descrevê-la em determinada espécie ou raça podem não obter bons resultados em outras.

Semelhante aos resultados obtidos nas fêmeas Mangalarga Marchador (MM), Mcmanus, Louvandini e Campos (2010) também indicaram que a curva obtida pela equação de Brody foi melhor para descrição do crescimento de equinos das raças Hanoveriana (HA), Brasileiro de Hipismo (BH), Puro Sangue Inglês (PSI) e mestiços (PSIxBH) do Exército

Brasileiro. Os valores de  $R^2$  observados por estes autores variaram de 0,59 a 0,69, diferentemente dos valores de  $R^2$  encontrados nesta pesquisa ( $> 0,91$ ). Como os dados de peso vivo dos equinos foram obtidos pela metodologia transversal, sendo estes de diferentes propriedades, regiões e, conseqüentemente, com variações no manejo alimentar, a qualidade de ajuste obtido pode estar relacionada à independência dos erros a partir de mensurações não repetidas no mesmo animal. Reforçando, portanto, que o método transversal pode ser utilizado na descrição da curva de crescimento em equinos, inclusive fornecendo parâmetros condizentes com o padrão racial do Mangalarga Marchador.

As estimativas do peso adulto obtidas pelos modelos estudados estão de acordo com padrão racial da raça MM, pois estes animais são classificados como eumétricos, ou seja, o peso vivo entre 350 a 550 Kg. Neste estudo os pesos variaram de 416 Kg a 420 Kg para fêmeas e de 431 Kg a 439 Kg para os machos (APÊNDICE A). Observou-se uma diferença no padrão de crescimento de acordo com sexo, onde os machos foram mais pesados que as fêmeas, verificado pelas estimativas do parâmetro “ $a$ ” dos quatro modelos (TABELA 3). Isso pode ser explicado pelo dimorfismo sexual, visto que os machos possuem características sexuais secundárias que influenciam o crescimento de regiões corporais e afetam diretamente o peso corporal. Santos et al. (2007) também encontraram diferenças do peso vivo entre sexos em cavalos pantaneiros, sendo os machos sempre mais pesados. Assim como Mcmanus et al. (2010) em cavalos do Exército Brasileiro. Garcia et al. (2011) em estudos com PSI demonstraram a existência de diferença de peso entre machos e fêmeas desde o nascimento, onde os machos geralmente nascem sempre mais pesados, afetando seu peso adulto.

Tabela 3- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento do peso vivo de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Parâmetros								
	LI*	a	LS	LI	k	LS	LI	b	LS
Fêmeas									
Brody	411,81	419,70	427,98	0,065	0,078	0,094	-2,200	0,084	1,816
Gompertz	410,10	417,90	426,05	0,080	0,098	0,119	3,403	5,155	6,494
Logístico	408,72	416,57	424,67	0,096	0,119	0,147	7,318	8,789	10,000
von Bertalanffy	410,63	418,50	426,62	0,075	0,091	0,110	5,051	8,376	12,662
Machos									
Brody	424,83	439,16	455,99	0,035	0,046	0,059	-10,182	-5,278	-1,7696
Gompertz	421,53	434,60	449,57	0,046	0,059	0,075	0,1033	3,333	5,7338
Logístico	419,02	431,40	445,32	0,057	0,073	0,093	6,6514	9,190	11,2911
von Bertalanffy	422,53	436,00	451,40	0,042	0,051	0,069	12,610	19,090	27,9170

\*Legenda: a = é o valor assintótico, ou peso adulto do animal; b = é um parâmetro de locação e está associado ao ponto de inflexão do modelo; k = é o índice de maturidade ou precocidade do modelo; LI = limite inferior do intervalo de confiança; LS = limite superior do intervalo de confiança.

Fonte: Do autor (2017).

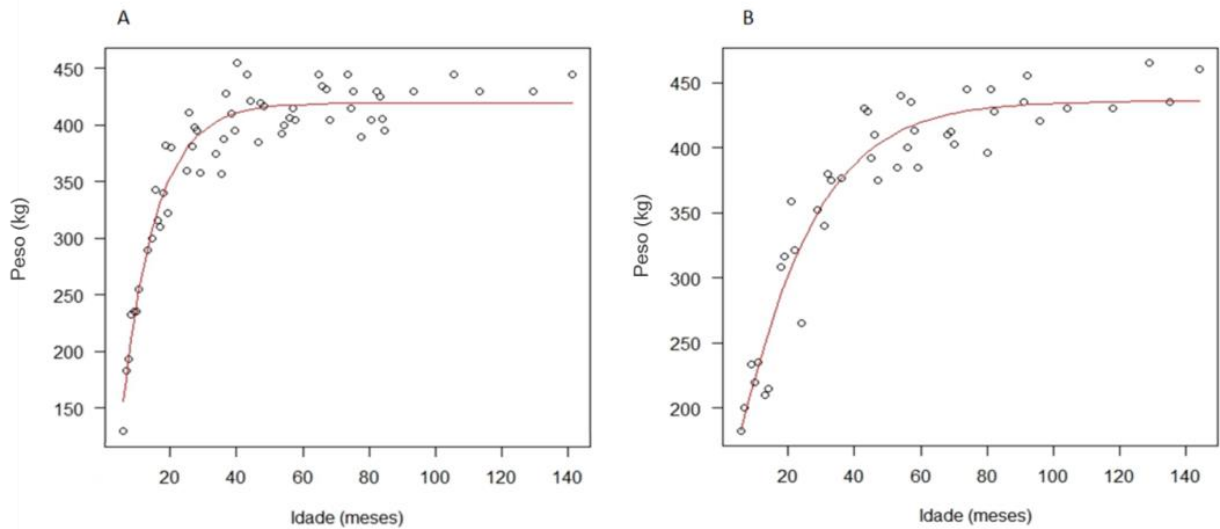
As fêmeas se mostraram mais precoces em ganho de peso do que os machos, apresentando maior valor estimado de k (TABELA 3). Isto pode estar relacionado ao manejo empregado nos criatórios de MM durante o primeiro ano vida dos animais, período no qual há grande desenvolvimento corporal. As fêmeas desta raça geralmente recebem uma nutrição e manejo sanitário de melhor qualidade desde potras, por serem as futuras matrizes e doadoras de embriões e por possuírem um maior valor agregado quando comparado aos machos nessa faixa etária, independente do direcionamento destas para participação em exposições agropecuárias. Além disso, a pressão de seleção sobre os machos é maior que nas fêmeas, sendo poucos animais escolhidos para reprodução, onde a maioria é direcionada para venda, não havendo assim melhorias no manejo destes no primeiro ano de vida. Santos et al. (2007) também observaram maior precocidade das fêmeas Pantaneiras, ao contrário de Mcmanus,

Louvandini e Campos (2010) que não encontraram diferença na taxa de maturação de ambos os sexos. Já na raça PSL, os machos se mostraram mais precoces que as fêmeas, indicando segundo os autores, que tais diferenças são devido ao dimorfismo sexual da espécie (FRALDINHO et al., 2015).

Comparando os valores encontrados de  $k$  na raça MM (TABELA 3) ao observado por Fraldinho et al. (2015) na raça PSL ( $k=0,0010$ ), demonstrou-se haver maior precocidade nos animais MM. Apesar desta raça portuguesa ter sido utilizada como base da formação do MM (SANTIAGO et al., 2013, 2014), esse resultado pode estar relacionado ao menor porte dessa raça brasileira. Esse achado foi semelhante ao encontrado por Fraldinho et al. (2015), quando observaram que os animais PSL comparados com outras raças de esporte tiveram crescimento mais lento em peso vivo.

O comportamento do crescimento em peso vivo ao longo da idade é demonstrado na figura 5 e no Apêndice A (curvas de crescimento em peso vivo com intervalos de confiança). Houve um crescimento maior e mais homogêneo nos animais MM com idade de seis a 24 meses (FIGURA 5). Garcia et al. (2011) observaram crescimento mais acentuado em potros Puro Sangue Inglês do nascimento até trinta dias, onde o ganho de peso diminui gradativamente a partir desta idade. Santos et al. (2007) também encontraram menor variação e maior crescimento nos primeiros anos de vida de equinos Pantaneiros. Estas observações podem estar relacionadas ao crescimento alométrico e compensatório dos tecidos ósseo, muscular e adiposo, que ainda é pouco conhecido na espécie equina, podendo levar a diferentes padrões de crescimento das características de interesse zootécnico, como o peso corporal.

Figura 5- Representação da curva de crescimento em peso vivo, obtida pelos modelos não-lineares de Brody para fêmeas (A) e von Bertalaffy para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.



Fonte: Do autor (2017).

A partir dos 24 meses, à medida que houve um incremento na idade ocorreu maior variabilidade no peso corporal dos animais MM. As causas desta variação podem estar relacionadas à genética e condições de manejo dos animais, como, por exemplo, deficiência ou excesso nutricional, problemas sanitários, condições ambientais estressantes, treinamento, dentre outros, que estes animais foram submetidos em sua vida produtiva (SANTOS et al., 2007). Outro fator que pode explicar tal fato é a heterogeneidade existente no rebanho da raça Mangalarga Marchador, haja visto, que a raça ainda está em formação e cuja seleção teve início a menos de 200 anos (SANTIAGO et al., 2013, 2014, 2016).

A partir dos 60 meses de idade, ocorreu uma estabilização da curva de crescimento de ambos os sexos (FIGURA 5), sugerindo que os animais MM crescem em peso corporal até próximo a esta idade. Esse padrão de crescimento foi diferente do observado em equinos de quatro grupos genéticos estudados por Mcmanus, Louvandini e Campos (2010), os quais alcançaram peso adulto aos três anos. A raça MM possui um biótipo funcional tipo sela

trabalho diferente das raças utilizadas por Mcmanus, Louvandini e Campos (2010), que são consideradas raças tipo sela esporte.

O conhecimento sobre o crescimento dos equinos Mangalarga Marchador por meio das curvas estudadas pode auxiliar no direcionamento de manejos nutricionais e sanitários em haras, por mostrarem de forma antecipada como se distribui o crescimento dos animais e assim realizar intervenções no manejo, principalmente nos primeiros anos de vida (SANTOS et al., 2007). Isso evitaria a utilização de hormônios de crescimento e dietas inadequadas, na tentativa de compensar perdas no desenvolvimento, o que podem trazer prejuízos à saúde dos animais e aumentar os custos de produção das propriedades que criam esta raça.

#### **4. CONCLUSÃO**

O método transversal de obtenção de dados pode ser aplicado no estudo de curvas de crescimento, em peso corporal, via modelos não lineares em equinos da raça Mangalarga Marchador. Sendo mais indicado a utilização do modelo von Bertalanffy para os machos e o modelo Brody para as fêmeas.

O crescimento em ganho de peso é mais rápido e homogêneo na idade de seis a 24 meses na raça Mangalarga Marchador, estabilizando-se aos 60 meses em ambos os sexos, porém as fêmeas apresentam maior precocidade do que os machos para atingir o peso adulto.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DO CAVALO MANGALARGA MARCHADOR. Disponível em: <<http://www.abccmm.org.br>> Acessado em: 7 outubro de 2016.
- CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Conformação e proporções corporais. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1798-1805, 2004a.
- CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Medidas lineares. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 33, n. 6, p. 989-1000, 2004b.
- CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Medidas Angulares. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1790-1797, 2004c.
- CARNEIRO, A. P. S. et al. Identidade de modelos não lineares para comparar curvas de crescimento de bovinos da raça Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 1, p. 57-62, 2014.
- COSTA, M. D. et al. Caracterização demográfica da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.56, p.687-690, 2004.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley, 1998. 706 p.
- FRALDINHO, M. J. et al. Growth and development of the Lusitano horse managed on grazing systems. **Livestock Science**, v. 12, p. 1871-1413, 2015.
- FREITAS A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.3, p.786-795, 2005.
- GARCIA, F. P. S. et al. Determinação do crescimento e desenvolvimento de potros puro sangue inglês em Bagé-RS. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 106, p. 43-46, 2011.
- LOBO, R. N. B. et al. Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.3, p.1012-1019, 2006.
- MAZZINI A. R. A. et al. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autoregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, mar./abr. 2005.

MCMANUS C. M. et al. Nonlinear growth curves for weight and height in four genetic groups of horses. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11, n. 1, p. 80-89, jan./mar. 2010.

MENDES, P. N. et al. Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas da raça Hereford. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1984-1990, 2008.

ONODA, T. et al. Empirical Growth Curve Estimation Using Sigmoid Sub-functions that Adjust Seasonal Compensatory Growth for Male Body Weight of Thoroughbred Horses. **Journal Equine Science**, v. 22, n. 2, p. 37-42, 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

SANTIAGO, J. M. et al. Q. Comparação entre as medidas morfométricas do rebanho atual de machos Mangalarga Marchador e dos campeões da raça. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v.70, n.1, p.46-52, 2013.

SANTIAGO, J. M. et al. Comparação entre as medidas morfométricas do rebanho atual de machos Mangalarga Marchador e das campeãs da raça. **Revista Brasileira Saúde e Produção animal**, Ondina, v. 15, n. 1, p. 141-148, 2014.

SANTIAGO, J. M. et al. Evolution of morphometric measures in the Mangalarga Marchador breed. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 1, p. 191-199, 2016.

SANTOS, S. A. et al. Monitoramento do desenvolvimento de cavalos pantaneiros por meio de curvas de crescimento. **Archivos de zootecnia**, vol. 56, Sup. 1, p.648, 2007.

SILVA, D. A. S. et al. Comparison between the growth of Brazilian children and adolescents and the reference growth charts: data from a Brazilian project. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 86, n. 2, p.115-120, 2010.

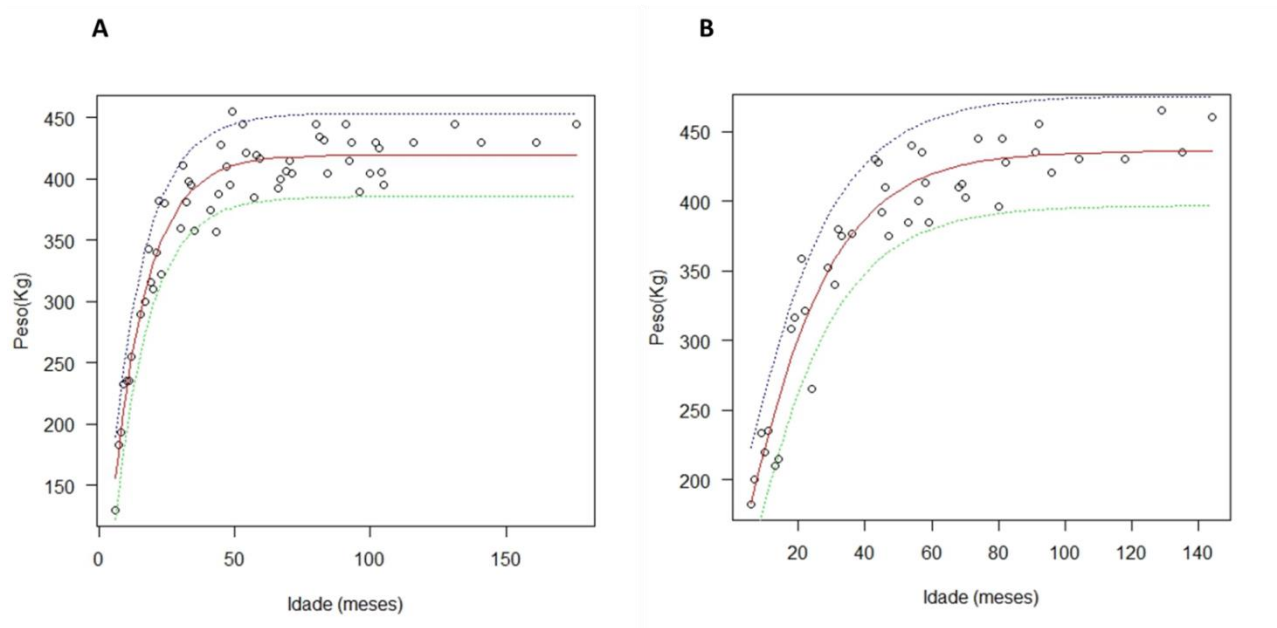
SPERANDIO, N. et al. Comparação do estado nutricional infantil com utilização de diferentes curvas de crescimento. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 4, p.565-574, 2011.

ZEFERINO, A. M. B. et al. Acompanhamento do crescimento. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, vol. 79, n. 1, p.23-32, 2003.



## APÊNDICE A - Curvas de crescimento em peso vivo com intervalos de confiança

Figura 6- Representação da curva de crescimento em peso vivo, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelos modelos não-lineares de Brody para fêmeas (A) e von Bertalaffy para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.



Fonte: Do autor (2017).

**CAPÍTULO II: MODELAGEM DO CRESCIMENTO EM MEDIDAS  
MORFOMÉTRICAS DE EQUINOS MANGALARGA MARCHADOR**

## RESUMO

A raça Mangalarga Marchador (MM) tem origem na região sul de Minas gerais, sendo muito valorizada pelo andamento, docilidade e rusticidade dos animais, sendo indicados para o lazer, esportes e no trabalho diário das propriedades rurais. O padrão de crescimento de uma espécie ou raça é pré – determinado geneticamente, mas o crescimento real envolve fatores genéticos e ambientais. Neste sentido, o estudo de curvas de crescimento animal baseados em modelos não lineares tem sido frequentemente utilizado como método para análise do desenvolvimento de diversas espécies, no entanto, não há relato de estudo sobre modelagem da curva de crescimento nesta raça. Neste trabalho objetivou-se avaliar o ajuste dos modelos Brody, Gompertz, Logístico, Von Bertalanffy e Platô de Resposta Quadrática aos dados de medidas morfométricas obtidos pelo método transversal, em equinos MM, a fim de selecionar o melhor modelo e prever sobre o crescimento e a maturidade de machos e fêmeas desta raça. Os dados experimentais foram obtidos em uma exposição agropecuária em Belo Horizonte/ MG, no ano de 2012. Foram utilizados dados morfométricos de 200 animais (75 machos e 125 fêmeas não gestantes) da raça MM, com idade entre seis e 153 meses. Estes tiveram sua altura da cernelha (AC) e comprimento corporal (CC) mensurado por hipômetro e perímetro torácico (PT) e de canela (PC) por fita métrica. Os modelos não lineares utilizados foram Brody, Gompertz, Logístico, Von Bertalanffy e o modelo segmentado de Platô de Resposta Quadrática. A estimação dos parâmetros dos modelos foi realizada pelo método de mínimos quadrados, utilizando-se o algoritmo numérico de Gauss-Newton, com base em rotina do software R. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-wilk. A comparação e seleção do modelo mais adequado para descrever a curva de crescimento foram realizadas por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ); desvio padrão residual (DPR); critério de informação de Akaike corrigido (AICc). A AC adulta estimada pelos modelos variou entre 146,25 a 148,34 cm para fêmeas e de 148,55 a 151,80 cm para machos. O CC adulto variou entre 148,59 a 151,64 cm para fêmeas e de 150,77 a 154,88 cm para machos. O PT adulto variou entre 179,07 a 182,88 cm para as fêmeas. Os dados de PT adulto dos machos não apresentaram normalidade. O PC adulto variou entre 18,25 a 18,76 cm para as fêmeas e 18,95 a 19,41 cm para machos. Sendo mais indicada utilização do modelo logístico para expressar o crescimento em AC, CC e PC dos machos e o modelo de Brody para a AC, CC, PT e PC das fêmeas. As fêmeas apresentam maior precocidade do que os machos, exceto para perímetro de canela. O método transversal de obtenção de dados pode ser aplicado no estudo de curvas de crescimento em medidas morfométricas.

**Palavras-chave:** Idade. Método transversal. Modelos não lineares. Modelos segmentados

## ABSTRACT

The Mangalarga Marchador (MM) breed originated in the southern region of Minas Gerais, being highly valued due to the gait, docility and rusticity of the animals, being indicated for leisure, sports and daily work on the rural properties. The growth pattern of a species or breed is genetically predetermined, but the actual growth involves genetic and environmental factors. In the sense, the study of animal growth curves based on nonlinear models has often been used as a method for the analysis of the development of various species, however, there is no report of a study on the modeling of the growth curve in this breed. The objective of this work was to evaluate the fit of the Brody, Gompertz, Logistic, Von Bertalanffy and Quadratic Response Plateau models to the cross-sectional data of the morphometric measures, in MM horses, in order to select the best model and predict growth and maturity of males and females of this breed. The experimental data were obtained at an agricultural exhibition in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, in the year 2012. BW data were obtained from 200 animals (75 males and 125 females non-pregnant) of MM, aged between six and 153 months. These had their height at the withers (HW) and body length (BL) measured by hypometer and thoracic perimeter (TP) and cannon (CP) by tape measure. The nonlinear models used were Brody, Gompertz, Logistic, Von Bertalanffy and Quadratic Response Plateau segmented model. The parameters of the model were estimated by employing the method of least squares, using the Gauss-Newton numerical algorithm based on R software routine. The normality of the data was verified by the Shapiro-Wilk test. The comparison and selection of the adequate model to describe the growth curve were performed using the Coefficient of determination ( $R^2$ ); Residual Standard Deviation (RSD); Akaike's Information Criterion (AIC). Adult HW estimated by the models ranged from 146.25 to 148.34 cm for females and from 148.55 to 151.80 cm for males. The adult BL ranged from 148.59 to 151.64 cm for females and from 150.77 to 154.88 cm for males. Adult TP varied from 179.07 to 182.88 cm for females. The TP data of the males did not present normality. Adult CP ranged from 18.25 to 18.76 cm for females and 18.95 to 19.41 cm for males. The use of the logistic model to express the growth in HW, BL and CP of the males and the Brody model for HW, BL, TP and CP of females is more indicated. Females present greater precocity than males, except for cannon perimeter. The cross-sectional data collection can be applied in the study of growth curves in morphometric measures.

**Keywords:** Age. Cross-sectional method. Non-linear models. Segmented models

## 1. INTRODUÇÃO

A raça Mangalarga Marchador (MM) de origem sul mineira vem obtendo grande ascensão ao longo dos anos, devido às características próprias dos animais como: a comodidade e docilidade, que atraem principalmente o mercado de usuários de equinos, que buscam o cavalo para o lazer e competições equestres, como concursos de marcha (ABCCMM, 2016). Desde a criação da raça a menos de 200 anos atrás houve uma evolução nos animais na busca de biótipos mais atléticos, com características morfofuncionais de maior qualidade para um equino de sela (SANTIAGO et al., 2016). Neste sentido, vários estudos têm sido conduzidos com animais desta raça, em diferentes áreas da equideocultura, dentre estas podem-se citar: nutrição, reprodução, manejo, treinamento, entre outros (CARBRAL et al., 2004a; 2004b, 2004c, REZENDE et al., 2000; SANTIAGO et al., 2014). Mas não há relatos de estudos nesta raça, que avaliem as características de crescimento de variáveis morfofuncionais utilizando modelagens estatísticas.

O estudo crescimento animal a partir de modelos não lineares vem sendo amplamente utilizado para o estudo do crescimento e desenvolvimento de diversas espécies, pois são capazes de prever o crescimento e maturidade dos animais, além de permitir que tomadas de decisões sejam realizadas no manejo afim de, maximizar a produção animal, por meio da interptração dos parâmetros presentes nos modelos (CARNEIRO et al., 2014; FREITAS, 2005; LOBO et al., 2006; MAZZINI et al., 2005; MENDES et al., 2008).

Em muitas situações também se utiliza os modelos segmentados como forma de facilitação do estudo do processo de crescimento animal, afim de, verificar alterações significativas ao longo do tempo (SANTANA, 2013). Vários autores observaram em suas pesquisas uma mudança repentina no padrão de crescimento animal, sugerindo que modelar este crescimento em duas partes talvez produza melhores resultados. Esta ideia é chamada de regressão segmentada e sua grande vantagem é a flexibilidade de ajustar diferentes funções que descrevam o crescimento do animal para cada intervalo de idade considerado. Um caso particular dos modelos segmentados são os chamados "modelo platô de resposta" (OLIVEIRA et al., 2000; SANTANA et al., 2012; OLIVEIRA; LANA; OLIVEIRA, 2012).

Como pôde ser visto no capítulo anterior, o padrão de crescimento em peso vivo nos animais desta raça não foi sigmoidal, e os mesmos foram mensurados a partir dos 6 meses de idade, sendo o crescimento mais acentuado até determinada idade e se estabilizando posteriormente, característica do modelo segmentado de platô, podendo também este ser utilizado para explicação de crescimento animal.

Neste sentido as medidas morfométricas podem ser utilizadas como forma de mensurar o crescimento animal (CABRAL et al. 2004a; LAWRENCE; FOWLER, 2002; REZENDE et al., 2016; SANTOS et al; 2007), podendo-se citar: altura na cernelha, comprimento corporal, perímetro torácico e perímetro de canela, como exemplos destas. Deste modo o acompanhamento do comportamento de crescimento da morfometria, ao longo do tempo, auxila no bom direcionamento da seleção para participação em competições esportivas equestres, visto que há relação da morfologia com a locomoção dos animais (BARBOSA, 1993; SANTIAGO et al. 2016, ZAMBORLINI et al., 1996). Assim, estas podem ser utilizadas como base no estudo detalhado do crescimento dos equinos, buscando melhores desempenhos dos mesmos.

Geralmente no estudo de crescimento em equinos considera-se amostras obtidas de medidas repetidas no mesmo animal, do nascimento a fase adulta (FRALDINHO et al., 2015; MCMANUS et al. 2010; SANTOS et al., 2007), também conhecido como método longitudinal (SILVA et al., 2010; SPERANDIO et al., 2011, ZEFERINO et al., 2003). Mas esta forma de obtenção de dados dificulta a realização de pesquisas com variáveis morfométricas na espécie, pois estes animais crescem até aproximadamente cinco anos de idade e grande parte dos proprietários vendem os animais antes desta idade. Desde modo a utilização do método transversal, onde as variáveis podem ser coletadas uma única vez no animal pode ser uma alternativa prática e barata, que vem mostrando muita eficiência em estudos de crescimento humano (SILVA et al., 2010; SPERANDIO et al., 2011).

Neste estudo objetivou-se avaliar o ajuste dos modelos Brody, Gompertz, Logístico, Von Bertalanffy e Platô de Resposta Quadrática aos dados de altura de cernelha, comprimento corporal, perímetro torácico e perímetro de canela de equinos Mangalarga Marchador obtidos

pelo método transversal, a fim de selecionar o melhor modelo e predizer sobre o crescimento e a maturidade de machos e fêmeas desta raça.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

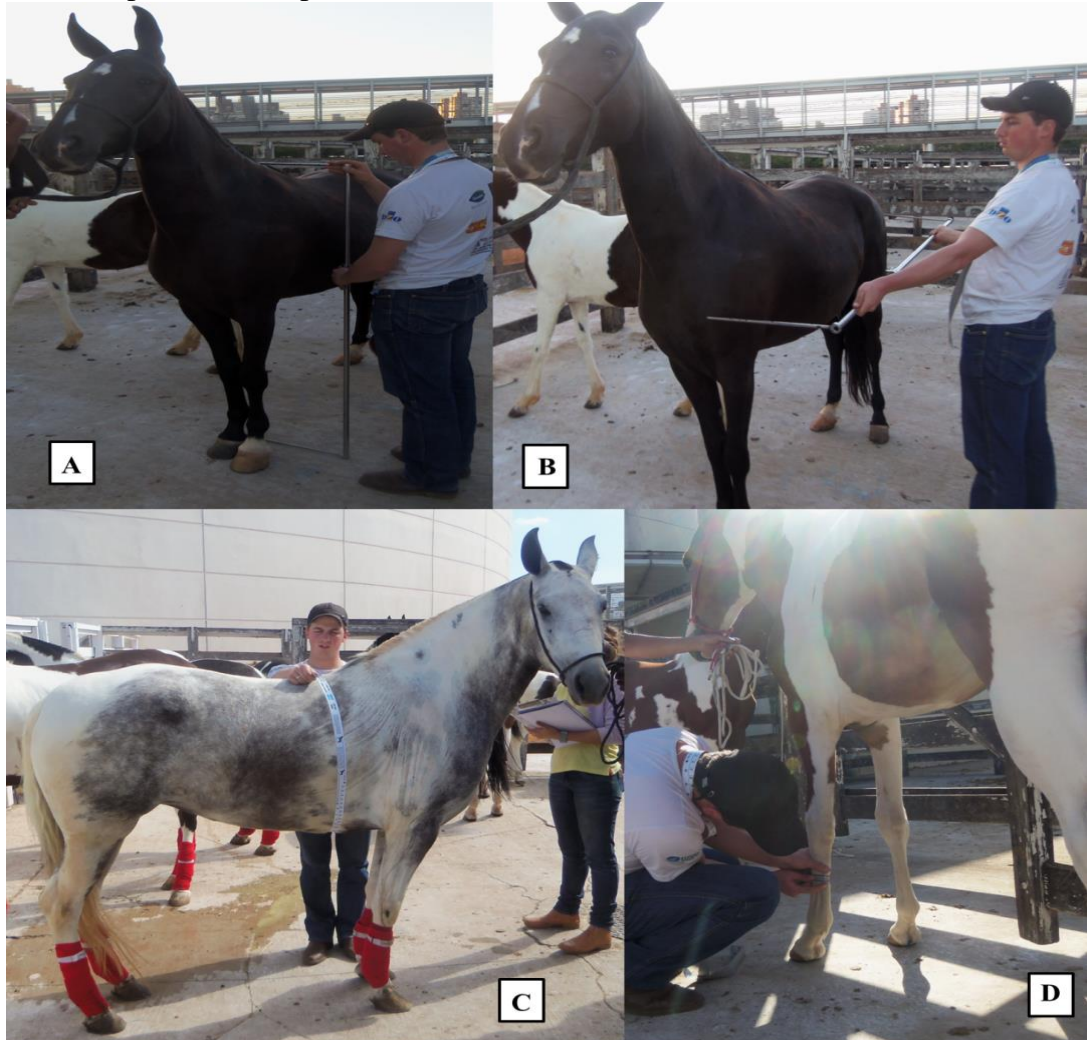
Os dados experimentais foram obtidos durante uma exposição agropecuária realizada em Belo Horizonte – MG no ano 2012. O estudo foi aprovado pelo comitê de Ética em Pesquisa da UFLA, sob protocolo 039/12. Foram utilizados 200 animais da raça Mangalarga Marchador (MM), sendo 75 machos e 125 fêmeas não gestantes, com idades entre seis e 153 meses. Os animais acima de 36 meses tinham registro definitivo na raça Mangalarga Marchador. Todos os animais foram mensurados logo após a inspeção sanitária para entrada no parque de exposições e tiveram as seguintes variáveis morfofuncionais coletadas (FIGURA 6):

- **Altura na cernelha (AC):** medida aferida do ponto mais alto da região interescapular, localizado no espaço definido pelo processo espinhoso de T5 e T6, até o solo.
- **Comprimento do corpo (CC):** distância entre as porções cranial do tubérculo maior do úmero e caudal da tuberosidade isquiática.
- **Perímetro torácico (PT):** circunferência aferida logo após o final da cernelha, entre os processos espinhosos T8 e T9, passando pelo espaço intercostal da 8ª e 9ª costelas, até a articulação da última costela com o processo xifóide.
- **Perímetro da canela (PC):** circunferência aferida na região mediana da canela esquerda, formada pelos ossos metacárpicos II, III e IV.

Todas estas mensurações foram realizadas por um único mensurador do lado esquerdo do animal em estação (quatro membros apoiados e cabeça em posição normal), segundo metodologia citada por Cabral et al. (2004b) e Santiago et al. (2013, 2014). Estas medidas foram escolhidas, pois são utilizadas para cálculos de índices de conformação, são mensuradas no momento do registro definitivo dos animais, além de serem usadas nos estudos de proporções corporais e biomecânica da locomoção equina. Os equipamentos utilizados nas

mensurações foram um hipômetro e duas fitas métricas. O hipômetro foi utilizado para medidas de altura e comprimento. Este consiste em uma haste e dois braços de metal, sendo a haste uma régua, graduada em centímetros, e um dos braços um ramo horizontal que pode ser movido ao longo da haste para as medidas de altura. O outro braço é acoplado à haste para mensuração das medidas de comprimento. Uma fita métrica medindo 2 metros, com precisão de 0,1 cm, foi utilizada para mensuração do perímetro torácico e a outra, com precisão de 0,01 cm, utilizada para mensuração do perímetro da canela.

Figura 7- Mensuração das variáveis morfométricas: (A) Altura de cernelha, (B) Comprimento corporal, (C) Perímetro torácico e (D) Perímetro de canela.



Fonte: Do autor (2017).



Os modelos não lineares, Brody (1), Gompertz (2), Logístico (3), Von Bertalanffy (4) foram utilizados para descrever a curva de crescimento das variáveis morfofuncionais dos equinos de cada sexo, com base nas seguintes equações:

$$y_i = a * \{1 - \exp[b - kt_i]\} + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$y_i = a * \exp\{-\exp[b - kt_i]\} + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$y_i = \frac{a}{\{1 - \exp[b - kt_i]\}} + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$y_i = a * \{1 - \exp[b - kt_i]\}^3 + \varepsilon_i \quad (4)$$

Nas equações (1), (2), (3) e (4) tem – se que: “ $y_i$ ” é variável em estudo do animal; “ $a$ ” é o valor assintótico ou altura, comprimento e perímetro adulto do animal; “ $b$ ” é um parâmetro de locação e está associado ao ponto de inflexão do modelo, ou seja, a idade em que o animal passa de um crescimento acelerado para um crescimento desacelerado até estabilizar no valor máximo  $a$ ; “ $k$ ” indica a taxa de crescimento do animal, ou índice de precocidade, uma vez que quanto maior o valor de  $k$ , menos tempo será necessário para o animal atingir, por exemplo, a sua altura adulta e “ $t_i$ ” refere-se à idade em que o animal foi mensurado; “ $\varepsilon_i$ ” é o erro experimental associado à medida da variável  $i$ , pressupõe-se que este seja aleatório, independente e com distribuição normal  $N(0, \sigma^2)$ .

A estimação dos parâmetros destes modelos não lineares foi feita pelo método de mínimos quadrados, conforme Draper e Smith (1998), por meio do qual é obtido o Sistema de Equações Normais (SEN), utilizando-se o algoritmo numérico de Gauss-Newton, com base em rotina do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015), estimando-se os parâmetros pela função `gnls` e `lm`, funções estas que ajustam os modelos não lineares usando o método dos mínimos quadrados generalizados, do pacote `nlme`.

Para verificar a normalidade dos dados foi realizado o teste de Shapiro-wilk. Sob a suposição de normalidade dos resíduos foram também obtidos os intervalos de confiança para as estimativas dos parâmetros. Define-se o intervalo de 95% de confiança para o parâmetro  $\beta_i$  do modelo como:

$$- IC(\beta_i) : b_i \pm t(v;0;025).S(b_i)$$

Em que:  $b_i$  é a estimativa para o parâmetro ( $\beta_i$ );  $S(b_i)$  é o erro padrão da estimativa e  $t(v;0;025)$  é o quantil superior da distribuição t de Student, considerando  $\alpha= 5\%$  e o grau de liberdade  $v = n - p$ .

A comparação e seleção do modelo mais adequado para descrever a curva de crescimento foram realizadas com base nos seguintes avaliadores de qualidade de ajuste:

i. Desvio-padrão residual (DPR), calculado pela expressão  $DPR = \sqrt{QME}$ , sendo QME o quadrado médio residual. Quanto menor for o DPR melhor o modelo se ajusta.

ii. Coeficiente de determinação ( $R^2$ ), obtido por:  $R^2 = 1 - \frac{SQE}{SQTotal}$ , em que SQE é a soma de quadrados dos resíduos e SQTotal é a soma de quadrados total. O coeficiente de determinação varia de 0 a 1, tendo melhor ajuste o modelo cujo  $R^2$  estiver mais próximo de 1.

iii. Critério de informação de Akaike corrigido (AICc), calculado através da expressão:

$$AIC_c = \ln(SQE/n) + 2(q+1) + \frac{2(q+1)(q+2)}{n-(q+2)}$$

Em que  $n$  é o tamanho da amostra e  $q$  é o número de parâmetros do modelo. Quanto menor o valor de  $AIC_c$  melhor é o ajuste fornecido pelo modelo.

O modelo segmentado de Platô de Resposta Quadrática foi utilizado para descrever a curva de crescimento das variáveis morfofuncionais dos equinos de cada sexo, com base na seguinte equação:

$$\begin{cases} y_i = a + bt_0 + ct_0^2 + \varepsilon_i & (A) \\ y_i = p + \varepsilon_i & (B) \end{cases}$$

Na equação, tem – se que: “ $y_i$ ” é variável em estudo, “a”, “b” e “c” são os parâmetros dos modelos de regressão linear simples, sem interpretação prática direta. O valor  $t_0$  é o ponto de junção da equação quadrática (A) com o platô  $p$ , expresso na equação (B). Sendo assim, para valores,  $t_i < t_0$  o modelo que descreve a resposta “ $y_i$ ” é uma função quadrática, descrevendo uma parábola e para valores  $t_i > t_0$  é uma função constante, transformando-se numa reta com inclinação zero ou denominada platô. O “ $\varepsilon_i$ ” é o erro experimental associado à medida da variável  $i$ , pressupõe-se que este seja aleatório, independente e com distribuição normal  $N(0, \sigma^2)$ . Para o modelo de Platô de Resposta Quadrática também foi utilizado o Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) para verificação da qualidade do ajuste do modelo, como descrito anteriormente para os demais modelos.

Todos os testes estatísticos, estimação dos parâmetros dos modelos não-lineares e segmentado, obtenção de intervalos de confiança, ajustes gráficos, assim como todas as demais análises computacionais envolvidas na pesquisa foram realizadas pelo software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise do crescimento utilizando modelos não-lineares

A normalidade dos erros se verificou pelo teste de Shapiro-Wilk (valor- $p > 0,01$ ) para todos os modelos das variáveis morfométricas estudadas, exceto para os dados do perímetro torácico dos machos, que não apresentaram distribuição de normalidade (TABELA 4, 6, 8,10).

Analisando primeiramente a variável altura na cernelha, os indicadores de qualidade de ajuste dos modelos estatísticos foram eficientes na descrição da curva de crescimento em altura dos equinos avaliados, com valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variando entre 85,6 a 87,8%, com vantagem para o modelo logístico para machos e fêmeas, que obteve menores valores de DPR e  $AIC_c$  (TABELA 4). Em estudos de Mcmanus, Louvandini e Campos (2010) com cavalos das raças Hanoveriana (H), Brasileiro de Hipismo (BH), Puro

Sangue Inglês (PSI) e mestiços (BHxPSI) do Exército Brasileiro estes autores encontraram  $R^2$  para altura de cernelha variando entre 0,12 a 0,66. Diferentemente de Valette et al. (2008) que obtiveram  $R^2$  de 0,82 a 0,99 para animais Puro Sangue Inglês, Trotradores franceses e Sela Francesa. Tais diferenças da qualidade de ajuste dos modelos podem estar relacionadas aos diferentes tipos raciais estudados pelos autores, visto que os equinos Mangalarga Marchador são animais tipo sela trabalho e os demais animais possuem biótipos sela esporte. Além disto, a forma de coleta dos dados pelo método transversal deste estudo, onde a qualidade de ajuste obtido pode estar relacionada à independência dos erros a partir de mensurações não repetidas no mesmo animal (MAZZINI et al. 2005), pode resultar nestas diferenças, indicando que o método transversal também é eficiente e pode ser utilizado para descrever o crescimento da raça Mangalarga Marchador.

Tabela 4- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento para altura de cernelha de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Sexo	SW	$R^2$	$AIC_c$	DPR
Brody	Machos	0,2896	0,8738	218,19	3,066
	Fêmeas	0,4654	0,8562	319,75	2,726
Gompertz	Machos	0,3102	0,8761	217,57	3,043
	Fêmeas	0,4601	0,8570	319,46	2,720
Logístico	Machos	0,3382	0,8782	217,00	3,023
	Fêmeas	0,4405	0,8576	319,23	2,710
von Bertalanffy	Machos	0,3010	0,8754	217,77	3,050
	Fêmeas	0,4619	0,8567	319,55	2,722

Fonte: Do autor (2017).

Comparativamente a estes achados, Fraldinho et al. (2015) indicaram o modelo de Richards como o mais confiável para analisar o desenvolvimento de 121 potros da raça Puro Sangue Lusitana (PSL), ressaltando que este modelo foi o mais próximo na descrição do padrão racial do PSL. Da mesma forma, Santos et al. (2007) também concluíram o modelo de

Richards como o mais eficiente em equinos pantaneiros. O mesmo Santos et al. (1999) por sua vez, indicaram o modelo de Weibull como melhor para descrever a altura dos animais, contrariando os resultados do trabalho de 2007 e justificando as diferenças devido ao maior número de animais do trabalho mais recente. Já Mcmanus, Louvandini e Campos (2010) recomendam a utilização dos modelos de Brody e Weibull para avaliar o desenvolvimento em altura da cernelha em animais a partir de 6 meses de idade. Estes mesmos autores contraindicaram o modelo logístico, pois foi o que apresentou maior erro e menor  $R^2$ , contrariando a presente pesquisa. Mas Valette et al. (2008) verificou o modelo logístico como melhor estimador da altura na cernelha de cavalos franceses. No presente estudo tentou-se o ajuste dos modelos Weibull e Richards para todas as variáveis morfométricas, mas não houve convergência dos algoritmos de estimação dos parâmetros, tanto para machos quanto para as fêmeas, não podendo estes serem utilizados. Mcmanus, Louvandini e Campos (2010) também não conseguiram convergência dos dados utilizando o modelo de Richards. Portanto, isto demonstra que há necessidade de se estudar o crescimento de forma criteriosa, uma vez que os modelos de descrição do desenvolvimento equino podem variar seus resultados em função dos diferentes grupos genéticos existentes na espécie.

As alturas de cernelha obtidas pelos modelos variaram entre 146,25 a 148,34 cm para fêmeas e de 148,55 a 151,80 cm para machos aos 60 meses. Estas se mostraram condizentes com padrão racial da raça Mangalarga Marchador, onde a altura na cernelha deve estar entre 140 a 154 cm e 147 a 157 cm para fêmeas e machos respectivamente, sendo considerado como altura ideal 146 para fêmeas e 152 para machos. Valores parecidos a estes também foram observados por Barbosa (1993) e Zamborlini et al. (1996). Cabral et al. (2004b) encontraram valores de altura de cernelha para a raça MM de 151,5 cm para machos e 151,6 cm para fêmeas diferindo dos resultados obtidos, visto que as fêmeas foram maiores que os machos. Santiago et al. (2013, 2014) compararam as médias de altura na cernelha entre os animais campeões nacionais da raça MM e o rebanho atual MM encontrando valores médios, próximos ao presente estudo, de 151 cm para os machos campeões e 150 cm para machos do rebanho atual e 150 cm para as fêmeas campeãs e 146 para as fêmeas do rebanho atual MM.

Comparando-se machos e fêmeas nota-se que houve diferenças no crescimento, pois quando avaliamos as estimativas do parâmetro “ $a$ ” dos modelos (TABELA 5) e o intervalo de confiança (LI e LS) da altura de cernelha é possível concluir que os machos são maiores do que as fêmeas, pois o maior valor de altura das fêmeas (148,34 cm) é menor do que a menor altura dos machos (148,55), assim como não houve uma sobreposição dos valores, estes são estatisticamente diferentes. Os resultados de Mota, Oliveira e Puoli Filho (2010) também concordam que a altura dos machos geralmente é maior do que as fêmeas. Tais diferenças entre os sexos podem ser explicadas pelo dimorfismo sexual, pois os machos possuem características sexuais secundárias que influenciam em um crescimento diferenciado de tecidos e conseqüentemente regiões do corpo, o que leva a diferenças no padrão de crescimento da altura. Santos et al. (1999 e 2007) também encontraram diferenças na altura de cernelha entre sexos em cavalos pantaneiros, sendo os machos sempre maiores, que segundo os autores é explicado pela existência de dimorfismo sexual na espécie. Estudos semelhantes de Fraldinho et al. (2015) em Lusitanos também reforçam a afirmação que as diferenças são devidas ao dimorfismo sexual. Contrários a estes resultados Garcia et al. (2011) não encontraram diferenças estatísticas entre a altura de cernelha de fêmeas e machos na raça PSI.

Tabela 5- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento da altura de cernelha de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Parâmetros								
	LI*	a	LS	LI	k	LS	LI	b	LS
Fêmeas									
Brody	146,50	147,40	148,34	0,0681	0,0857	0,1069	-20,53	-14,23	-9,57
Gompertz	146,47	147,36	148,29	0,0719	0,0904	0,1129	-18,04	-12,19	-7,87
Logístico	146,45	147,33	148,25	0,0757	0,0954	0,1190	-15,76	-10,30	-6,30
von Bertalanffy	146,48	147,38	148,31	0,0706	0,0889	0,1109	18,37	25,21	34,34
Machos									
Brody	148,61	150,13	151,80	0,0505	0,0655	0,0842	-28,15	-19,46	-13,17
Gompertz	148,58	150,07	151,69	0,0539	0,0695	0,0889	-24,42	-16,62	-10,97
Logístico	148,55	150,01	151,58	0,0574	0,0736	0,0938	-21,09	-14,04	-8,92
von Bertalanffy	148,59	150,10	151,72	0,0528	0,0682	0,0873	24,33	33,64	46,32

\*Legenda: a = é o valor assintótico, ou altura adulta do animal; b = é um parâmetro de locação e está associado ao ponto de inflexão do modelo; k = é o índice de maturidade ou precocidade do modelo; LI = limite inferior do intervalo de confiança; LS = limite superior do intervalo de confiança.

Fonte: Do autor (2017).

As fêmeas se mostraram mais precoces em altura de cernelha do que os machos, apresentando maior valor estimado de k (TABELA 5). Esta precocidade também pode estar relacionada a características de dimorfismo sexual, pois mesmo que as fêmeas sejam menores do que os machos, estas atingem a idade adulta com maior rapidez. Outros fatores também podem estar influenciando as diferenças de desenvolvimento entre os sexos, como as condições de manejo que por muitas vezes são diferenciadas entre os animais. Na raça Mangalarga Marchador, há uma tendência nos haras em se fazer uma dieta diferenciada entre machos e fêmeas, principalmente nos anos iniciais de vida, período no qual as exigências nutricionais são aumentadas, devido ao maior crescimento corporal. Sendo assim, como as fêmeas são direcionadas para produção de futuras matrizes e doadoras de embrião dos criatórios, e possuem maior valor de mercado, recebem geralmente alimentos de melhor

qualidade nutricional, além de suplementações e manejos sanitários adequados. Já os machos que possuem um menor valor agregado e serão direcionados para venda, só permanecendo nas fazendas aqueles com grande superioridade zootécnica para reprodução, muitas vezes não recebem o mesmo manejo que as fêmeas, o que acarreta em um crescimento mais lento em relação às mesmas. Nos estudos de Mcmanus, Louvandini e Campos (2010), com animais do Exército Brasileiro, poucas diferenças foram encontradas na taxa de maturação de ambos os sexos, sugerindo que a precocidade de machos e fêmeas depende da raça em estudo. Já Santos et al. (1999) observaram maior precocidade das fêmeas Pantaneiras.

Analisando os resultados obtidos para comprimento corporal, verificou-se por meio dos indicadores de qualidade de ajuste que os modelos estatísticos foram eficientes na descrição da curva de crescimento dos equinos avaliados, com valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variando entre 78,2 a 91,3%, sendo o modelo logístico melhor preditor do crescimento do comprimento corporal para machos e Brody para fêmeas, que também obtiveram menores valores de DPR e  $AIC_c$  (TABELA 6). Na literatura consultada não foram encontrados estudos que avaliassem a utilização de modelagem não linear no estudo do crescimento do comprimento corporal em equinos. Visto que, a maioria das pesquisas avalia principalmente o peso vivo, devido a sua importância no manejo nutricional, e altura na cernelha, pois criadores e profissionais se preocupam para que os animais atinjam a altura recomendada de registro definitivo pelos padrões das raças. Mas torna-se necessário destacar que o comprimento corporal é fundamental no estudo de proporções corporais, como descrito por Cabral et al. (2004a) e Bortoni (1990), além de auxiliar na definição de biótipos dos animais, através dos índices de conformação corporal. Para Reed e Dunn (1977) o comprimento do corpo foi a variável morfométrica de maior taxa de crescimento em potros árabes, reforçando assim, a necessidade de se estudar de maneira mais detalhada o desenvolvimento desta variável morfofuncional.



Tabela 6- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento para comprimento corporal de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Sexo	SW	$R^2$	$AIC_c$	DPR
Brody	Machos	0,3912	0,9122	228,79	3,478
	Fêmeas	0,0140	0,7869	391,24	4,724
Gompertz	Machos	0,4323	0,9129	228,51	3,467
	Fêmeas	0,0118	0,7844	391,74	4,742
Logístico	Machos	0,4831	0,9133	228,33	3,459
	Fêmeas	0,0104	0,7818	392,26	4,761
von Bertalanffy	Machos	0,4133	0,9127	228,59	3,470
	Fêmeas	0,0125	0,7852	391,57	4,730

Fonte: Do autor (2017).

Os comprimentos corporais obtidos pelos modelos variaram entre 148,59 a 151,64 cm para fêmeas e de 150,77 a 154,88 cm para machos (TABELA 7). Porém Cabral et al. (2004b) encontraram valores de 157,6 e 149,4 cm para machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador, respectivamente. Zamborlini et al. (1996) também estudaram animais deste mesmo grupo genético e encontrou valores de comprimento corporal semelhantes a presente pesquisa, sendo 148 cm para fêmeas e 152 cm para machos. Nota-se que os machos são sempre maiores que as fêmeas e estas diferenças entre os sexos também podem estar relacionadas ao dimorfismo sexual, como afirmado por Miserani et al. (2012). Estes mesmos autores observaram que variáveis morfofuncionais como o comprimento corporal além de serem influenciadas pelo sexo, podem sofrer variações devido aos efeitos ambientais da região de criação dos animais e ano de nascimento. Desta maneira como os equinos em estudo são originários de diferentes regiões do país, com variações nas condições climáticas e de manejo, isto pode ter potencializado também as diferenças entre indivíduos e entre os sexos.

Tabela 7- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento do comprimento corporal de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Parâmetros								
	LI*	a	LS	LI	k	LS	LI	b	LS
Fêmeas									
Brody	148,65	150,12	151,64	0,0841	0,1134	0,1537	-11,51	-6,01	-2,20
Gompertz	148,61	150,09	151,61	0,0892	0,1209	0,1648	-9,32	-4,24	-0,75
Logístico	148,59	150,06	151,57	0,0944	0,1284	0,1759	-7,36	-2,65	0,54
von Bertalanffy	148,63	150,10	151,62	0,0875	0,1184	0,1611	8,09	14,09	22,50
Machos									
Brody	151,01	152,83	154,88	0,0513	0,0653	0,0821	-21,54	-14,84	-9,94
Gompertz	150,89	152,65	154,61	0,0562	0,0714	0,0894	-17,01	-11,24	-7,01
Logístico	150,77	152,49	154,38	0,0613	0,0776	0,0970	-13,14	-8,10	-4,41
von Bertalanffy	150,93	152,70	154,69	0,0546	0,0694	0,0869	20,65	28,22	38,46

\*Legenda: a = é o valor assintótico, ou comprimento corporal adulto do animal; b = é um parâmetro de locação e está associado ao ponto de inflexão do modelo; k = é o índice de maturidade ou precocidade do modelo; LI = limite inferior do intervalo de confiança; LS = limite superior do intervalo de confiança.

Fonte: Do autor (2017).

As fêmeas se mostraram mais precoces em comprimento corporal em relação aos machos, apresentando sempre maior valor estimado de k (TABELA 7), como também descrito anteriormente para altura na cernelha. Tais diferenças podem estar sendo influenciadas não somente pelo sexo, mas também pelas diferenças nas condições de manejo que estes animais têm sido desafiados ao longo de sua vida produtiva, visto que os machos são normalmente direcionados para venda em leilões e feiras da raça, servindo como fonte de renda para os criadores e assim não recebe a mesma qualidade de manejo das fêmeas. Da mesma forma esta diferenciação no manejo faz com estes animais sofram mais o efeito do estresse ocorrido no momento do desmame. Assim como, relatado por Gonçalves et al. (2012), as condições nutricionais desfavoráveis no momento do desmame trazem por consequência piores ganhos no desenvolvimento das características morfométricas e estas

restrições fazem com que as taxas iniciais de crescimento que deveriam ser altas nos períodos iniciais de vida passam a ser mais lentas e levam as diferenças em precocidade, como verificado nesta pesquisa.

Para o perímetro torácico, os dados obtidos dos machos MM não apresentaram uma distribuição normal, segundo teste de Shapiro-Wilk (valor-p < 0,01), não sendo possível a aplicação da modelagem não linear nos mesmo (TABELA 8). Desta maneira analisando somente as fêmeas quanto ao comportamento do crescimento desta variável, os indicadores de qualidade de ajuste demonstraram que os modelos estatísticos foram eficientes na predição do perímetro torácico, com valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variando entre 85,6 a 86,2%, sendo o modelo de Brody o mais indicado para estas fêmeas MM, por obter mais valor de  $R^2$  e menores valores de DPR e  $AIC_c$  (TABELA 8). Já Fraldinho et al. (2015) conseguiram avaliar os modelos tanto para machos quanto em fêmeas, encontrando valores de  $R^2$  de 95% para fêmeas, valores superiores a esta pesquisa e selecionaram o modelo de Richards como o mais acurado na descrição do crescimento. Não houve convergência dos dados utilizando o modelo de Richards para esta variável neste estudo, não sendo este indicado para aplicação na raça Mangalarga Marchador.

Tabela 8- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento para perímetro torácico de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Sexo	SW	$R^2$	$AIC_c$	DPR
Brody	Machos	0,0096	0,8995	245,06	4,222
	Fêmeas	0,7765	0,8623	398,79	5,007
Gompertz	Machos	0,0073	0,8991	245,21	4,229
	Fêmeas	0,7462	0,8595	399,79	5,045
Logístico	Machos	0,0064	0,8984	245,42	4,240
	Fêmeas	0,7205	0,8567	400,76	5,083
von Bertalanffy	Machos	0,0078	0,8992	245,15	4,226
	Fêmeas	0,7606	0,8604	399,46	5,032

Fonte: Do autor (2017).

Os perímetros torácicos obtidos pelos modelos variaram entre 179,07 a 182,88 cm para as fêmeas (TABELA 9). Contrariando estes resultados Cabral et al. (2004b) em suas pesquisas com a mesma raça, verificou que as fêmeas tinham valores de perímetro torácico menores (175,7 cm). Na raça PSL, importante formadora dos animais MM, Fraldinho et al. (2015) obtiveram valores deste perímetro de 196,3 cm em média, demonstrando que a raça é um importante fator a ser analisado quando se estuda o crescimento corporal, visto que raças de maior porte tem valores de medidas morfométricas maiores do que raças de pequeno e médio porte, e tendem a ter um crescimento mais lento, como demonstrado por Fraldinho et al. (2015).

Tabela 9- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento do perímetro torácico de fêmeas da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Parâmetros								
	LI*	a	LS	LI	k	LS	LI	b	LS
Fêmeas									
Brody	179,19	180,96	182,88	0,0613	0,0803	0,1037	-16,86	-10,45	-5,98
Gompertz	179,07	180,82	182,70	0,0665	0,0875	0,1133	-13,31	-7,56	-3,60
Logístico	178,95	180,69	182,55	0,0719	0,0949	0,1233	-10,21	-5,04	-15,08
von Bertalanffy	179,11	180,90	182,76	0,0648	0,0851	0,1100	14,40	21,39	31,31

\*Legenda: a = é o valor assintótico, ou perímetro torácico adulto do animal; b = é um parâmetro de locação e está associado ao ponto de inflexão do modelo; k = é o índice de maturidade ou precocidade do modelo; LI = limite inferior do intervalo de confiança; LS = limite superior do intervalo de confiança.

Fonte: Do autor (2017).

Na análise da variável perímetro de canela, por meio dos indicadores de qualidade de ajuste, demonstrou-se que os modelos estatísticos foram eficientes na predição deste perímetro, com valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variando entre 75,5 a 86,3%, sendo o modelo de Brody o mais indicado para fêmeas e o Logístico para os machos desta raça, tendo estes maiores valores de  $R^2$  e menores valores de DPR e  $AIC_c$  (TABELA 10). Contrários a estes resultados Fraldinho et al. (2015) também encontraram o modelo de

Richards como melhor preditor do perímetro de canela em machos e fêmeas da raça Puro Sangue Lusitano (PSL). Mas da mesma forma que as demais variáveis estudadas, não houve convergência dos dados utilizando o modelo de Richards para a raça MM.

Tabela 10- Valor-p do teste de Shapiro-Wilk (SW), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão residual (DPR) e critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), na avaliação do ajuste dos modelos de crescimento para perímetro de canela de machos e fêmeas da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Sexo	SW	$R^2$	$AIC_c$	DPR
Brody	Machos	0,6020	0,8605	56,63	0,448
	Fêmeas	0,0386	0,7650	105,04	0,523
Gompertz	Machos	0,5279	0,8621	56,24	0,446
	Fêmeas	0,0339	0,7617	105,65	0,525
Logístico	Machos	0,4591	0,8636	55,88	0,444
	Fêmeas	0,0298	0,7585	106,23	0,528
von Bertalanffy	Machos	0,5521	0,8616	56,37	0,447
	Fêmeas	0,0355	0,7628	105,45	0,524

Fonte: Do autor (2017).

Os perímetros de canela obtidos pelos modelos (TABELA 11) variaram entre 18,25 a 18,76 cm para as fêmeas e 18,95 a 19,41 cm para machos MM. Barbosa (1993) encontrou valores entre 17,9 e 18,7 cm para ambos os sexos da raça MM. Zamborlini et al. (1996) por sua vez encontrou média deste perímetro de 18 cm em animais da mesma raça. Já Cabral et al. (2004b) encontrou valores superiores a esta pesquisa, obtendo-se 19,7cm para machos e 19 cm para fêmeas. Tais resultados demonstram que o comportamento do crescimento ósseo é diferenciado entre os sexos, onde assim como, nas variáveis: altura na cernelha e comprimento corporal, o perímetro de canela dos machos tende a ser sempre maior do que as fêmeas. Isto pode conferir vantagem aos machos principalmente no treinamento diário dos criatórios, aumentando a capacidade de carga dos membros no trabalho e maior vida produtiva a este equino (BERBARI NETO, 2005). Estas diferenças também podem vir do dimorfismo sexual como descrito por vários autores nas demais variáveis estudadas

(MISERANI et al., 2002; MOTA; OLIVEIRA; PUOLI FILHO, 2010; SANTOS et al., 2007). Visto que, as fêmeas geralmente apresentam raios e contornos osséos mais bem delineados e finos quando comparados aos machos, pois apresentam características zootécnicas de fêmeas, que também são importantes na avaliação morfofuncional e conseqüentemente na seleção de futuras matrizes. Mas é fundamental lembrar-se que bons membros é uma beleza absoluta e deve ser considerada de grande importância, pois além de serem avaliados em campeonatos da raça Mangalarga Marchador durante o julgamento de morfologia, na observação dos apurmos, tem relação com a qualidade óssea do esqueleto, muito bem demonstrada pelo perímetro da canela (FLETCHER et al., 2000).

Contrariamente a demais medidas morfométricas analisadas, os machos se mostraram mais precoces em perímetro de canela do que as fêmeas, apresentando maior valor estimado de k (TABELA 11). Esta precocidade indica que possa haver uma diferença de crescimento no tecido ósseo entre machos e fêmeas, visto que, os machos por serem maiores e mais pesados, precisam de ossos mais espessos para sustentar todo seu corpo. Desta forma, o crescimento em altura e comprimento é mais acelerado nas fêmeas (valor de k nas tabelas 5 e 7) e conseqüentemente devido a esta prioridade de crescimento, seus raios ósseos crescem de forma lenta, mas mais estudos devem ser conduzidos para confirmação de tal afirmação nesta raça.

Estudos conduzidos por Fraldinho et al. (2015) contrariam a presente pesquisa, pois as fêmeas foram mais precoces que os machos lusitanos, já no MM os machos foram mais precoces em perímetro de canela do que as fêmeas. Esses achados podem estar relacionados ao porte das raças, sendo o padrão de desenvolvimento ósseo diferenciado entre grupos genéticos, onde raças de maior porte podem crescer de forma mais lenta como comentado pelos próprios autores.

Tabela 11- Parâmetros estimados e limites inferior e superior dos intervalos de confiança para os quatro modelos na descrição da curva de crescimento do perímetro de canela de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.

Modelos	Parâmetros								
	LI*	a	LS	LI	k	LS	LI	b	LS
Fêmeas									
Brody	18,27	18,48	18,76	0,0400	0,0642	0,0969	-38,10	-20,05	-10,18
Gompertz	18,26	18,47	18,74	0,0426	0,0683	0,1033	-33,66	-17,16	-8,13
Logístico	18,25	18,46	18,72	0,0452	0,0725	0,1098	-29,70	-14,57	-6,28
von Bertalanffy	18,26	18,47	18,75	0,0417	0,0670	0,1011	19,71	34,49	61,29
Machos									
Brody	18,96	19,17	19,41	0,0521	0,0697	0,0922	-25,67	-16,77	-10,53
Gompertz	18,95	19,16	19,39	0,0557	0,0741	0,0975	-21,98	-14,03	-8,44
Logístico	18,95	19,16	19,38	0,0594	0,0786	0,1030	-18,70	-11,55	-6,51
von Bertalanffy	18,96	19,17	19,40	0,0545	0,0726	0,0957	20,66	30,03	43,20

\*Legenda: a = é o valor assintótico, ou perímetro de canela adulto do animal; b = é um parâmetro de locação e está associado ao ponto de inflexão do modelo; k = é o índice de maturidade ou precocidade do modelo; LI = limite inferior do intervalo de confiança; LS = limite superior do intervalo de confiança.

Fonte: Do autor (2017).

O crescimento de todas variáveis morfométricas estudadas obteve o mesmo comportamento ao longo da idade, como demonstrado nas figuras 8, 9, 10, 11 e no Apêndice B (curvas de crescimento em medidas morfométricas com intervalos de confiança). O crescimento destas não apresentou formato sigmoidal, mas isto já era esperado, haja visto, que os dados foram coletados em animais a partir de seis meses de idade, não incluindo valores desde o nascimento e assim não foi possível verificar o ponto de inflexão das curvas de crescimento. Por este motivo o parâmetro b não foi discutido nos resultados anteriores.

Houve maior intensidade e homogeneidade do crescimento para nos animais MM com idade de seis a 24 meses. Este padrão elevado de crescimento é característico da espécie equina, como mencionados em estudos de Reed e Dunn (1977). Mota et al. (2010) analisando

o potros da raça Quarto de Milha, comprovou uma maior uniformidade no crescimento em altura na cernelha e perímetro torácico nos animais até os 19 meses de idade. Também vai de encontro com a descrição do crescimento proposta por Garcia et al. (2011) que verificaram em seus achados maiores intensidades de crescimento em potros Puro Sangue Inglês nos primeiros anos de vida, onde com 12 meses de idade os potros e potras já possuíam em média 65% de sua altura adulta. Para Valette et al. (2008) o crescimento é mais acelerado até 12 meses em cavalos franceses em uma taxa mais acentuada até 6 meses que diminui entre 6 a 12 meses de idade. Santos et al. (2007) descreveram que para equinos há uma grande variabilidade do crescimento nos meses iniciais que diminui sensivelmente ao longo da curva de crescimento dos mesmos. Ainda segundo Santos et al. (1999) estas diferenças observadas ao longo da idade dos equinos podem estar relacionadas a hiperplasia e hipertrofia muscular determinando o aumento do tamanho dos animais. Além disto, o crescimento alométrico dos diferentes tecidos corporais como o ósseo e muscular que tende há ser maior nos primeiros anos de vida dos equinos podem levar a diferentes padrões de crescimento corporal em animais da raça Mangalarga Marchador.

È interessante ressaltar que a homogeneidade do crescimento encontrada na presente pesquisa foi melhor nas fêmeas do que os machos, isto pode ser devido justamente pela melhor qualidade da nutrição aplicada às fêmeas nos primeiros anos de vida. A partir dos 24 meses ocorreu maior variabilidade das variáveis morfuncionais. Existem diversas causas destas variações como muito bem exemplificado por Fraldinho et al. (2015), que atribuem tais diferenças as condições ambientais e climáticas que os animais enfrentam em sua vida produtiva. Para Gonçalves et al. (2012) quando os animais recebem condições nutricionais favoráveis, principalmente após o desmame, garantem o bom desenvolvimento das medidas morfométricas, mas restrições alimentares podem gerar nesta fase de vida consequências no desenvolvimento corporal dos potros, gerando variações ao longo do tempo. Possíveis mudanças no sistema de manejo nutricional e sanitário, metodologias de treinamento, fatores genéticos podem causar estas variações (SANTOS et al., 2007), além das próprias diferenças entre os indivíduos, visto que a raça Mangalarga Marchador é considerada nova quando comparada a outras raças (SANTIAGO et al., 2013, 2014, 2016), sendo necessários



direcionamentos técnicos quanto a seleção e criação destes animais para diminuição desta heterogeneidade.

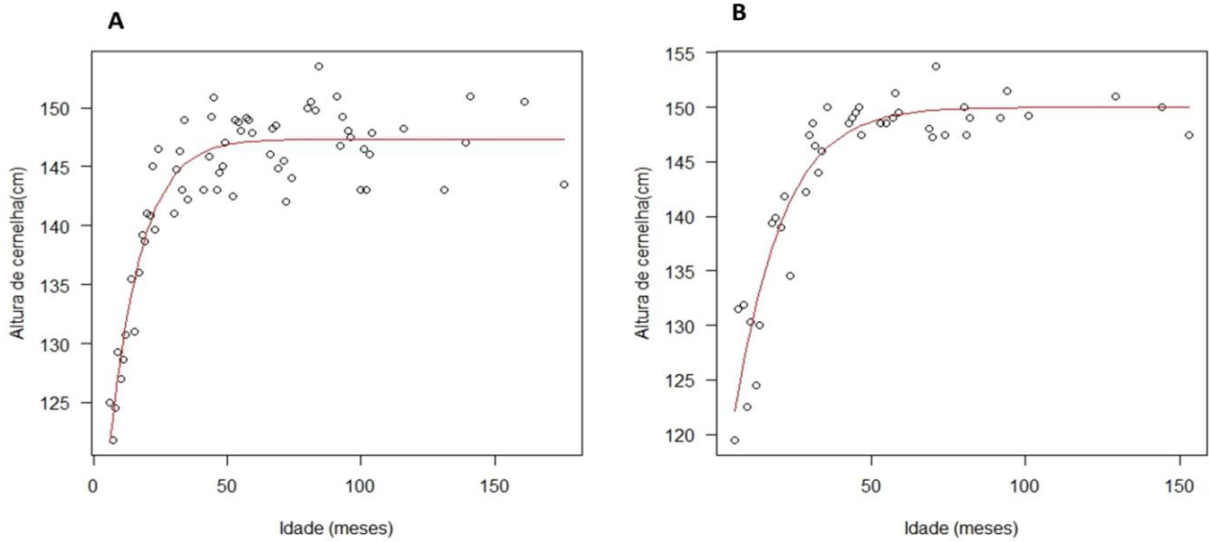
Algumas variações ocorridas no crescimento pós-natal dos animais ao longo do tempo, principalmente após os 24 meses podem vir de modificações ocasionadas ainda na fase pré-natal. Um exemplo disto é que na raça Mangalarga Marchador é comum o uso de receptoras para receber os embriões provenientes das melhores éguas da raça, mas estas na maioria das vezes não recebem condições de manejo de qualidade, principalmente o nutricional. A maioria dos criadores e profissionais por falta de conhecimento em crescimento animal não levam em consideração que qualquer alteração nos cuidados com a mãe gera modificações no ambiente uterino, podendo acarretar em modificações na expressão do genoma fetal e consequentes deficiências fisiológicas do crescimento, como diminuição da hiperplasia muscular, ocorrente somente na fase fetal, além de danos irreversíveis ao longo da vida dos equinos (BARKER; CLARK, 1997; SUGDENE; HOLNESS, 2002).

Aproximadamente aos 60 meses de idade, ocorreu uma estabilização da curva de crescimento de ambos os sexos para todas as variáveis morfométricas. Isto sugere que os animais MM estudados crescem em altura, comprimento e perímetros até próximo a esta idade. Reed e Dunn (1977) observaram que os machos da raça Árabe também crescem em altura até os 60 meses, enquanto as fêmeas, por serem mais precoces, crescem até 48 meses de idade. Sendo assim, o melhor momento para avaliar e mensurar as medidas morfométricas dos animais Mangalarga Marchador é a partir dos cinco anos de idade, pois é a partir desta idade que os animais cessam seu crescimento e a variabilidade destas medidas diminui, reduzindo assim os erros de mensuração, conforme pode ser observado nas figuras 8, 9, 10 e 11. É interessante ressaltar que no momento do registro definitivo dos animais desta raça, que ocorre aos 36 meses, os animais ainda não obtiveram seu crescimento máximo, mas já atingiram o preconizado pelo padrão racial da raça Mangalarga Marchador.

Diferentemente para Miserani et al. (2002) a melhor época de mensuração e avaliação de morfometria para o cavalo pantaneiro é a partir dos quatro anos. Os cavalos dessa raça possuem proporções de cavalo sela trabalho (eumétrico e mediolíneo) (MCMANUS et al. 2008; ZÚCCARI et al., 2004), ou seja, o mesmo biótipo funcional

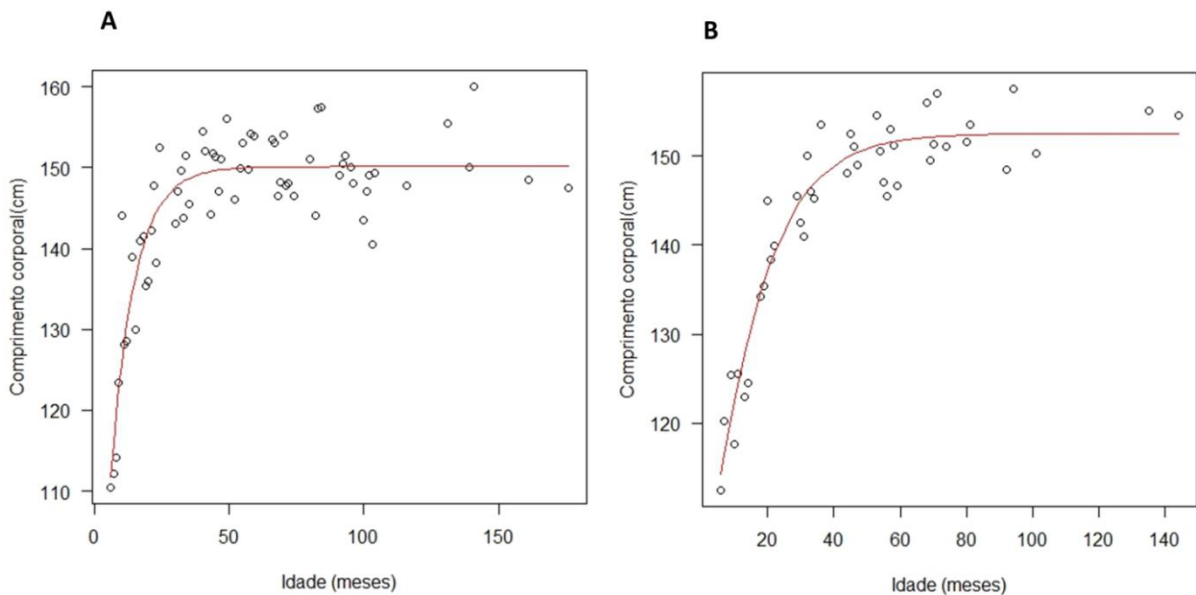
preconizado no padrão racial da raça Mangalarga Marchador (ABCCMM, 2016; CABRAL et al., 2004a). Assim, como também, são oriundos de cruzamentos de equinos de origem lusitana (Céltico, Barbo e Andaluz) (SANTOS et al., 1995), que são os mesmos animais que originaram a raças marchadoras mineiras, como o Mangalarga Marchador (SANTIAGO et al., 2013 e 2014). Além disto, segundo Silva et al. (2012) existe uma proximidade genética entre a raças Pantaneira e a Mangalarga Marchador, justamente pela mesma ascendência ibérica existente entre as duas. Desde modo a diferença observada na forma de crescimento entre as duas raças podem estas relacionadas à influência geográfica. (FRALDINHO et al. 2015), visto que os animais estudados são em sua maioria originários de Minas Gerais, com condições edafoclimáticas diferentes do pantanal. Sendo assim, mesmo que o crescimento de uma raça ou espécie seja determinado geneticamente (LAWRENCE; FOWLER, 2002), que em um primeiro momento deveria ser o mesmo para ambas as raças, o crescimento real também depende dos fatores ambientais que somados aos genéticos resultarão em padrões de crescimento distintos (MISERANI et al., 2002; MOTA; OLIVEIRA; PUOLI FILHO, 2010; SANTOS et al., 2007).

Figura 8- Representação da curva de crescimento em altura na cernelha obtida pelo modelo logístico para fêmeas (A) e para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.



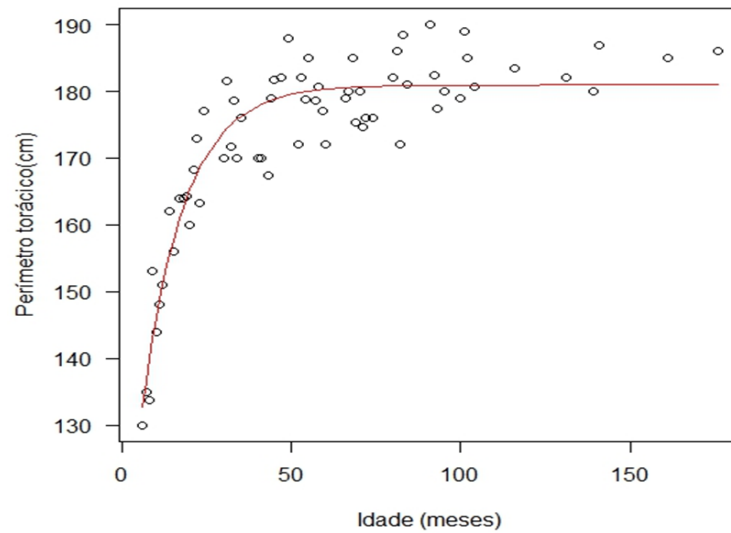
Fonte: Do autor (2017).

Figura 9- Representação da curva de crescimento em comprimento corporal obtida pelo modelo Brody para fêmeas (A) e logístico para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.



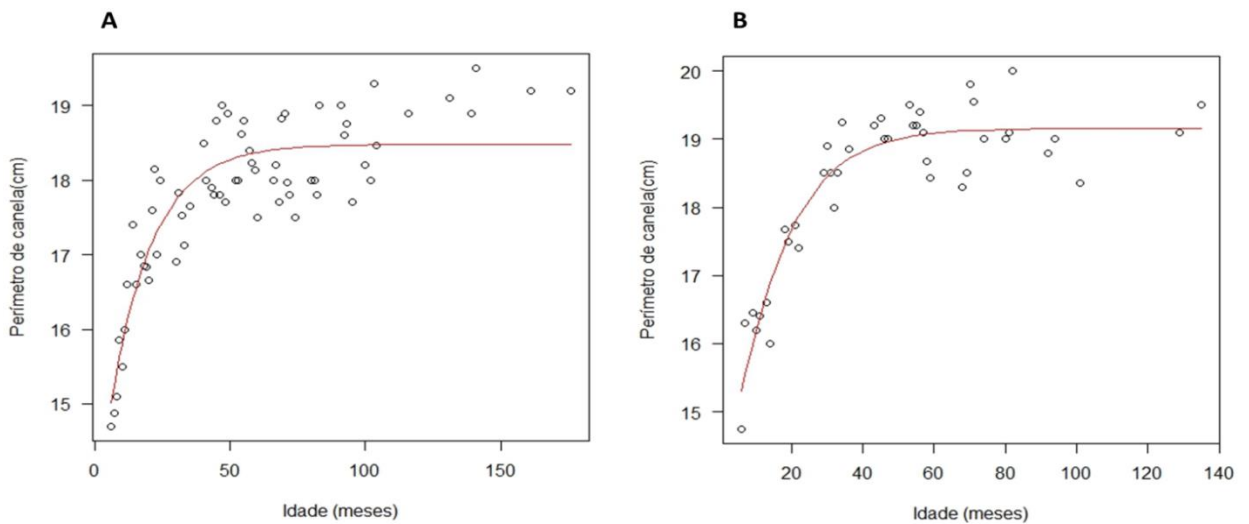
Fonte: Do autor (2017).

Figura 10- Representação da curva de crescimento em perímetro torácico obtida pelo modelo Brody para fêmeas da raça Mangalarga Marchador.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 11- Representação da curva de crescimento em perímetro de canela obtida pelo modelo Brody para fêmeas (A) e logístico para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.



Fonte: Do autor (2017).

### 3.2 Análise do crescimento utilizando o modelo segmentado de Platô de Resposta Quadrática

Alguns trabalhos científicos sugerem que modelar o crescimento animal em duas partes produza melhores resultados, assim uma alternativa é utilizar os modelos chamados segmentados. Neste estudo foi testado o modelo segmentado de platô de resposta quadrática para todas as variáveis morfométricas (TABELA 12), visto que não há relatos da utilização deste na raça Mangalarga Marchador. Mas os resultados obtidos foram piores, em termos de qualidade de ajuste, quando comparado aos demais modelos não-lineares utilizados, com valores de  $R^2$  mais baixos, variando entre 51 a 79%. Outro fator preponderante para não escolha deste modelo foi o parâmetro  $t_0$ , que superestimou as idades em que os animais cessam seu crescimento, estando estas não compatíveis com o comportamento do crescimento da espécie equina, como descrito por diversos autores: Cabral et al. (2004b); Fraldinho et al. (2015); Reed e Dunn (1977), Santos et al. (1999 e 2007); Zamborlini et al. (1996), dentre outros e pela presente pesquisa.

Tabela 12- Parâmetros estimados e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o modelo de Platô de Resposta Quadrática na descrição da curva de crescimento das medidas morfométricas de fêmeas e machos da raça Mangalarga Marchador.

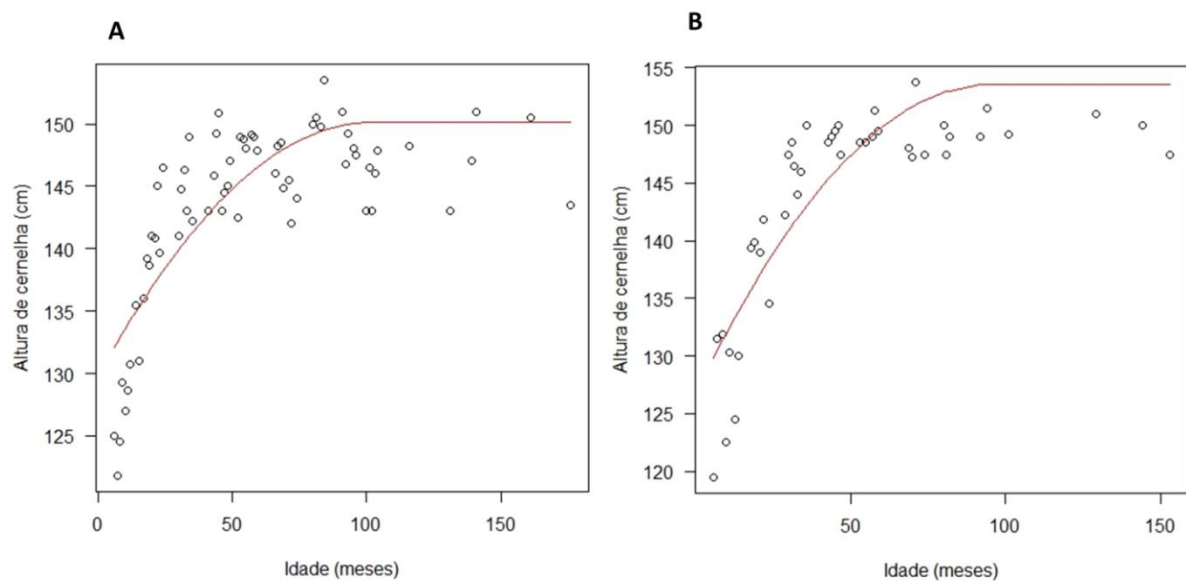
Parâmetros*	Sexo	Medidas Morfométricas			
		AC	CC	PT	PC
$t_0$	Machos	95,71	95,99	101,92	87,36
	Fêmeas	102,49	102,03	113,25	130,14
$p$	Machos	153,57	157,45	182,67	19,54
	Fêmeas	150,15	153,86	187,12	19,04
$R^2$	Machos	0,7343	0,7921	0,7780	0,7576
	Fêmeas	0,6481	0,5195	0,6940	0,6592

\*Legenda: AC=Altura na cernelha; CC=Comprimento corporal; PT=Perímetro torácico; PC=Perímetro de canela;  $t_0$  é o ponto de junção da equação quadrática com o platô  $p$ , ou seja, é a idade que os animais cessam seu crescimento em meses;  $p$  = constante de platô, ou seja, a medida morfométrica adulta atingida no tempo  $t_0$ , em centímetros.

Fonte: Do autor (2017).

Analisando a curva de crescimento em altura na cernelha de machos e fêmeas pelo método de Platô, como exemplificado pela figura 12. Nota-se que o modelo não descreve confiavelmente o crescimento dos potros e potras MM a partir dos seis meses de idade, pois não houve o correto ajustamento da curva do modelo aos dados. Da mesma forma, este comportamento foi observado nas demais variáveis morfométricas. Sendo assim, este não pode ser selecionado, visto que o estudo do crescimento equino é crucial nos primeiros anos de vida, devido a maior taxa de crescimento corporal dos mesmos nesta fase. Além disso, para seleção precoce dos animais no plantel ao desmame e evitar o descarte equivocado de animais com potencial desejado, uma vez que, a comercialização de potros ocorre principalmente no primeiro ano de vida (PINTO et al., 2005; SANTOS et al. 2007), faz-se necessária a correta predição do crescimento, fato não demonstrado pelo modelo de Platô de Resposta Quadrática.

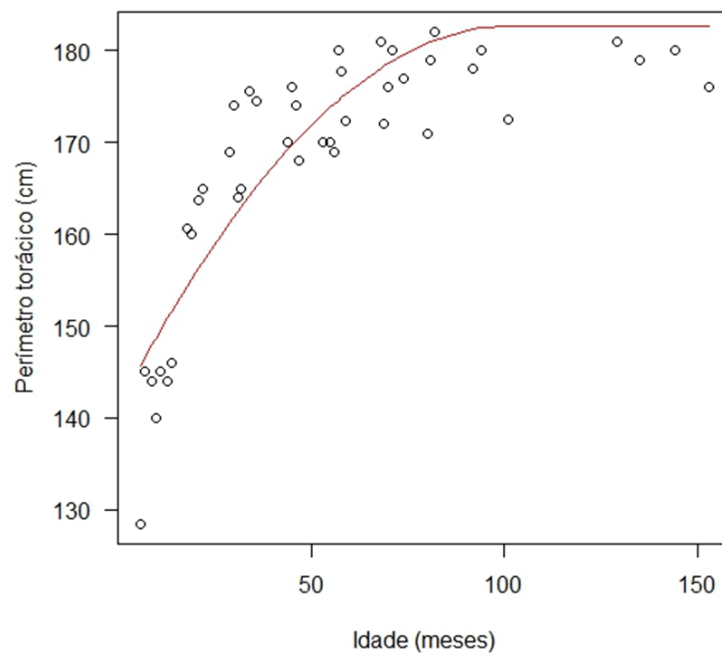
Figura 12- Representação da curva de crescimento em altura de cernelha obtida pelo modelo de Platô de Resposta Quadrática para fêmeas (A) e machos (B) da raça Mangalarga Marchador.



Fonte: Do autor (2017).

Apesar da não escolha do modelo de Platô de Resposta Quadrática como o mais eficiente na descrição do crescimento, este tem uma vantagem em relação aos demais, que é a não exigência de normalidade, pois não é necessário o uso dos processos iterativos como o de Gauss-Newton para obtenção das estimativas. Deste modo foi possível ajustar a curva de crescimento em perímetro torácico de machos (FIGURA 13), que não havia sido obtida pelos modelos não-lineares, visto que, os dados não apresentaram normalidade.

Figura 13- Representação da curva de crescimento em perímetro torácico obtida pelo modelo de Platô de Resposta Quadrática em machos da raça Mangalarga Marchador.



Fonte: Do autor (2017).

Neste sentido, o conhecimento sobre o crescimento de medidas morfométricas da raça Mangalarga Marchador, por meio das modelagens realizadas no presente estudo, podem potencializar a seleção correta de animais de forma antecipada. Além disso, propicia tomada de decisões adequadas para os manejos nutricionais e sanitários dos criatórios, evitando perdas econômicas e gastos desnecessários para recuperação do desenvolvimento ao longo da vida produtiva dos animais. Mas são necessários mais pesquisas sobre a influência do crescimento corporal, principalmente na locomoção dos equinos MM, visto que, o movimento é produto econômico dos mesmos.

#### **4. CONCLUSÃO**

O método transversal de obtenção de dados pode ser aplicado no estudo de curvas de crescimento, em medidas morfométricas, via modelos não lineares nos equinos estudados de 6 a 153 meses da raça Mangalarga Marchador. Sendo mais indicada a utilização do modelo logístico para expressar o crescimento em altura na cernelha, comprimento corporal e perímetro de canela dos machos e o modelo de Brody para a altura na cernelha, comprimento corporal, perímetro torácico e de canela das fêmeas.

O modelo de Platô de Resposta Quadrática não descreveu corretamente o crescimento das medidas morfométricas, não podendo ser indicada sua utilização nos animais estudados.

O crescimento em medidas morfométricas é mais rápido e homogêneo na idade de seis a 24 meses na raça Mangalarga Marchador, estabilizando-se aos 60 meses em ambos os sexos, porém as fêmeas apresentam maior precocidade do que os machos para atingir a altura, comprimento e perímetro adulto, exceto para perímetro de canela.



## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DO CAVALO MANGALARGA MARCHADOR. Disponível em: <<http://www.abccmm.org.br>> Acessado em: 7 outubro de 2016.
- BARBOSA, C.G. **Estudo morfométrico na raça Mangalarga Marchador - Uma abordagem multivariada.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1993. 77p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Minas Gerais, 1993.
- BARKER, D.J.P.; CLARK, P. M. Fetal undernutrition and disease in later life. **Reviews of Reproduction.** v. 2, p. 105–112, 1997.
- BERBARI NETO, F. **Evolução de medidas lineares e avaliação de índices morfométricos em garanhões da raça Campolina.** 2005. 90f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes. 2005.
- BORTONI R. F.; **Mangalarga Marchador: E os outros cavalos de sela do Brasil.** Uberaba - MG: Grupo Rotal, 1990.
- CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Conformação e proporções corporais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1798-1805, 2004a.
- CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Medidas lineares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 989-1000, 2004b.
- CABRAL, G. C. et al. Avaliação Morfométrica de equinos da raça Mangalarga Marchador: Medidas Angulares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1790-1797, 2004c.
- CARNEIRO, A. P. S. et al. Identidade de modelos não lineares para comparar curvas de crescimento de bovinos da raça Tabapuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 1, p. 57-62, 2014.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: J. Wiley, 3rd ed. 1998. 706 p.
- FLETCHER K. L. et al. Influence of age and sex on serum osteocalcin concentrations in horses at weaning and during physical conditioning. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 20, n. 2, p.124-126, 2000.
- FRALDINHO, M. J. et al. Growth and development of the Lusitano horse managed on grazing systems. **Livestock Science**, v. 12, p. 1871-1413, 2015.

- FREITAS A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.3, p.786-795, 2005.
- GARCIA, F. P. S. et al. Determinação do crescimento e desenvolvimento de potros puro sangue inglês em Bagé-RS. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v.106, p. 43-46, 2011.
- GONÇALVES, R. W. et al. Efeito da endogamia sobre características morfométricas em cavalos da raça Mangalarga Marchador. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.64, n.2, p.419-426, 2012.
- LAWRENCE, T. L. J; FLOWLER, V. R. **Growth of farms animals**. New York: CABI Publishing 2002.
- LOBO, R. N. B. et al. Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.3, p.1012-1019, 2006.
- MAZZINI A. R. A. et al. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autoregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, mar./abr. 2005.
- MCMANUS et al. Body indices for the pantaneiro horse. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 45, n. 5, p. 362-370, 2008.
- MCMANUS C. M. et al. Nonlinear growth curves for weight and height in four genetic groups of horses. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11, n. 1, p. 80-89, jan./mar. 2010.
- MENDES, P. N. et al. Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas da raça Hereford. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1984-1990, 2008.
- MISERANI, M. G. et al. Avaliação dos Fatores que Influeciam nas Medidas Lineares do Cavalo Pantaneiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.1, p.335-341, 2002.
- MOTA, M. D. S; OLIVEIRA H. N E PUOLI FILHOS, N. P. Avaliação do crescimento em potros da raça Quarto de milha. **Revista electrónica de Veterinaria**. v. 11, n. 1, p. 1-10, 2010.
- PINTO L. F. B. et al. Análise Multivariada das Medidas Morfométricas de Potros da Raça Mangalarga Marchador: Análise de Componentes Principais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.2, p.589-599, 2005.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

REED, K.R.; DUNN, N.K. Growth and development of the Arabian horse. In: Equine Nutrition and Physiology Symposium, 5, 1977, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977. p. 76-98.

REZENDE, A. S. C. et al. Efeito de Dois Diferentes Programas Nutricionais sobre o Desenvolvimento Corporal de Potros Mangalarga Marchador. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 495-501, 2000.

REZENDE, M. P. G. et al. Conformação corporal de equinos de diferentes grupos genéticos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 17, n. 3, p. 1-10, 2016.

SANTIAGO, J. M. et al. Q. Comparação entre as medidas morfométricas do rebanho atual de machos Mangalarga Marchador e dos campeões da raça. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v.70, n.1, p.46-52, 2013.

SANTIAGO, J. M. et al. Comparação entre as medidas morfométricas do rebanho atual de machos Mangalarga Marchador e das campeãs da raça. **Revista Brasileira Saúde e Produção animal**, Ondina, v. 15, n. 1, p. 141-148, 2014.

SANTIAGO, J. M. et al. Evolution of morphometric measures in the Mangalarga Marchador breed. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 1, p. 191-199, 2016.

SANTOS, S. A. et al. **Avaliação e conservação do cavalo pantaneiro.** Corumbá-MS: EMBRAPA-CPAP, 1995.

SANTOS, S.A. et al. Using nonlinear models to describe height growth curves in pantaneiro horses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.7, p.1133-1138, 1999.

SANTOS, S. A. et al. Monitoramento do desenvolvimento de cavalos pantaneiros por meio de curvas de crescimento. **Archivos de zootecnia**, vol. 56, Sup. 1, p.648, 2007.

SILVA, D. A. S. et al. Comparison between the growth of Brazilian children and adolescents and the reference growth charts: data from a Brazilian project. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 86, n. 2, p.115-120, 2010.

SILVA A. C. M, et al. Genetic variability in local Brazilian horse lines using microsatellite markers. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 881-890, 2012.

SPERANDIO, N. et al. Comparação do estado nutricional infantil com utilização de diferentes curvas de crescimento. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 24, n. 4, p.565-574, 2011.

SUGDEN, M. C.; HOLNESS, M. J. Gender-specific programming of insulin secretion and action. **Journal Endocrinology**. v. 175: 757–767, 2002.

VALETTE, J. P. et al. Use of linear and non-linear functions to describe the growth of young sport- and race-horses born in Normandy. **Animal**, v. 2, p.560 –565, 2008.

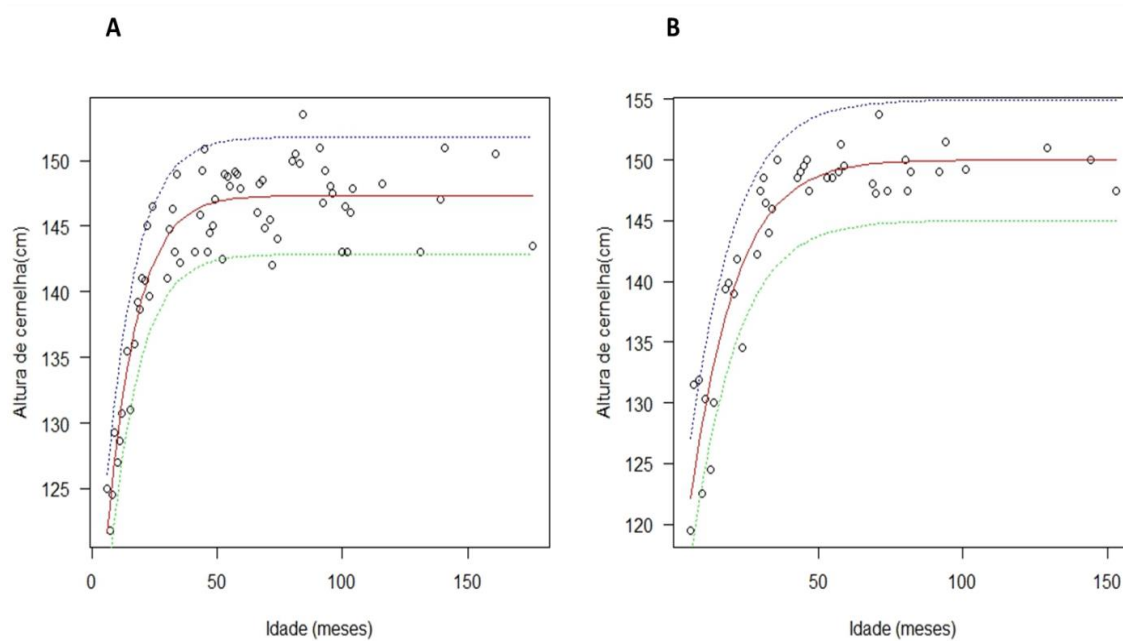
ZAMBORLINI, L. S. et al. Estudo genético-quantitativo de medidas lineares de equinos da raça Mangalarga Marchador - I. Estimativas dos fatores de ambiente e parâmetros genéticos. **Revista Brasileira de Ciências Veterinárias**, Niterói, v.3, n.2, 33-37, 1996.

ZEFERINO, A. M. B. et al. Acompanhamento do crescimento. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 79, n. 1, p.23-32, 2003.

ZÚCCARI, C. E. S. Proporções gerais e índices corporais de éguas adultas da raça Pantaneira do Núcleo de Criação e Conservação do Cavallo Pantaneiro da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul / UFMS. In: IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal, 6, 2004. **Anais...** Corumbá, 2004, 1-6.

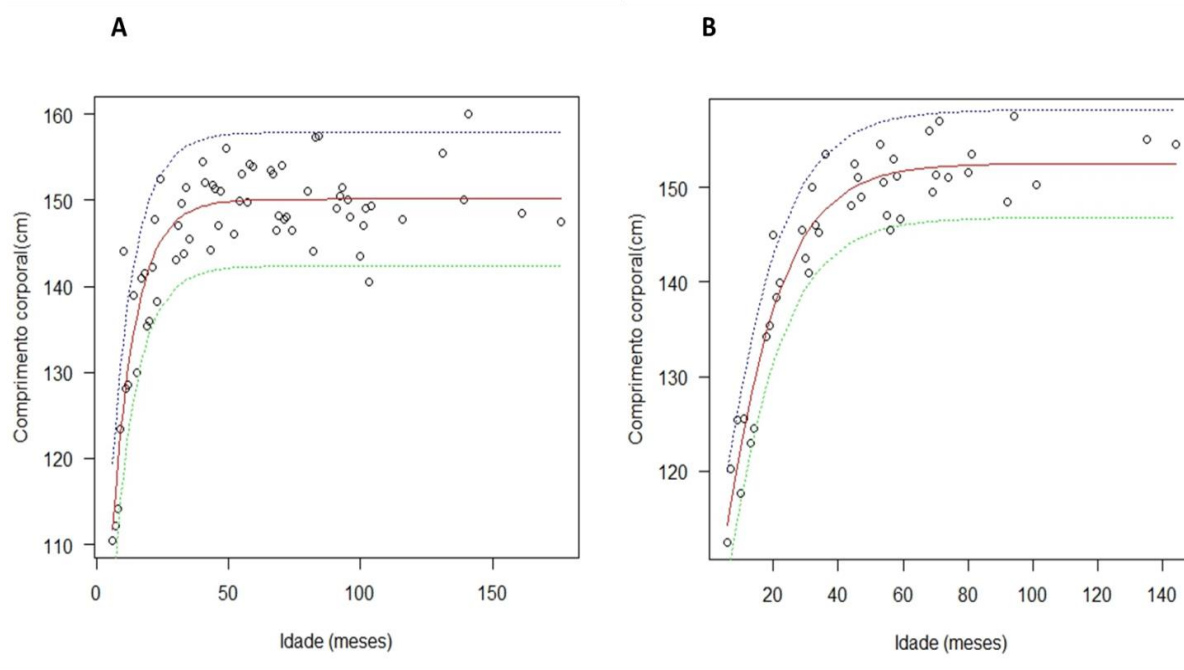
## APÊNDICE B – Curvas de crescimento em medidas morfométricas com intervalos de confiança

Figura 14 - Representação da curva de crescimento em altura na cernelha, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelo modelo não-linear Logístico para fêmeas (A) e machos (B) da raça Mangalarga Marchador.



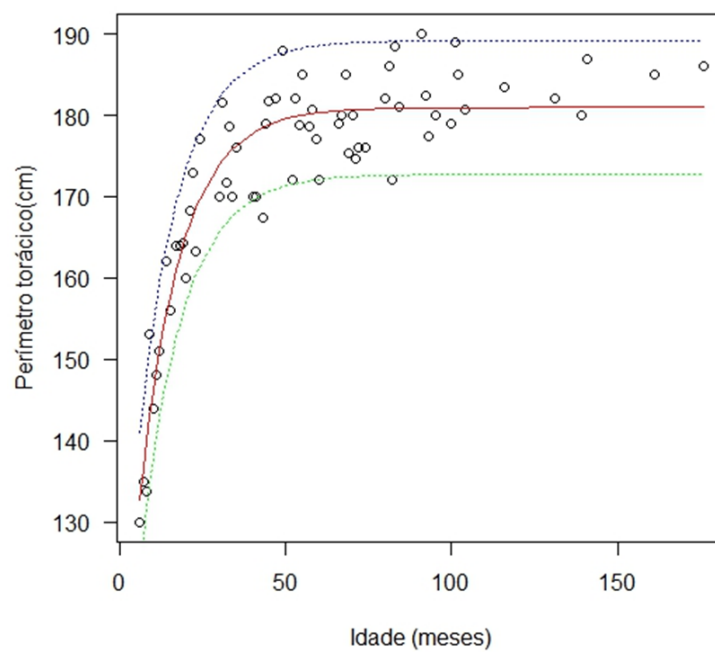
Fonte: Do autor (2017).

Figura 15- Representação da curva de crescimento em comprimento corporal, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelos modelos não-lineares de Brody para fêmeas (A) e Logístico para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.



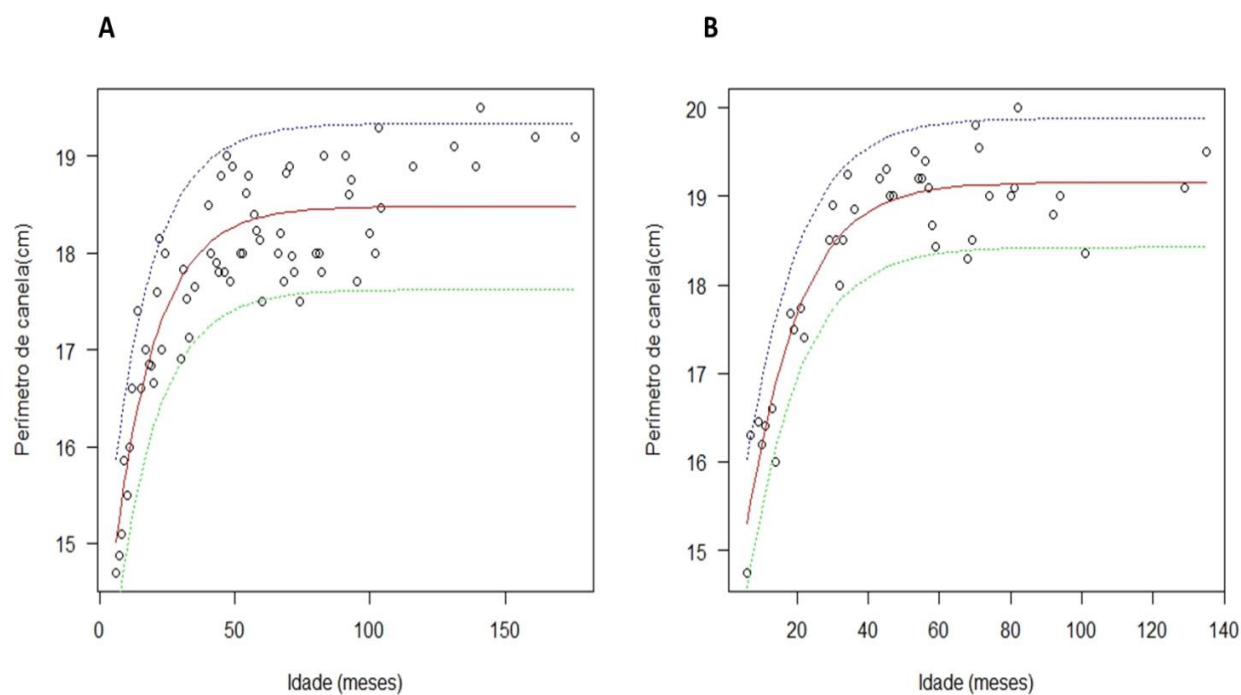
Fonte: Do autor (2017).

Figura 16 - Representação da curva de crescimento em perímetro torácico, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelo modelo não-linear de Brody para fêmeas da raça Mangalarga Marchador.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 17 - Representação da curva de crescimento em perímetro de canela, com respectivos intervalos de confiança, obtida pelos modelos não-lineares de Brody para fêmeas (A) e Logístico para machos (B) da raça Mangalarga Marchador.



Fonte: Do autor (2017).