

RODRIGO PEREIRA CASSIANO

**O QUE HÁ DE NOVO PARA AFERIR O PROCESSO
DE CRESCIMENTO?**

Araçatuba

2023

RODRIGO PEREIRA CASSIANO

**O QUE HÁ DE NOVO PARA AFERIR O PROCESSO
DE CRESCIMENTO?**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Campus de Araçatuba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência Animal (Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal).

Orientador: Prof. Dr. Marcos Franke Pinto

Coorientador: Prof. Dr. Manoel Garcia Neto

Araçatuba

2023

C345q	Cassiano, Rodrigo Pereira O que há de novo para aferir o processo de crescimento? / Rodrigo Pereira Cassiano. -- Araçatuba, 2023 88 p. : il., tabs. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba Orientador: Marcos Franke Pinto Coorientador: Manoel Garcia Neto 1. Eficiência produtiva. 2. Expansão do crescimento. 3. Modelagem do crescimento. 4. Otimização do crescimento. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Araçatuba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: O que há de novo para aferir o processo de crescimento?

AUTOR: RODRIGO PEREIRA CASSIANO
ORIENTADOR: MARCOS FRANKE PINTO
COORDENADOR: MANOEL GARCIA NETO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciência Animal,
área: Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal pela Comissão Examinadora:

Prof. Associado MANOEL GARCIA NETO (Participação Presencial)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/UNESP

Prof. Associado MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR (Participação Presencial)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp

Prof. Ass. Dr. ANTONIO CARLOS DE LAURENTIZ (Participação Presencial)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Associado GUSTAVO DO VALLE POLYCARPO (Participação Presencial)
Departamento de Produção Animal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP

Pesquisadora THAINÁ LANDIM DE BARROS (Participação Virtual)
Animal Welfare Scientist na organização Four Paws

Araçatuba, 21 de novembro de 2023.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Araçatuba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: O que há de novo para aferir o processo de crescimento?

AUTOR: RODRIGO PEREIRA CASSIANO
ORIENTADOR: MARCOS FRANKE PINTO
COORDENADOR: MANOEL GARCIA NETO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciência Animal,
área: Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal pela Comissão Examinadora:

Prof. Associado MANOEL GARCIA NETO (Participação Presencial)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de
Araçatuba/UNESP

Prof. Associado MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR (Participação Presencial)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de
Araçatuba/Unesp

Prof. Ass. Dr. ANTONIO CARLOS DE LAURENTIZ (Participação Presencial)
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Associado GUSTAVO DO VALLE POLYCARPO (Participação Presencial)
Departamento de Produção Animal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP

Pesquisadora THAINÁ LANDIM DE BARROS (Participação Virtual)
Animal Welfare Scientist na organização Four Paws

Araçatuba, 21 de novembro de 2023.

Aos meus pais Adevaldo
Pereira Cassiano e Jandira
Maria Pereira Cassiano, com
todo amor, admiração e
gratidão que um ser
humano pode sentir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder o dom da vida, permitindo assim minha evolução. Ao meu filho Matheus, minha maior motivação. Aos meus pais Adevaldo e Jandira pela paciência, confiança e apoio em todos os momentos da minha vida, a minha irmã Heloísa por sempre me apoiar e ajudar em cada provação que cabe a mim.

Agradeço ao professor Marcos Franke Pinto por me orientar e pela oportunidade de evolução profissional.

Ao professor Manoel Garcia Neto que me acompanhou como “coorientador” e me proporcionou além de uma grande bagagem intelectual e profissional, ensinamentos que levarei por toda minha vida.

Agradeço imensamente ao professor Antonio Carlos de Laurentiz, por quem tenho uma ENORME admiração e apreço. Agradeço por cada conselho, “puxões de orelha” e principalmente por ser uma grande fonte de inspiração como profissional e ser humano (todos os dias me lembro do compromisso que assumi: ajudar aos próximos e passar a diante tudo que me ensinou).

A professora Rosemeire da Silva Filardi, amiga que sempre demonstrou muito carinho e preocupação durante minha vida acadêmica, me auxiliando em todas as etapas.

Agradeço a professora Elisa Helena Giglio Ponsano, pela amizade, respeito, atenção e oportunidades de aprender durante toda minha pós-graduação, sempre me aconselhando e contribuindo imensamente para minha formação.

Ao professor Max José de Araújo Faria Junior por todos os conselhos, os quais mantiveram “meus pés no chão”, trazendo sempre imensa contribuição para minhas decisões, não apenas nas questões teóricas, mas também para vida.

A Dra. Thainá Landim de Barros, se não a maior, uma grande responsável pela minha decisão de seguir no caminho acadêmico. Tenho imenso carinho, respeito, admiração e orgulho em chamá-la de amiga (Maninha). Obrigado Dê!

A Julia Alves, pelo amor, dedicação, paciência, companhia e apoio em cada momento desta importante etapa da minha vida.

Aos companheiros de trabalho, seu Adão (Baraanco), ao seu Laércio e Carlos Renato, com quem sempre pude contar para realizar as atividades no setor de zootecnia.

A todos meus amigos e familiares que contribuíram para conclusão desta importante etapa em minha vida.

OBRIGADO!!!

“Ser poeta é muito bom porque não tenho nenhuma obrigação de veracidade. Eu posso mentir à vontade, cientista é que não pode!”

(Ariano Suassuna)

Cassiano, R. P. **O QUE HÁ DE NOVO PARA AFERIR O PROCESSO DE CRESCIMENTO?** Tese (Doutorado). Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2023.

Resumo

A constante evolução do setor avícola, somada às pressões exercidas pelo mercado, tem exigido maior precisão das ferramentas de avaliação da produtividade e das variáveis que a envolvem. Nesse contexto, a compreensão do crescimento e interpretação do seu comportamento é fundamental para auxiliar na otimização das decisões referentes à nutrição, genética, sanidade e ambiência, refletindo diretamente na sustentabilidade e viabilidade do setor. O Programa Prático de Modelagem de Forças (PPFM) é uma ferramenta inovadora que analisa o processo de crescimento (curvas e forças). O maior diferencial da metodologia aplicada está no desdobramento da análise segundo o ponto de vista newtoniano. Para tanto, o programa permite definir qual o melhor modelo para ajustar o conjunto de dados de crescimento, e, subsequentemente, o desdobra em suas derivadas; a primeira derivada representa a velocidade e a segunda derivada caracteriza a aceleração do crescimento. Assim, através da lei de Newton ($F = m \times a$), o PPFM (a planilha) define com grande precisão e coerência biológica os pontos de transição entre as possíveis fases do crescimento. Outra propriedade do PPFM é possibilitar o cálculo da energia utilizada em cada momento do período avaliado, através do conceito de **energia cinética** ($Ec = (m \times v^2) / 2$), e definir também, a sua integral em função do tempo, a **ação** ($A = Ec \times t$). Em relação a metodologia estatística aplicada, foram utilizados os modelos mistos (MM) e mistos generalizados (GMM) para obter os resultados mais coerentes com a biologia, uma vez que os métodos clássicos (Teste t, Anova e regressão linear) apresentam limitações para atender com precisão as exigências experimentais para o conjunto de dados. Assim, este trabalho permitiu demonstrar que: 1- apesar de necessários, os testes estatísticos clássicos não são mais suficientes para atender aos avanços nutricionais, genéticos, sanitários e de manejo. Essa nova realidade exige análises estatísticas mais sofisticadas, como os modelos mistos generalizados com variáveis clusterizadas; 2- a modelagem de curvas de crescimento deverá abranger tanto a forma (cinemática) como as forças associadas à sua expansão (cinética), permitindo uma acurada avaliação da dinâmica da expansão; 3- o conceito da ação sumariza todos os recursos oferecidos para a expansão do crescimento e seu histórico, em apenas um único valor, que representa o trabalho útil.

Palavras-chave: Eficiência produtiva. Expansão do crescimento. Modelagem do crescimento. Otimização do crescimento.

Cassiano, R. P. **WHAT'S NEW TO MEASURE THE GROWTH PROCESS?** Thesis (Doctorate). Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2023.

ABSTRACT

The constant evolution of the poultry sector, combined with market pressures, has demanded greater precision in tools for assessing productivity and the variables involved. In this context, understanding growth and interpreting its behavior is crucial to assist in optimizing decisions related to nutrition, genetics, health, and environment, directly impacting the sustainability and viability of the sector. The Practical Force Modeling Program (PPFM) is an innovative tool that analyzes the growth process (curves and forces). The main differentiator of the applied methodology lies in the analysis from a Newtonian perspective. To do this, the program allows you to determine the best model to fit the set of growth data and subsequently breaks it down into its derivatives; the first derivative represents velocity, and the second derivative characterizes the acceleration of growth. Thus, through Newton's law ($F = m \times a$), the PFMP (the spreadsheet) defines with great precision and biological coherence the transition points between possible growth phases. Another property of PFMP is that it enables the calculation of energy used at each moment during the evaluated period, using the concept of **kinetic energy** ($E_c = (m \times v^2) / 2$), and also defines its integral over time, the **action** ($A = E_c \times t$). Regarding the statistical methodology applied, mixed models (MM) and generalized mixed models (GMM) were used to obtain the most biologically coherent results, as classical methods (t-test, ANOVA, and linear regression) have limitations in accurately meeting the experimental requirements for the dataset. Thus, this work has demonstrated that: 1- Although necessary, classical statistical tests are no longer sufficient to meet the nutritional, genetic, health, and management advances. This new reality requires more sophisticated statistical analyses, such as generalized mixed models with clustered variables; 2- Growth curve modeling should encompass both the shape (kinematics) and the forces associated with its expansion (kinetics), allowing for an accurate assessment of the expansion dynamics; 3- The concept of action summarizes all the resources offered for growth expansion and its history in just one value, representing useful work.

Keywords: Productive efficiency. Growth expansion. Growth modeling. Growth optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Superfície de respostas para variável peso corporal dos machos, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos	28
Figura 2 - Superfície de respostas para variável peso corporal das fêmeas, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos	28
Figura 3 - Superfície de respostas para variável consumo de ração dos machos, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos.....	30
Figura 4 - Superfície de respostas para variável consumo de ração das fêmeas, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos.....	31
Figura 5 - Superfície de respostas para variável conversão alimentar dos machos, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos.....	33
Figura 6 - Superfície de respostas para variável conversão alimentar das fêmeas, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos.....	33
Figura 7 - Curvas de crescimento e suas fases, segundo a força ontogênica de crescimento dos machos	35
Figura 8 - Curva de crescimento e suas fases, segundo a força ontogênica de crescimento das fêmeas.....	36
Figura 9 - Comparação da ação aferida em todo o período avaliado de criação entre machos e fêmeas	38
Figura 10 - Q-q plot dos resíduos da modelagem estatística referentes aos dados de peso das aves machos, através da regressão linear e dos GMM41	
Figura 11 - Comparação do efeito linear, quadrático e cúbico no ajuste da curva do peso dos machos.....	44

Figura 12 - Gráfico de densidade referente ao peso dos machos de acordo com a idade.....	45
Figura 13 - Ajuste de curva de crescimento utilizando o modelo logístico e determinação dos pontos P_1 e P_2 através de suas derivadas	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição das rações do experimento I (machos) segundo o tratamento e fase de criação.....	22
Tabela 2 – Composição das rações do experimento II (fêmeas) segundo o tratamento e fase de criação.....	23
Tabela 3 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo o peso corporal dos machos.....	27
Tabela 4 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo o peso corporal das fêmeas	27
Tabela 5 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo consumo de ração dos machos	29
Tabela 6 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo o consumo de ração das fêmeas	30
Tabela 7 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo a conversão alimentar dos machos	32
Tabela 8 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo a conversão alimentar das fêmeas.....	32
Tabela 9 - Parâmetros estimados para o modelo Richards	34
Tabela 10 - Força ontogênica, idade e peso em cada fase de crescimento dos machos	36
Tabela 11 - Força ontogênica, idade e peso em cada fase de crescimento das fêmeas.....	37
Tabela 12 - Energia cinética máxima, idade e peso das aves de acordo com o sexo.....	37
Tabela 13 - Trabalho útil aferido pelo princípio da ação, em relação a idade e o peso das aves	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 MATERIAL E METODOS.....	20
2.1 Modelagem da expansão.....	20
2.2 Experimentos.....	20
2.3 Desempenho das aves.....	24
2.4 Modelagem estatística.....	24
3 RESULTADOS.....	26
3.1 Peso.....	26
3.2 Consumo.....	29
3.3 Conversão alimentar.....	31
3.4 Eficiência da expansão do crescimento.....	34
4 DISCUSSÃO.....	39
4.1 Modelagem estatística.....	39
4.2 Modelagem do crescimento.....	47
5 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	54
ANEXOS.....	62
Anexo A – Resultados da modelagem estatística dos dados referentes ao peso das aves machos.....	62
Anexo B - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes ao peso das aves fêmeas.....	67
Anexo C - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes ao consumo de ração das aves machos.....	71

Anexo D - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes ao consumo de ração das aves fêmeas.....	76
Anexo E - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes a conversão alimentar das aves machos.....	81
Anexo F - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes a conversão alimentar das aves fêmeas.....	85

1 INTRODUÇÃO

A expansão de alguma variável em função do tempo pode ser definida como crescimento. O crescimento pode ser biológico - crescimento de populações, indivíduos ou componentes corporais - ou não - crescimento profissional, industrial, econômico. Em sistemas biológicos, crescimento pode ser definido como as alterações progressivas de um sistema em relação ao tempo (Parker, 2012; Dadson et al., 2017).

A metodologia mais adotada para descrever e estudar esse fenômeno baseia-se na modelagem matemática, que propõe ajustar um modelo matemático a um conjunto de dados com parcimônia (Ricklefs, 1983), sendo a complexidade dos dados analisados o fator determinante para quantidade de parâmetros do modelo utilizado.

Geralmente o comportamento típico de uma curva de crescimento, principalmente em fenômenos biológicos, é sigmoidal (formato de "S"), sendo possível perceber visualmente diversas fases como: fase lag ou adaptativa, fase de crescimento exponencial, fase estacionária e, em alguns casos, fase de declínio (Bertin, 2014; Pommerening e Grabarnik, 2019). No entanto, existem fenômenos mais discretos (outras fases) presentes nessas curvas, que não podem ser percebidos apenas por observação, tornando necessária a utilização de ferramentas capazes de determiná-las.

Na década de 40, o peso vivo do frango de corte era em média 1,5 kg, aos 105 dias de idade, e a taxa de conversão alimentar de 3,5 kg de ração por quilograma de carne de frango. Hoje, devido principalmente aos avanços tecnológicos aplicados no setor, em média o peso vivo é de 2,6 kg aos 35 dias de idade, com uma taxa de conversão alimentar média de 1,8 kg (PATRICIO et al., 2012; OLIVEIRA e NAAS, 2012). Assim, a rápida e constante evolução tecnológica da avicultura, comprovada pela melhora dos índices de produção, somada às pressões exercidas pelo mercado cada vez mais exigente e competitivo, demanda mais precisão na avaliação da produtividade.

Nesse contexto, a compreensão do crescimento e interpretação do seu comportamento é fundamental para auxiliar na otimização de tomadas de decisões referentes à sanidade, genética e nutrição, refletindo diretamente na competitividade, sustentabilidade e viabilidade do setor.

Avaliar separadamente o ganho de peso, consumo, conversão alimentar e mortalidade ao longo do tempo de criação das aves permite uma visão bastante limitada do processo. Quando se avalia separadamente essas variáveis, a influência de cada uma no desempenho das aves é aditiva. Mas, ao analisá-las em um esquema fatorial, fica evidente a interação entre elas, ou seja, a simples análise somatória dos seus efeitos isolados é insuficiente para expressar a realidade. Essa constatação levou à adoção do IEP (Índice de Eficiência Produtiva), que leva em consideração o ganho de peso, conversão alimentar, mortalidade e idade das aves, segundo a fórmula:

$$IEP = \frac{\text{Peso final (g)} \times \text{Viabilidade(\%)}}{\text{Idade (d)} \times \text{Conv. Alimentar(g)}} \times 100$$

O IEP é utilizado, hoje, como um indicador zootécnico para medir a eficiência de uma empresa avícola. Mas essa resposta, excelente para aferir a eficiência de um lote em um determinado momento, apresenta limitações quando se deseja avaliar sua evolução ao longo do período de criação das aves, pois, ao considerar uma idade específica para o cálculo, sua resposta fica limitada a aquele determinado momento, o que impossibilita mensurar e determinar a eficiência durante o histórico de criação e em quais períodos houve acréscimos ou decréscimos na eficiência produtiva.

Ao analisar as variáveis que compõem a fórmula do IEP e suas respectivas unidades de medida, fica evidente que o peso das aves tem efeito quadrático, pois, além de compor a fórmula no numerador (*peso final x viabilidade*), está presente também no denominador da equação, integrando a conversão alimentar (*consumo/peso final*), como é demonstrado na simplificação da fórmula.

$$IEP = \frac{\text{Peso final}(g) \times \text{Viabilidade}(\%)}{\text{Idade}(d) \times \frac{\text{Consumo}(g)}{\text{Peso final}(g)}} \times 100$$

$$IEP = \frac{\text{Peso final}^2(g^2) \times \text{viabilidade}(\%)}{\text{Idade}(d) \times \text{consumo}(g)} \times 100$$

No presente trabalho, foi determinada a energia utilizada pelas aves para o seu crescimento através do princípio da energia cinética ($E_c = (m \times v^2) / 2$), a qual diferindo do IEP, considera a velocidade do crescimento com efeito quadrático, ou seja, a variável que apresenta maior efeito na equação é a taxa de crescimento, e não o peso das aves. É válido ressaltar, que o IEP também é uma taxa, semelhante a velocidade de crescimento (*ganho/período*), deste modo, determina quão rápido o “trabalho” de crescer é realizado.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo propor uma nova metodologia para aferir a eficiência do crescimento. Utilizando a planilha Programa Prático de Modelagem de forças (PPFM), a qual realiza o ajuste das curvas de crescimento e determina os pontos de transição das suas diferentes fases, é possível também, aferir o aproveitamento energético em cada momento do período avaliado pelo princípio da ‘energia cinética’ ($E_c = (m \times v^2) / 2$), possibilitando sumarizar todos os recursos utilizados para a expansão do crescimento em um único valor, o trabalho útil, através do princípio da ‘ação’ ($Ação = E_c \times tempo$).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Modelagem da expansão

Os dados da variável peso em relação à idade, após tabulados e organizados em Excel, foram modelados através da planilha Programa Prático de Modelagem de Forças (PPFM), um software de modelagem da expansão gratuito (<https://sites.google.com/view/ppfm-spreadsheet/>), com o qual foram determinados os parâmetros do modelo que definiu as curvas de crescimento para machos e fêmeas. A planilha possui oito modelos com diferentes números de parâmetros. Dentre os indicadores disponíveis para avaliação de qual modelo se ajusta melhor aos dados de peso em função da idade, se destacam os critérios de AIC, BIC, R^2_{adj} (coeficiente de determinação ajustado) e a soma de quadrados do resíduo (SQR). Assim, no presente experimento, foi utilizado o modelo de Richards ($Y = a[1 + (b - 1)e^{-c(x-d)}]^{1/(1-b)}$) para modelagem, por apresentar a melhor convergência ao conjunto de dados.

Definido os valores de cada parâmetro do modelo, a planilha PPFM calculou as derivadas da curva ($1^a \rightarrow$ velocidade e $2^a \rightarrow$ aceleração), determinou a força ontogênica do crescimento ($F = m \times a$), as respectivas derivadas da curva da força, e a energia cinética ($Ec = (m \times v^2) / 2$), a qual, multiplicada pelo tempo, definiu o trabalho útil realizado ($Ação = Ec \times t$) (Girtler, 2011 ab).

2.2 Experimentos

Foram realizados dois experimentos em Araçatuba/SP (-21.1835849; -50.4375607). Todos os procedimentos experimentais foram analisados e aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) das Faculdades de Odontologia e de Medicina Veterinária da UNESP, processo nº 843-2015 - CEUA.

Foram utilizados 1120 pintos de corte da linhagem comercial Cobb 500, 560 machos e 560 fêmeas, divididos em dois experimentos, de acordo com o sexo, no período de 1 a 56 dias de idade.

As aves foram alojadas em galpão de alvenaria (7,85 x 45,70m), com orientação Leste-Oeste, climatizado com sistemas automatizados de resfriamento evaporativo adiabático e ventilação de pressão negativa, coberto com telhas térmicas, constituídas de material isolante (poliestireno expandido) disposto entre chapas metálicas refletivas.

Os pintos com um dia de idade foram pesados e distribuídos em boxes de 4,2 m², com 20 aves em cada box. Como cama foi utilizada maravalha de pinus. Para o aquecimento nos 15 primeiros dias de criação, foram usadas resistências aletadas de 300 W, uma em cada box, com controle automático de temperatura.

O delineamento experimental adotado para os dois experimentos foi o inteiramente ao acaso, totalizando 4 tratamentos (2850, 3000, 3150 e 3300 kcal/kg de ração), com 7 repetições. Todos os nutrientes das dietas foram mantidos proporcionais à energia.

As exigências nutricionais seguiram os valores recomendados pelas tabelas brasileiras para aves e suínos de Rostagno et al. (2011), e foram calculadas pelo software livre Programa Prático de Formulação de Ração para frangos de corte de lucro máximo (PPFR) versão não linear (<https://sites.google.com/site/ppfrparaexcel2007ousuperior/monogastricos/planilhas>).

As rações experimentais fareladas (1-10 dias) e peletizadas (11-56 dias) foram formuladas através do Programa Prático para Formulação de Rações (PPFR) versão não linear (tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Composição das rações do experimento I (machos) segundo o tratamento e fase de criação.

Ingredientes (%)	Inicial				Crescimento				Terminação			
	2850	3000	3150	3300	2850	3000	3150	3300	2850	3000	3150	3300
Inerte (Areia fina lavada)	4,367	0,000	0,000	0,000	5,536	0,910	0,000	0,000	8,997	4,024	0,000	0,000
Milho (7,88%)	55,089	59,290	54,618	47,946	56,148	60,457	61,279	54,796	62,376	65,930	70,319	65,033
Milho Far. Glúten (60%)	0,000	0,131	3,586	4,565	0,000	0,000	5,276	9,174	0,000	0,000	0,442	1,979
Óleo de Soja	1,000	1,000	3,403	6,702	1,000	1,000	1,747	4,188	1,000	1,000	1,000	3,910
Soja Farelo	36,318	36,089	34,505	36,681	34,920	34,990	28,491	28,681	25,384	26,695	25,653	26,284
Fosfato Bicalcico	0,617	0,665	0,788	0,889	0,337	0,413	0,562	0,605	0,055	0,099	0,117	0,189
Sal Comum	0,467	0,461	0,396	0,457	0,441	0,455	0,214	0,215	0,115	0,163	0,147	0,159
L-Lisina HCL	0,118	0,194	0,298	0,309	0,011	0,070	0,300	0,334	0,135	0,143	0,224	0,259
DL-Metionina	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
L-Treonina	0,014	0,043	0,053	0,057	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,026	0,031
Calcario Calcitico	0,962	1,004	1,042	1,079	0,855	0,898	0,933	0,960	0,704	0,739	0,766	0,790
Bicarbonato de Na	0,000	0,020	0,154	0,106	0,000	0,000	0,358	0,394	0,411	0,341	0,395	0,413
Ronozyme HiPhos - GT	0,011	0,013	0,013	0,013	0,010	0,010	0,010	0,013	0,010	0,010	0,013	0,013
Polimax Inicial *	1,022	1,076	1,129	1,183	0,724	0,762	0,800	0,625	0,000	0,000	0,000	0,000
Polimax Terminação**	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,798	0,840	0,882	0,924
BHT	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaboração do próprio autor.

* composição por quilograma do produto: Vitamina A U.I. 1.670.000; Vitamina D3 U.I. 335.000; Vitamina E mg 2.500; Vitamina K3 mg 417; Vitamina B1 mg 250; Pantotenato de Cálcio mg 1.870; Cobre mg 1.000; Cobalto mg 17; Iodo mg 170; Ferro mg 8.335; Manganês mg 10.835; Zinco mg 7.500; Selênio mg 35; Cloreto de Colina 50% mg 116.670; Metionina mg 250.000; Coccidiostático mg 13.335; Promotor de Crescimento mg 13.335; Antioxidante mg 2.000.

** composição por quilograma do produto: Vitamina A U.I. 1.670.000; Vitamina D3 U.I. 335.000; Vitamina E mg 2.335; Vitamina K3 mg 400; Vitamina B1 mg 100; Vitamina B2 mg 800; Vitamina B6 mg 200; Vitamina B12 mcg 2.000; Ácido Fólico mg 67; Biotina mg 7; Niacina mg 70; Pantotenato de Cálcio mg - 2.000; Cobre mg 2.000; Cobalto mg 27; Iodo mg 270; Ferro mg 16.670; Manganês mg 17.335; Zinco mg 12.000; Selênio mg 70; Cloreto de Colina 50% mg 100.000; Metionina mg 235.000; Antioxidante mg - 2.000

Tabela 2 – Composição das rações do experimento II (fêmeas) segundo o tratamento e fase de criação.

Ingredientes (%)	Inicial				Crescimento				Terminação			
	2850	3000	3150	3300	2850	3000	3150	3300	2850	3000	3150	3300
Inerte (Areia fina lavada)	7,189	2,110	0,000	0,000	4,627	0,102	0,000	0,000	10,189	5,479	0,771	0,000
Milho (7,88%)	59,422	62,828	62,765	55,105	54,878	57,525	55,280	48,596	65,603	69,208	72,810	68,247
Milho Far. Glúten (60%)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367	1,893	5,704	6,968	0,000	0,000	0,000	0,000
Óleo de Soja	1,000	1,000	2,236	6,174	1,000	1,000	2,765	5,998	1,000	1,000	1,000	3,763
Soja Farelo	29,981	31,517	32,443	35,922	36,130	36,252	32,599	34,579	20,984	22,064	23,146	25,711
Fosfato Bicalcico	0,296	0,353	0,233	0,436	0,612	0,703	0,789	0,888	0,000	0,000	0,000	0,000
Sal Comum	0,251	0,327	0,365	0,467	0,463	0,476	0,317	0,371	0,108	0,114	0,119	0,178
L-Lisina HCL	0,084	0,090	0,121	0,091	0,101	0,151	0,315	0,327	0,111	0,117	0,123	0,099
DL-Metionina	0,000	0,000	0,016	0,027	0,020	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
L-Treonina	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000
Calcario Calcitico	0,811	0,852	0,871	0,910	0,954	1,001	1,034	1,071	0,629	0,659	0,689	0,706
Bicarbonato de Na	0,217	0,138	0,115	0,003	0,000	0,000	0,231	0,192	0,555	0,495	0,435	0,346
Ronozyme HiPhos - GT	0,010	0,010	0,020	0,012	0,010	0,010	0,012	0,012	0,008	0,009	0,010	0,012
Polimax Inicial	0,724	0,762	0,800	0,838	0,822	0,866	0,909	0,952	0,000	0,000	0,000	0,000
Polimax Terminação	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,798	0,840	0,882	0,924
BHT	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaboração do próprio autor.

* composição por quilograma do produto: Vitamina A U.I. 1.670.000; Vitamina D3 U.I. 335.000; Vitamina E mg 2.500; Vitamina K3 mg 417; Vitamina B1 mg 250; Pantotenato de Cálcio mg 1.870; Cobre mg 1.000; Cobalto mg 17; Iodo mg 170; Ferro mg 8.335; Manganês mg 10.835; Zinco mg 7.500; Selênio mg 35; Cloreto de Colina 50% mg 116.670; Metionina mg 250.000; Coccidiostático mg 13.335; Promotor de Crescimento mg 13.335; Antioxidante mg 2.000.

** composição por quilograma do produto: Vitamina A U.I. 1.670.000; Vitamina D3 U.I. 335.000; Vitamina E mg 2.335; Vitamina K3 mg 400; Vitamina B1 mg 100; Vitamina B2 mg 800; Vitamina B6 mg 200; Vitamina B12 mcg 2.000; Ácido Fólico mg 67; Biotina mg 7; Niacina mg 70; Pantotenato de Cálcio mg - 2.000; Cobre mg 2.000; Cobalto mg 27; Iodo mg 270; Ferro mg 16.670; Manganês mg 17.335; Zinco mg 12.000; Selênio mg 70; Cloreto de Colina 50% mg 100.000; Metionina mg 235.000; Antioxidante mg - 2.000

2.3 Desempenho das aves

O ganho de peso (g/ave/período) e o consumo de ração (g/ave/período) foram verificados aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias de idade. A conversão alimentar foi determinada através da divisão do consumo de ração pelo ganho de peso das aves em cada parcela, considerando o peso das aves que morreram entre os intervalos das pesagens e a ração consumida por elas.

2.4 Modelagem estatística

As análises estatísticas das variáveis coletadas foram reanalisadas através do programa Jamovi versão 2.4.1 (<https://www.jamovi.org/>), um software livre de análise estatística, e podem ser acessadas em: <https://repositorio.unesp.br/search?query=cassiano%20rodrigo%20pereira>.

Para ambos os experimentos, foram utilizados os modelos generalizados mistos (GMM) com uma distribuição Gama para modelagem das variáveis peso e consumo. Já para variável conversão alimentar o melhor ajuste foi através dos modelos mistos (MM). Para atender ao pressuposto de normalidade exigida pelos MM (distribuição Gaussiana), esta foi verificada utilizando o teste de Shapiro-Wilk ao nível de significância de 5%.

Para as três variáveis de desempenho estudadas, as parcelas experimentais (box) foram consideradas como variável de agrupamento (cluster), a fim de considerar na modelagem estatística a dependência dos erros, causada pela aferição na mesma unidade experimental (box) em tempos diferentes.

A escolha do modelo e o tipo de distribuição mais adequada foram definidos utilizando o Critério de Informação de Akaike (AIC) e o Critério de Informação Bayesiano (BIC), amplamente utilizados na seleção de modelos

(Wit et al., 2012), e as avaliações gráficas referentes aos resíduos do ajuste, gráficos de densidade, de dispersão e q-q plot.

Após definir os modelos e os valores estimados para cada parâmetro considerado, foi utilizado o software Excel para elaboração das superfícies de respostas de cada variável, para ambos os sexos.

3 RESULTADOS

3.1 Peso

Em relação ao peso, para ambos os sexos, as estimativas dos parâmetros de efeitos fixos (dia; energia; os efeitos polinomiais dessas variáveis e suas interações) diferiram significativamente ($p < 0,05$), com exceção da variável energia.

A modelagem estatística do peso em relação a idade, considerando a densidade nutricional das dietas, para os dois sexos, resultou em modelos semelhantes, ou seja, as mesmas variáveis para os parâmetros de efeito fixo foram incluídas, por apresentarem o melhor ajuste de acordo com os indicadores de qualidade (AIC, BIC e resíduos). Apesar de inicialmente considerar todas as possibilidades de interações (energia interagindo com dia, dia^2 e dia^3) durante a modelagem, o efeito cúbico da variável 'dia', interagindo com a variável 'energia', não foi significativo ($p > 0,05$) e coerentemente, por parcimônia, retirado de ambos os modelos.

Os coeficientes de efeito aleatório considerados para os machos foram 'energia' de acordo com o box (energia|box) e os efeitos linear, quadrático e cúbico da variável 'dia' dado o box (dia|box, dia^2 |box e dia^3 |box), já para as fêmeas, 'energia' dado o box (energia|box) e o efeito cúbico do 'dia' dado o box (dia^3 |box) (o símbolo matemático "|" significa: dados clusterizados ou pertencentes).

Os valores dos parâmetros estimados para os modelos e respectivos índices estatísticos são apresentados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 3 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo o peso corporal dos machos

Nomes	Estimado	SE	z	p
Intercepto	43,30576	2,0403	21,2252	< 0,00001
Dia	8,15636	1,42103	5,73975	<0,00001
Energia	0,00008	0,00067	0,12575	0,89993
Dia ²	3,12087	0,03713	84,05506	<0,00001
Dia ³	-0,03469	0,00067	-51,56293	< 0,00001
Dia x Energia	-0,00104	0,00046	-2,26899	0,02327
Dia ² x Energia	0,00011	0,00001	19,01347	< 0,00001

Valores de $p < 0,05$ são significativos.

Modelo no software R: $\text{Peso} \sim 1 + \text{Dia} + \text{Energia} + \text{I}(\text{Dia}^2) + \text{I}(\text{Dia}^3) + \text{Dia}:\text{Energia} + \text{I}(\text{Dia}^2):\text{Energia} + (0 + \text{Energia} + \text{Dia} + \text{I}(\text{Dia}^2) + \text{I}(\text{Dia}^3) \mid \text{Box})$

Tabela 4 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo o peso corporal das fêmeas

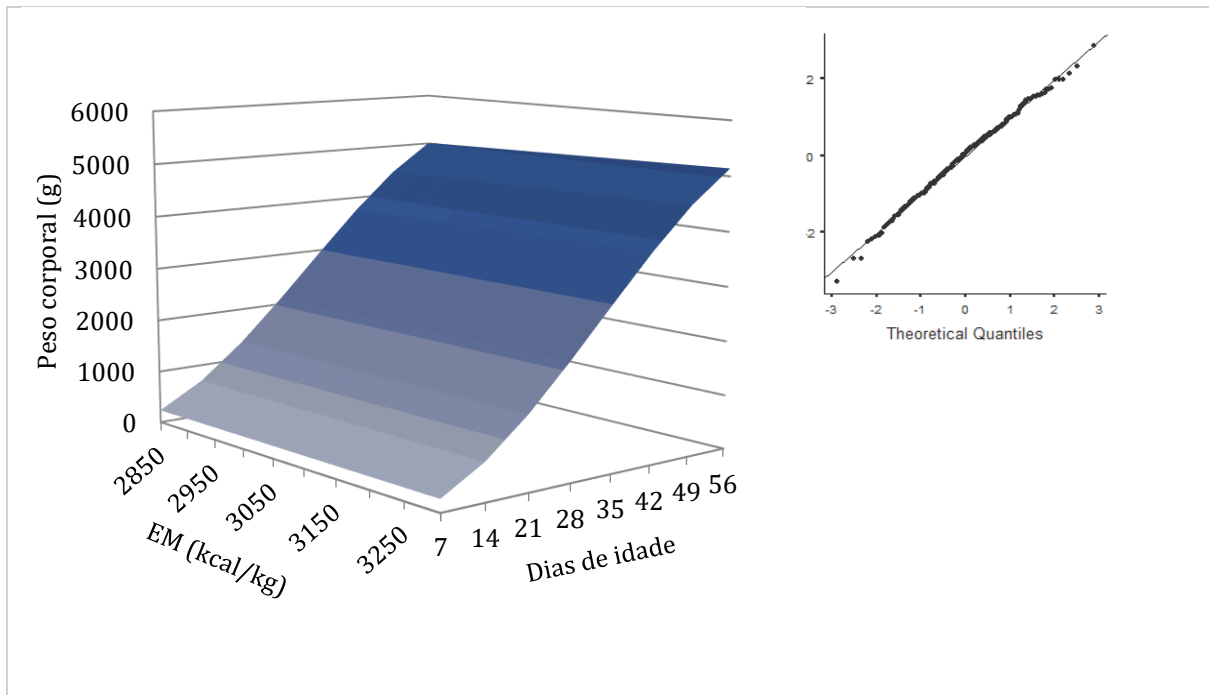
Nomes	Estimado	SE	z	p
Intercepto	40,08340	2,68383	14,93514	< 0,00001
Dia	-2,98905	0,41085	-7,27536	< 0,00001
Energia	-0,00042	0,00088	-0,47637	0,63381
Dia ²	2,95575	0,02166	136,44644	< 0,00001
Dia ³	-0,02740	0,00043	-63,11605	< 0,00001
Dia x Energia	0,00106	0,00012	8,93651	< 0,00001
Dia ² x Energia	-0,00004	0,00000	-9,29134	< 0,00001

Valores de $p < 0,05$ são significativos.

Modelo no software R: $\text{Peso} \sim 1 + \text{Dia} + \text{Energia} + \text{I}(\text{Dia}^2) + \text{I}(\text{Dia}^3) + \text{Dia}:\text{Energia} + \text{I}(\text{Dia}^2):\text{Energia} + (0 + \text{Energia} + \text{I}(\text{Dia}^3) \mid \text{Box})$

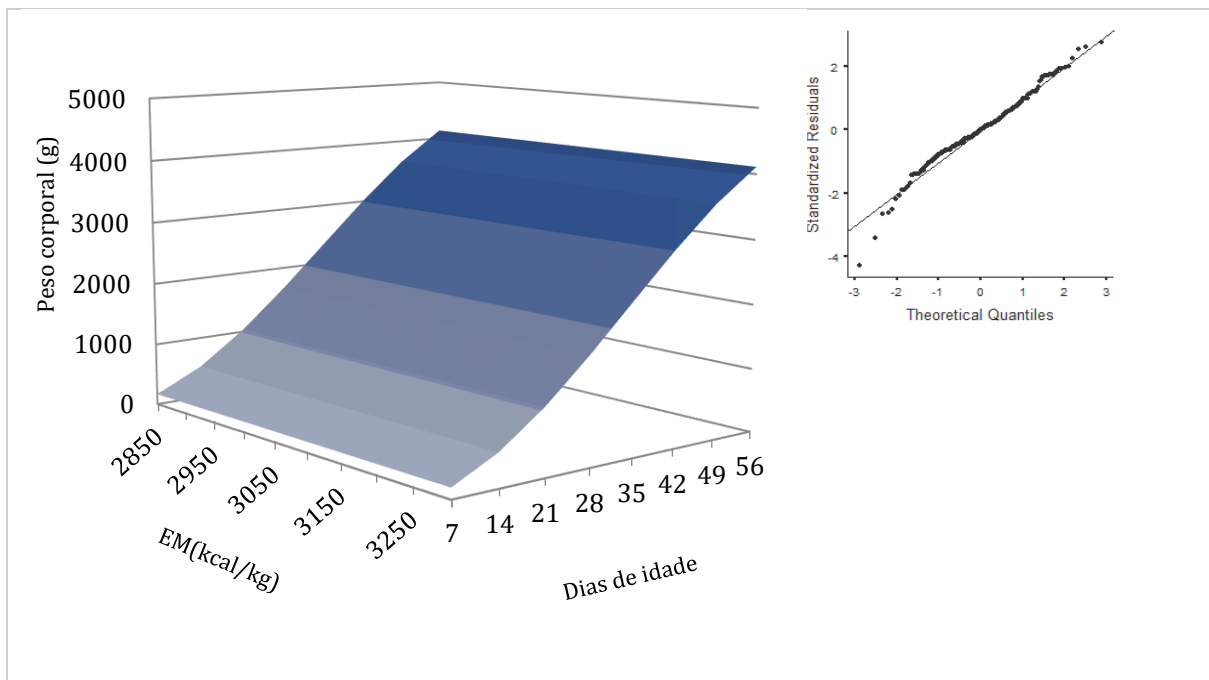
Os indicadores de qualidade do ajuste - AIC e BIC - para os machos, apresentaram os valores 2458,86 e 2522,39, e, para as fêmeas, 2381,61 e 2420,43, respectivamente. O ajuste dos resíduos de cada modelo, e das superfícies de respostas geradas são apresentados nos gráficos 1 e 2.

Figura 1 - Superfície de respostas para variável peso corporal dos machos, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor. EM = Energia Metabolizável

Figura 2 - Superfície de respostas para variável peso corporal das fêmeas, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor. EM = Energia Metabolizável

3.2 Consumo

A modelagem estatística para o consumo determinou que há efeito significativo ($p < 0,05$) para todas as variáveis consideradas (tabelas 3 e 4). Para ambos os sexos, as variáveis de efeito fixo incluídas no modelo foram a 'energia' e os efeitos linear, quadrático e cúbico da variável 'dia'. Para o consumo das fêmeas, o modelo exigiu também, a interação entre o efeito quadrático da variável 'dia' e a variável 'energia' para sua melhor convergência.

Os coeficientes de efeito aleatório considerados no ajuste dos modelos foram 'energia' dado o box (energia|box) e os efeitos quadráticos e cúbicos da variável 'dia' dado o box (dia²|box e dia³|box), para ambos os sexos.

Os valores para os critérios de AIC e BIC foram, respectivamente, 2756,59 e 2800,94 para os machos e, 2530,87 e 2578,63 para fêmeas. As superfícies de respostas geradas através dos modelos da variável consumo e a análise dos resíduos são apresentadas nos gráficos 3 e 4.

Tabela 5 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo consumo de ração dos machos

Nomes	Estimado	SE	z	p
Intercepto	189,63829	59,93207	3,16422	0,00155
Dia	-31,66701	4,90408	-6,45727	< 0,00001
Energia	0,04217	0,01876	2,2483	0,02456
Dia ²	7,67738	0,18593	41,29116	< 0,00001
Dia ³	-0,06768	0,00256	-26,42863	< 0,00001
Dia x Energia	-0,01190	0,00108	-11,02509	< 0,00001

Valores de $p < 0,05$ são significativos.

Modelo no software R: Consumo ~ 1 + Dia + Energia + I(Dia²) + I(Dia³) + Energia:Dia + (0 + Energia + I(Dia²) + I(Dia³) | Box)

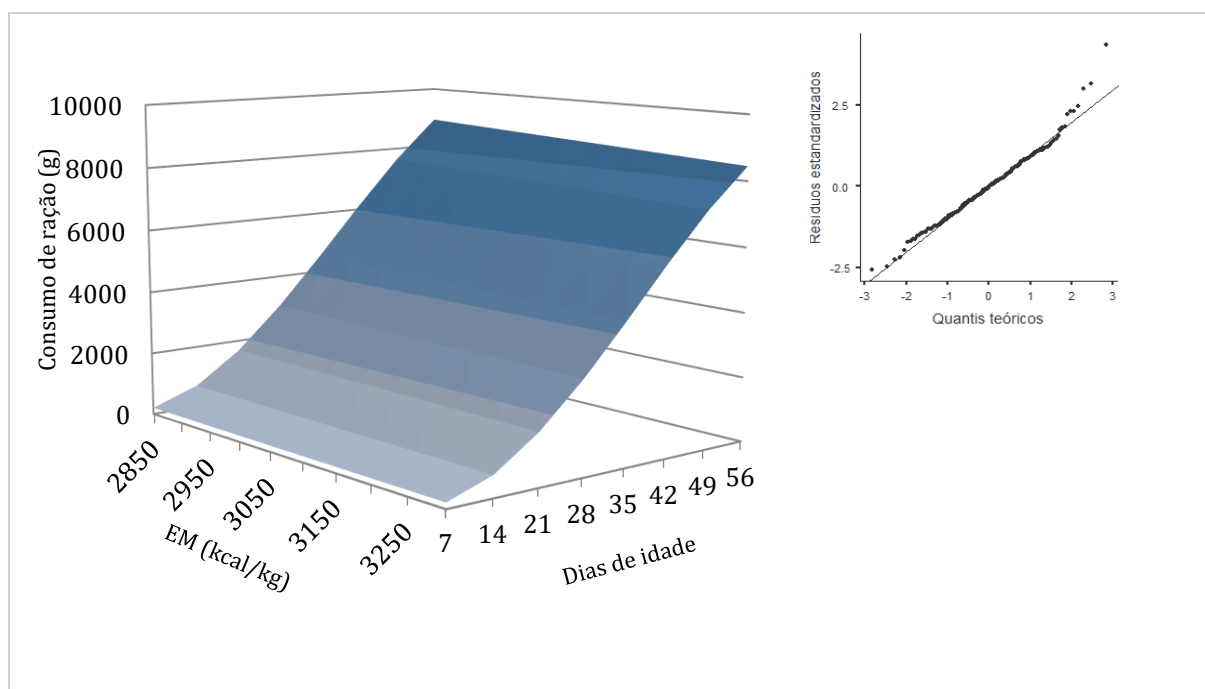
Tabela 6 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo o consumo de ração das fêmeas

Nomes	Estimado	SE	z	p
Intercepto	-219,06759	23,20499	-9,44054	< 0,00001
Dia	22,80462	2,61927	8,70649	<0,00001
Energia	0,11830	0,00689	17,1628	< 0,00001
Dia ²	7,12900	0,11342	62,85639	< 0,00001
Dia ³	-0,05339	0,00155	-34,38724	< 0,00001
Dia x Energia	-0,02000	0,00052	-38,10715	<0,00001
Dia ² x Energia	-0,00038	0,00001	-40,38412	<0,00001

Valores de $p < 0,05$ são significativos.

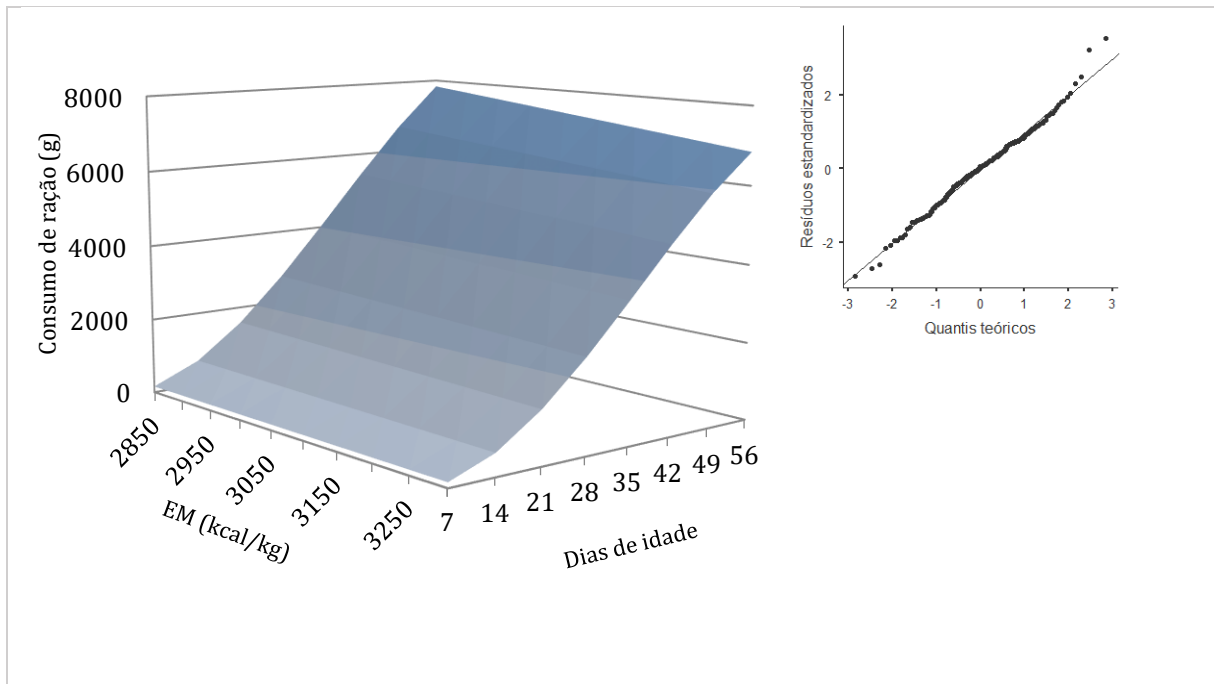
Modelo no software R: Consumo $\sim 1 + \text{Dia} + \text{Energia} + \text{I}(\text{Dia}^2) + \text{I}(\text{Dia}^3) + \text{Energia}:\text{Dia} + \text{I}(\text{Dia}^2):\text{Energia} + (0 + \text{Energia} + \text{I}(\text{Dia}^2) + \text{I}(\text{Dia}^3) \mid \text{Box})$

Figura 3 - Superfície de respostas para variável consumo de ração dos machos, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor. EM = Energia Metabolizável

Figura 4 - Superfície de respostas para variável consumo de ração das fêmeas, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor. EM = Energia Metabolizável

3.3 Conversão alimentar

O ajuste dos modelos de conversão alimentar considerou para as estimativas dos parâmetros de efeito fixo a variável 'energia', os efeitos linear, quadrático e cúbico da variável 'dia' e a interação linear entre 'dia' e 'energia'. Com exceção da interação (dia x energia) para o modelo da conversão dos machos, todos os parâmetros foram significativos ($p < 0,05$) (tabelas 5 e 6). Para as estimativas dos coeficientes de efeito aleatório, ambos os sexos consideraram o intercepto dado o box (intercepto|box), sendo que, para a melhor convergência dos dados referente aos machos, o modelo exigiu também, a inclusão do coeficiente 'energia' dado o box (energia|box).

Os valores dos indicadores AIC e BIC foram respectivamente -597,63 e -450,77 para os machos e -712,48 e -570,00 para as fêmeas. As

superfícies de respostas geradas para conversão alimentar e o ajuste dos resíduos estão apresentados nos gráficos 5 e 6.

Tabela 7 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo a conversão alimentar dos machos

Nomes	Estimado	SE	df	t	p
Intercepto	0,876279	0,174838	172,85402	5,01195	< 0,00001
Dia	0,054667	0,005826	193,20822	9,38341	< 0,00001
Energia	-0,000120	0,000056	170,37614	-2,13374	0,03429
Dia ²	-0,000670	0,000129	193,20827	-5,18332	< 0,00001
Dia ³	0,000004	0,000001	193,20827	3,12358	0,00206
Dia x Energia	-0,000003	0,000001	193,20822	-1,92917	0,05517

Valores de $p < 0,05$ são significativos.

Modelo no software R: Conversão $\sim 1 + \text{Dia} + \text{Energia} + \text{I}(\text{Dia}^2) + \text{I}(\text{Dia}^3) + \text{Dia}:\text{Energia} + (1 + \text{Energia} \mid \text{Box})$

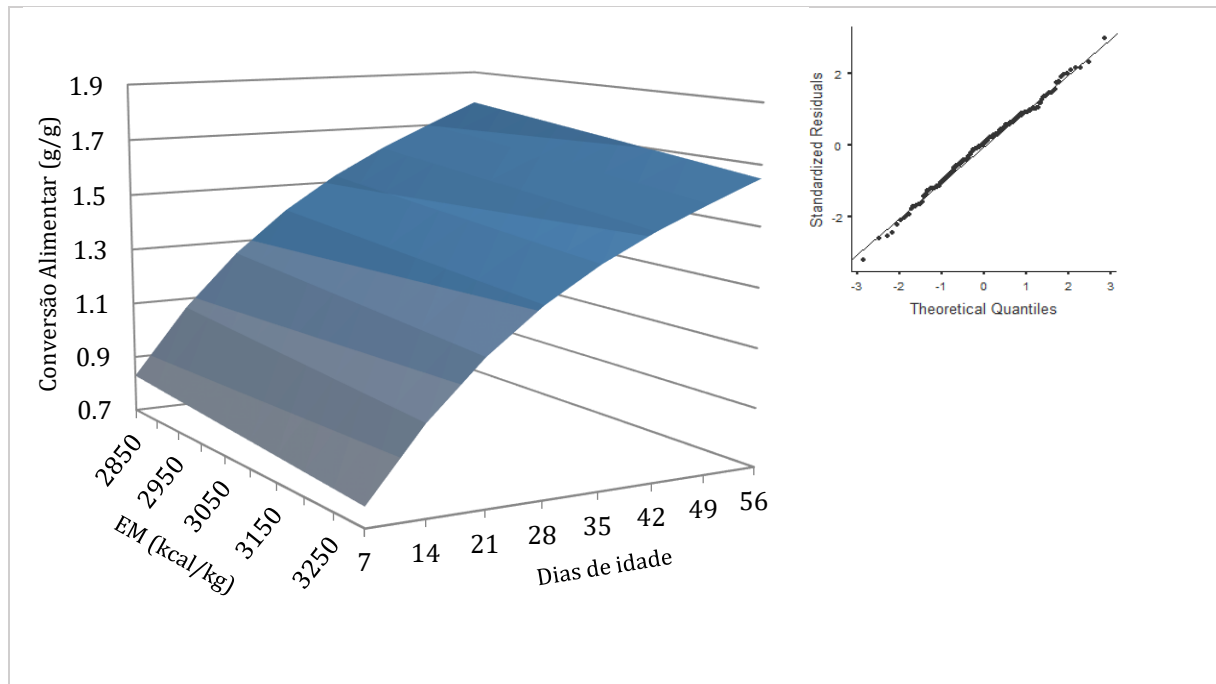
Tabela 8 - Parâmetros estimados para variáveis de efeito fixo, segundo a conversão alimentar das fêmeas

Nomes	Estimado	SE	df	t	p
Intercepto	1,430998	0,142454	129,85624	10,04534	< 0,00001
Dia	0,094991	0,004430	192,00000	21,44210	< 0,00001
Energia	-0,000349	0,000046	126,79143	-7,62427	< 0,00001
Dia ²	-0,002076	0,000098	192,00001	-21,12658	< 0,00001
Dia ³	0,000018	0,000001	192,00001	17,19013	< 0,00001
Dia x Energia	-0,000003	0,000001	192,00000	-2,33127	0,02078

Valores de $p < 0,05$ são significativos.

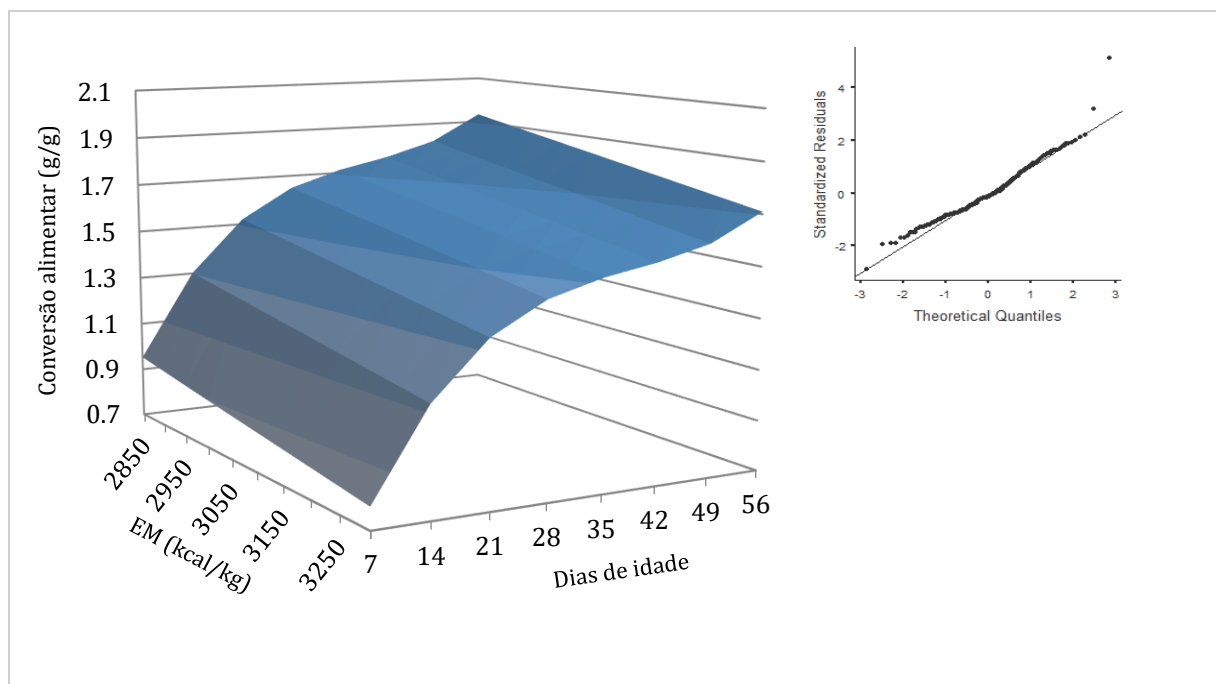
Modelo no software R: Conversão $\sim 1 + \text{Dia} + \text{Energia} + \text{I}(\text{Dia}^2) + \text{I}(\text{Dia}^3) + \text{Dia}:\text{Energia} + (1 \mid \text{Box})$

Figura 5 - Superfície de respostas para variável conversão alimentar dos machos, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor. EM = Energia Metabolizável

Figura 6 - Superfície de respostas para variável conversão alimentar das fêmeas, de acordo com a idade das aves, a densidade nutricional da dieta e q-q plot dos resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor. EM = Energia Metabolizável

3.4 Eficiência da expansão do crescimento

Os dados de peso em relação à idade foram utilizados para o ajuste da curva de crescimento. Após definir o modelo de Richards (tabela 7), devido a sua melhor convergência ao conjunto de dados, de acordo com os indicadores de qualidade do ajuste, que apresentaram valores de $AIC=2318,80$, $BIC=2336,21$ e $R^2_{adj}=99,70$ para os machos e, $AIC=2145,15$, $BIC=2162,56$ e $R^2_{adj}=99,77$ para as fêmeas, foram calculadas as respectivas derivadas, primeira e segunda, correspondentes a 'velocidade' e 'aceleração', utilizando a planilha PPFM.

O ponto F_i (ponto de inflexão) é determinado pelo modelo (valor do parâmetro " d ") e mostra onde o comportamento da curva passa de côncavo para convexo, ou seja, idade (dia) em que houve a maior deposição de massa, sendo determinado aos 30,4 dias na curva dos machos e aos 31,3 dias para as fêmeas.

Tabela 9 - Parâmetros estimados para o modelo Richards

Sexo	Estimativa dos Parâmetros			
	a	b	c	d
Machos	7212,362	0,855671	0,042265	30,39162
Fêmeas	5999,563	0,833714	0,040577	31,31661

Parâmetros do modelo de Richards ajustado através do Programa Prático de Modelagem de Forças (PPFM)

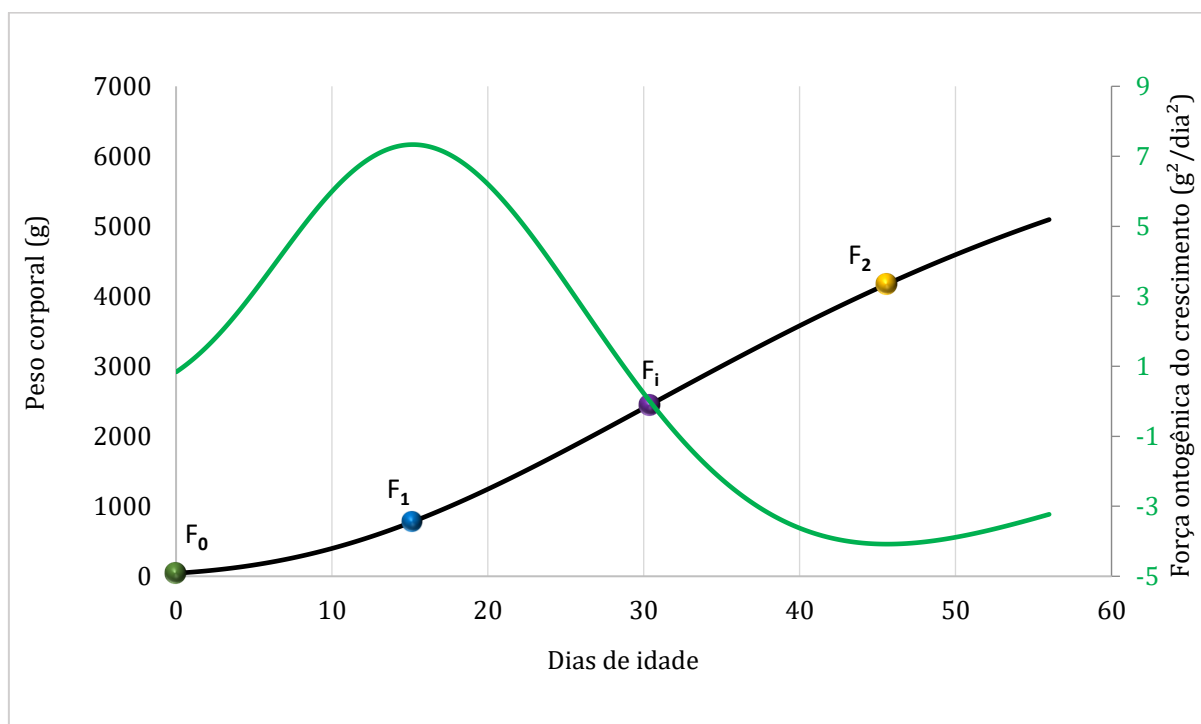
As derivadas do modelo de crescimento (velocidade e aceleração), permitiram a aplicação das teorias Newtonianas. Assim, multiplicando a massa (sintetizada dia a dia) pela aceleração ($F = m \times a$) em cada momento do período avaliado, surge a curva da força ontogênica de crescimento. A idade, nos valores máximos e mínimos da curva da força ontogênica, define os pontos F_1 (início da fase linear) e F_2 (início da fase decrescente) na curva de crescimento (<https://sites.google.com/view/ppfm-spreadsheet/>).

De forma semelhante, derivando-se a força de crescimento, é possível definir, através da sua terceira derivada (snatch), o exato momento em que se inicia a fase exponencial do crescimento (ponto F_0), o início da estabilização biológica da expansão (ponto F_3), a qual se encerra, teoricamente, no ponto F_4 : estimativa matemática calculada do fim da expansão (valor do parâmetro “ a ” do modelo de Richards).

É válido ressaltar que, devido a duração do experimento (1 a 56 dias), o ponto F_3 não foi determinado pelo PPFM, pois geralmente em frangos de corte a idade em que ele ocorre é superior aos 56 dias de idade.

Os valores da força ontogênica de crescimento para cada ponto de transição das curvas são apresentados nas tabelas 8 e 9.

Figura 7 - Curvas de crescimento e suas fases, segundo a força ontogênica de crescimento dos machos



Fonte: Elaborado pelo autor. $F_0 - F_1$ = fase exponencial crescente; $F_1 - F_2$ = fase quase linear; F_i = ponto de inflexão; F_2 = início da fase exponencial decrescente.

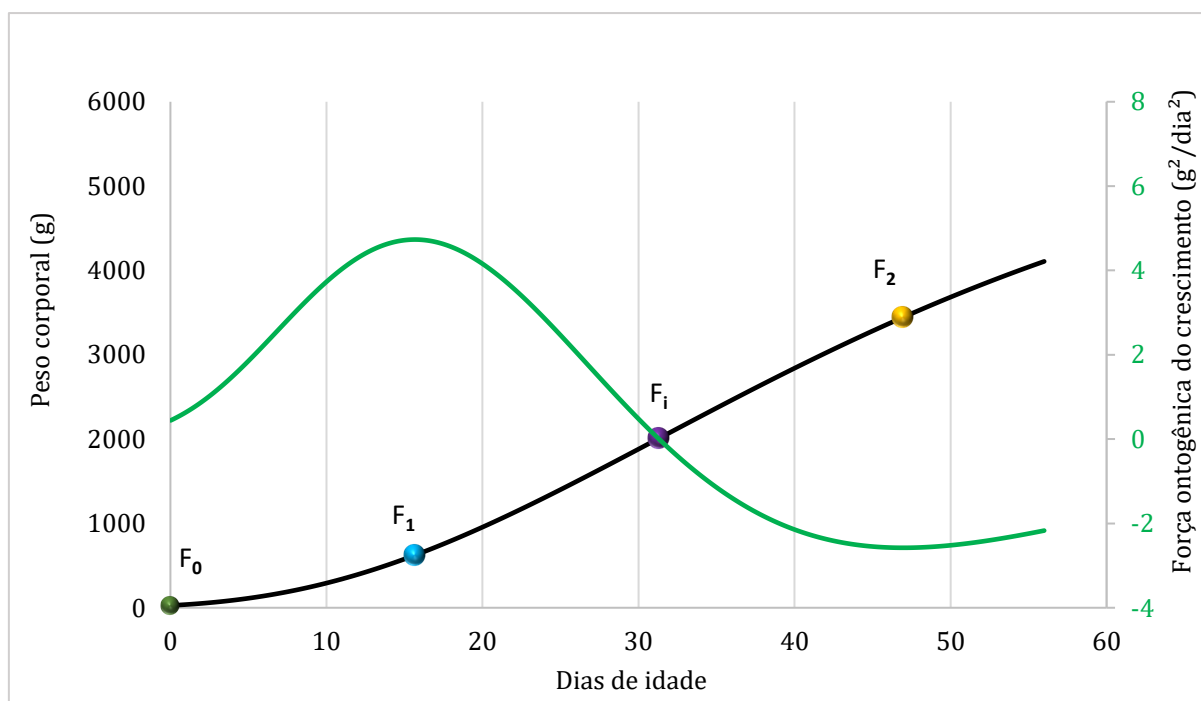
Segundo os dados do presente experimento, o ponto F_2 , para ambos os sexos, define o início do período mais crítico para a permanência de lotes de frango em um galpão. Assim, a partir do ponto F_2 , o crescimento é totalmente desfavorável para os frangos, por ser exponencial decrescente, ou seja, o pior cenário possível para o ganho de peso, devido a maior parte da energia fornecida ser destinada a manutenção e não a síntese de uma nova biomassa.

Tabela 10 - Força ontogênica, idade e peso em cada fase de crescimento dos machos

	Força (g^2/dia^2)	Input (dia)	Output (g)
F_0	0,841326	0,02	43,96
F_1	7,334705	15,18	780,25
F_i	0,000000	30,39	2449,39
F_2	-4,080400	45,60	4174,55

F_0 = fase estacionária (lag); F_1 = fase exponencial crescente; F_i = ponto de inflexão; F_2 = início da fase exponencial decrescente.

Figura 8 - Curva de crescimento e suas fases, segundo a força ontogênica de crescimento das fêmeas



Fonte: Elaborado pelo autor. $F_0 - F_1$ = fase exponencial crescente; $F_1 - F_2$ = fase quase linear; F_i = ponto de inflexão; F_2 = início da fase exponencial decrescente.

Tabela 11 - Força ontogênica, idade e peso em cada fase de crescimento das fêmeas

	Força (g^2/dia^2)	Input (dia)	Output (peso g)
F_0	0,443405	0,02	27,29
F_1	4,732246	15,68	624,09
F_i	0,000000	31,32	2009,73
F_2	-2,577310	46,97	3444,99

F_0 = fase lag (estacionária); F_1 = fase exponencial crescente; F_i = ponto de inflexão; F_2 = início da fase exponencial decrescente.

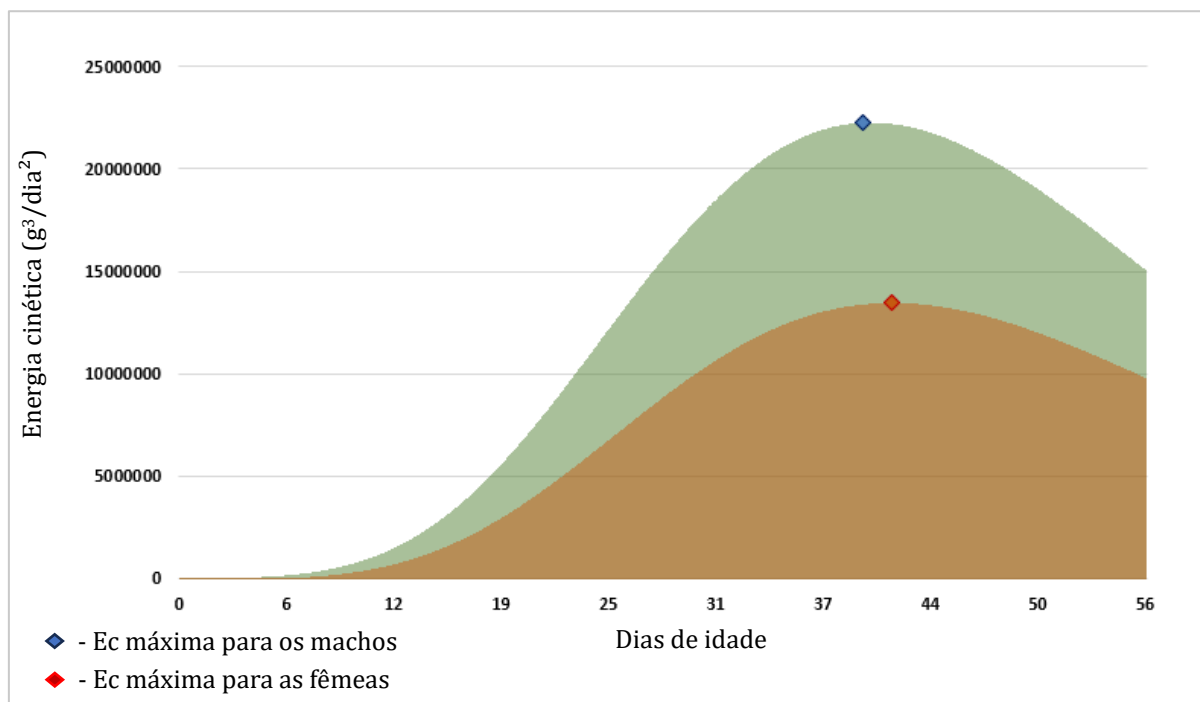
Considerando todo o período de criação das aves (1 a 56 dias), a planilha mostra a idade (input) e o peso (output) em que o aproveitamento da energia cinética foi máximo (Tabela 10).

Tabela 12 - Energia cinética máxima, idade e peso das aves de acordo com o sexo

Sexo	Energia cinética (g^3/dia^2)	Idade (dias)	Peso (g)
Machos	22262761,25	39,98	3577,90
Fêmeas	11998764,06	41,31	2959,70

A integral da energia cinética (ação) em relação a todo o período de crescimento (1 – 56 dias), é comparada entre machos e fêmeas no gráfico 9, e os respectivos valores na tabela 11.

Figura 9 - Comparação da ação aferida em todo o período avaliado de criação entre machos e fêmeas



Fonte: Elaborado pelo autor. (gráficos gerados para o princípio da ação ($Ec \times tempo$), através da planilha Programa Prático de Modelagem de Forças (PPFM)).

Tabela 13 - Trabalho útil aferido pelo princípio da ação, em relação a idade e o peso das aves

Sexo	Ação (g³/dia)	Ação (base %)	Idade (dia)	Peso (g)
Machos	36180816595	100	56	5095,85
Fêmeas	19255266425	53,22	56	4106,99

De acordo com os valores determinados pelo princípio da ação (trabalho útil) no período avaliado, o qual mostra quanto da energia investida na produção foi convertida em biomassa, é possível afirmar que os machos tiveram 46,78% a mais de eficiência em utilizar os recursos para o seu crescimento, ou seja, maior capacidade em aproveitar os recursos fornecidos através da genética, nutrição, sanidade, ambiente e manejo.

4 DISCUSSÃO

4.1 Modelagem estatística

Os clássicos testes T e F são necessários para sustentar muitas análises estatísticas, mas por suas limitações, referentes aos pré-requisitos de normalidade, homoscedasticidade, independência dos erros e equidistância das aferições no tempo (YAMANAKA, 2018), tornam as pesquisas engessadas em períodos específicos (ex.: 0-21 dias, 0-35 dias ou 0-42 dias) ou de forma menos precisa, também muito comum nas publicações (ex.: 0-21 dias, 21-35 dias ou 35-42 dias). Mesmo utilizando recursos mais aprimorados da Anova (Ancova ou Manova) ou a análise de regressão linear, as aferições de medidas no tempo devem apresentar intervalos obrigatoriamente fixos (ex.: 7, 14, 21, 28, ... n), caso contrário, mais erros são incorporados à análise. Assim, tanto o teste T pareado, como o teste Anova de medidas repetidas, permitem a incorporação do tempo, todavia de forma muito precária (Hedeker e Gibbons, 2006), exigindo equidistância das coletas e homogeneidade da variância dos distintos intervalos (teste esfericidade de Mauchly, com correção de Greenhouse-Geisser, se necessário).

A fim de atender as atuais e futuras demandas experimentais, conforme previsto por Ferket (2009), claramente não compatíveis com o teste T e as variações da Anova (Ancova, Manova e Mancova), por apresentarem insuficiência em acomodar os desafios estatísticos mais realistas biologicamente, é fundamental a busca incessante por reduzir a imprecisão nas modelagens (Box, 1979), a fim de atender uma zootecnia de precisão.

Para tanto, já estão disponíveis pacotes estatísticos como o SAS e o R, porém, sua utilização exige conhecimento de programação, tempo para realizar as análises, além de não possibilitar a visualização imediata dos ajustes. Felizmente, hoje estão disponíveis programas livres como o Jamovi, que incorpora as possibilidades de cálculos estatísticos do software R como

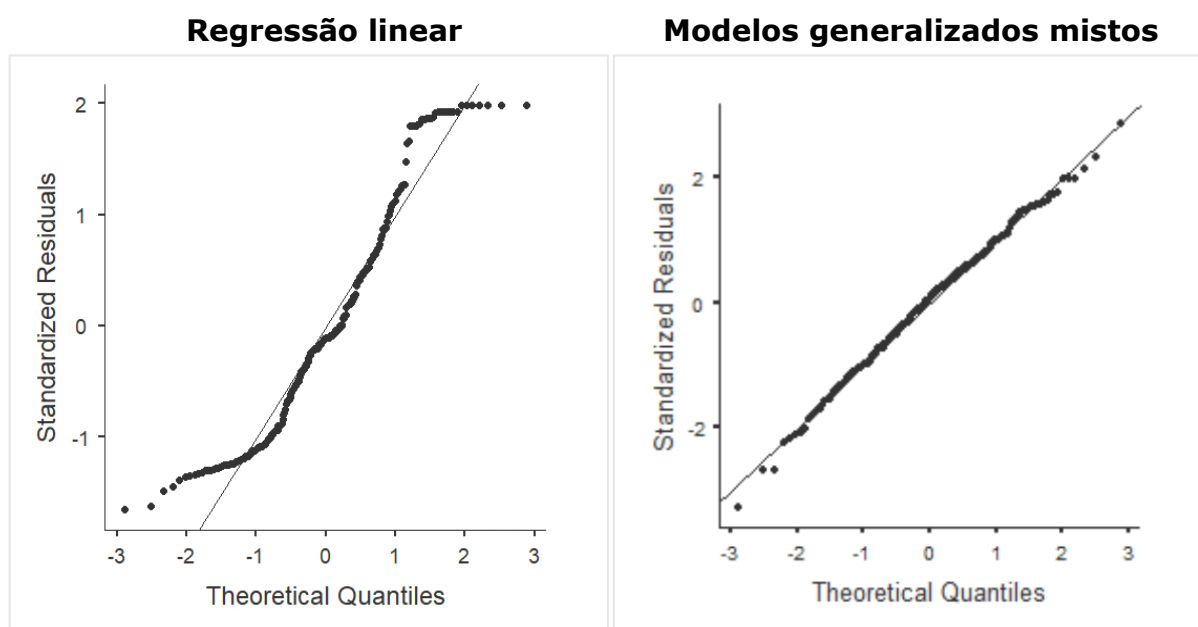
base, traz praticidade aos usuários por não exigir conhecimento de programação (scripts) e ainda, possibilita visualizar em tempo real as respostas de cada comando solicitado. Tal flexibilidade permite acompanhar se há coerência biológica durante a modelagem de modo visual e não apenas pela significância das variáveis.

Além das vantagens práticas já citadas, é válido destacar a eficiência promovida pelo programa referente as análises descritivas, por evidenciar alguns erros, que antes eram atribuídos, indevidamente, aos resíduos das análises, por serem considerados erros não controlados. Desta forma, através dos gráficos gerados pela análise descritiva, é possível observar que a variância, e não somente a média, é alterada com o passar do tempo, impossibilitando a aplicação da Anova ou teste T, por não admitirem que ambas ocorram simultaneamente. Assim, a análise descritiva evidencia claramente o comportamento da variância, que varia junto com a média, o que é, geralmente, confirmado pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene.

Antes, algumas opções que possibilitavam as análises de dados com essas características, eram o teste de Welch, para acomodar a variância, ou a transformação logarítmica, pela falta de normalidade dos dados. Esses procedimentos, no entanto, não contemplavam adequadamente a realidade do evento biológico, e acabavam por mascarar os valores mais coerentes e alguns dos atributos presentes nos experimentos, inflando, desnecessariamente, o resíduo das análises. Neste quesito, o grande mérito dos pacotes do R serem incorporados em programas livres como o Jasp (<https://jasp-stats.org/>) e Jamovi (<https://www.jamovi.org/>), está na possibilidade em contornar esses inconvenientes, aumentando a assertividade dos modelos gerados (Box, 1979), pois se tornou estatisticamente possível entender e explicar as razões biológicas dessa dupla variação (média e variância). No gráfico 10, podemos comparar a qualidade de ajuste dos modelos referente ao peso dos machos, utilizando a regressão linear e os modelos generalizados mistos, através do q q plot dos resíduos de cada ajuste e os valores de AIC e BIC, que foram

respectivamente, 3478,9 e 3493,01 para regressão linear e 2458,9 e 2522,4 para os GMM, observa-se uma maior assertividade dos GMM, devido a possibilidade de considerar os efeitos polinomiais na modelagem, e clusterizar os dados de acordo com as parcelas experimentais. Os mesmos argumentos são verdadeiros e coincidentes, para os ajustes do peso das fêmeas e para o consumo em ambos os experimentos.

Figura 10 - Q-q plot dos resíduos da modelagem estatística referentes aos dados de peso das aves machos, através da regressão linear e dos GMM



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Desse modo, foram utilizados, no presente experimento, os modelos mistos (MM) e mistos generalizados (GMM), por permitirem as análises de dados longitudinais de forma mais apropriada e com melhor acomodação biológica. Ou seja, não é mais necessário acomodar os dados ao teste e seus pré-requisitos.

O programa Jamovi, aliado à competência estatística do modelador, permite agilidade e flexibilidade para atender às atuais demandas longitudinais dos dados, comuns nos estudos com frangos de corte. Assim, permite de forma mais adequada acomodar o tempo, mesmo com diferentes intervalos de aferição. A insistência dessa afirmação é de suma

importância para evitar prejuízos biológicos inconvenientemente atribuídos aos erros, e podem ser observados de forma bem evidente nos gráficos 3 e 4, referentes aos ajustes dos modelos de consumo das aves.

Para otimizar o atual modelo proposto para o consumo de ração, após tê-lo ajustado mais favoravelmente aos dados avaliados, segundo os critérios de AIC e BIC, foi necessário não somente incluir o efeito linear do tempo (dia) e sua interação com a densidade da dieta, mas, ainda, atribuir efeitos quadráticos e cúbicos a essa variável (dia^2 e dia^3). O ajuste linear indica que o consumo no início e no final do período experimental (56 dias de idade) apresentaram inclinações (betas) significativas, lembrando que os betas já são considerados tamanhos de efeito (equivalendo ao w^2 ou $\text{Coin } d$, na anova). Assim, com o passar do tempo, as aves manifestam aumentos lineares significativos de consumo. Caso seja necessário, é possível discriminar cada box e sua individual influência na referida análise.

Para o consumo, a influência quadrática também foi significativa, indicando que, entre o consumo inicial e final avaliado (influência linear), há uma concavidade que não pode ser ignorada (exponencial crescente ou decrescente) e, quando confirmada uma influência cúbica, acrescenta-se mais flexibilidade ao modelo, caracterizando ou acomodando uma sigmoide (parte côncava e depois convexa). Este tipo de ajuste é muito adequado, matematicamente e biologicamente, para descrever os dados de consumo. Caso fosse ajustado por uma Ancova, mesmo com períodos entre as aferições equidistantes, muita informação seria computada como erro, por não permitir considerar a dependência dos erros (variância cada vez mais pronunciada com o passar do tempo) e a impossibilidade de utilizar uma distribuição mais adequada com a realidade dos dados (distribuição Gamma).

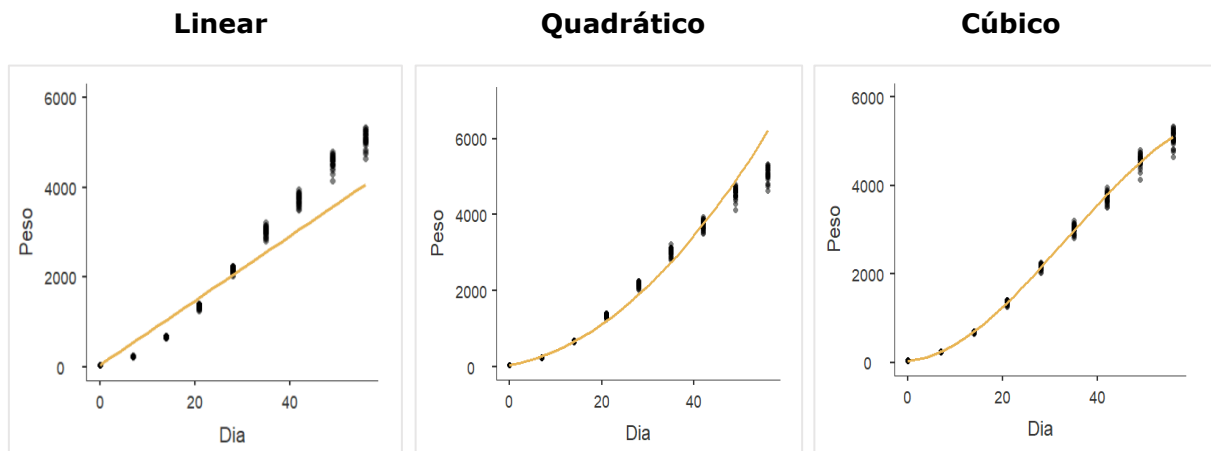
Portanto, fica evidente a necessidade de adotar em experimentos com frangos de corte, essa abordagem, mais aprimorada estatisticamente, que demonstra que o consumo de ração foi maior para as aves que receberam dietas nutricionalmente menos densas, ou seja, rações quando peletizadas,

permitem, fisiologicamente, que as aves compensem, através do consumo voluntário, suas demandas nutricionais para atender suas expectativas e potenciais genéticos, quando em semelhantes condições de manejo, ambientais e sanitárias. Aves arraçadas com rações fareladas com diferentes densidades nutricionais foram impedidas de manifestar seu potencial genético, provavelmente por não conseguirem atingir o consumo adequado, por limites fisiológicos de ingestão de ração (Gonçalves, 2013).

Assim, como constatado no presente experimento, o potencial genético de ganho de peso foi atendido pelo ajuste de consumo das próprias aves. Isto claramente demonstra que frangos de corte corrigem as demandas nutricionais pela variação do consumo para atender seu potencial genético. Desta forma, aves que receberam a dieta com maior densidade consumiram menos ração e as que receberam rações de menor densidade, voluntariamente, aumentaram seu consumo, o que se mostra coerente com o apregoado pelas Tabelas Brasileiras (Rostagno et al., 2017).

De forma semelhante, o peso corporal avaliado em diferentes períodos do tempo, exigiu considerar para os ajustes, os efeitos lineares, quadráticos e cúbicos (gráfico 11). Ou seja, o peso das aves não diferiu significativamente, independente da densidade da dieta fornecida, nem no início, nem ao final do período experimental (56 dias de idade). Mesmo assim, foi necessário atender efeitos quadráticos e cúbicos significativos, indicados pela típica curva sigmóide.

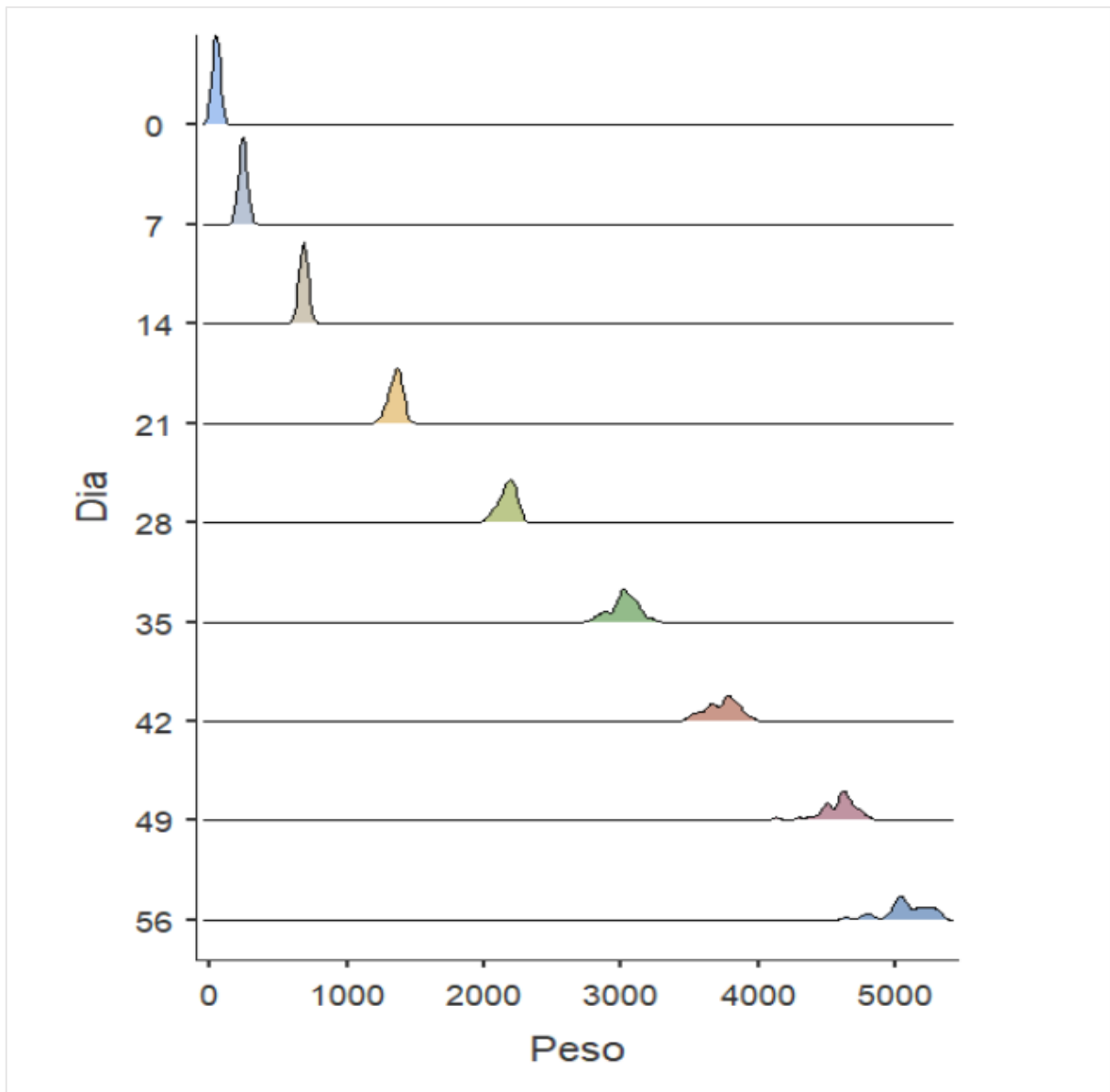
Figura 11 - Comparação do efeito linear, quadrático e cúbico no ajuste da curva do peso dos machos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os modelos mistos generalizados desobrigam o analista garantir homogeneidade da variância, um dos pressupostos da Anova. Utilizando GMM, a variância é considerada na modelagem estatística, pois, como demonstrado pelas análises descritivas, ela é algo natural no crescimento das aves e, quando desconsiderada nas análises, perdem-se valiosas informações do comportamento do lote. Assim, ao utilizar os GMM, foi possível demonstrar que, mesmo em perfeitas condições de homogeneidade e normalidade inicial, com o avançar da idade, os lotes perderam a normalidade e apresentaram também uma maior variância, com grande prejuízo na uniformidade do lote (Figura 12).

Figura 12 - Gráfico de densidade referente ao peso dos machos de acordo com a idade



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra constatação diz respeito ao bem-estar animal. Com o aumento do peso das aves, observa-se um número crescente de aves com dificuldade de locomoção, o que influencia o consumo de água e ração. As aves que expressam maior potencial de crescimento, acabam apresentando, com o tempo e o aumento de peso, maior dificuldade de locomoção. Isso é uma das possíveis razões do aumento da variância e de perda da normalidade, criando subgrupos dentro de cada box nos períodos finais dos experimentos, o que é confirmado pelo teste de Levene e Shapiro Wilk, se

utilizado para a análise a Ancova. Ou seja, observam-se variações de médias e variâncias no decorrer do tempo, incompatíveis com a Anova, mas bem acomodados pelos GMM e muito pertinente para a biologia, o que permite discutir e justificar essas variações e seus efeitos no bem-estar animal.

A conversão alimentar sempre se mostrou um grande desafio para a Anova, por ser a razão (divisão) do consumo pelo ganho de peso. Sabe-se que apenas a soma ou a subtração de curvas normais preservam a normalidade, a divisão ou multiplicação de distribuições normais gera distribuições não normais (Bennett e Rosemary, 2008).

A grande contribuição dos GMM é possibilitar a utilização da distribuição mais apropriada para a variável dependente (Gamma, logística, gaussiana entre outras), e concomitantemente, sinalizar que os dados são longitudinais, ou seja, seus erros são dependentes. Para acomodar com sucesso a modelagem dos dados de conversão alimentar, com coerência biológica, foi, primeiramente, ajustada uma distribuição Gamma, e os boxes (parcelas experimentais) foram incluídos como variável cluster, sinalizando ao programa a presença de erros dependentes (mesmo para dados transversais tal procedimento pode ser utilizado). Porém, devido às características do conjunto de dados de conversão alimentar do presente experimento, os critérios de avaliação de qualidade de ajuste dos modelos (AIC e BIC), indicaram que os modelos mistos foram mais parcimoniosos, ou seja, houve a necessidade de indicar a dependência dos erros (box como variável cluster), porém, a distribuição Gaussiana foi a que apresentou melhor convergência.

Desta forma, e somente assim, a conversão pode, coerentemente, ser avaliada de forma mais proveitosa do que utilizando Anova. Rações com densidade mais elevada apresentam conversões mais favoráveis. O oposto é verdadeiro.

Novamente, para encontrar o modelo mais adequado aos dados, e não mais ter que forçar os dados a se acomodarem a um teste específico, foi necessário incorporar os efeitos lineares, quadráticos e cúbicos, e as pertinentes interações das variáveis. Essas necessidades são visualizadas graficamente no programa Jamovi.

4.2 Modelagem do crescimento

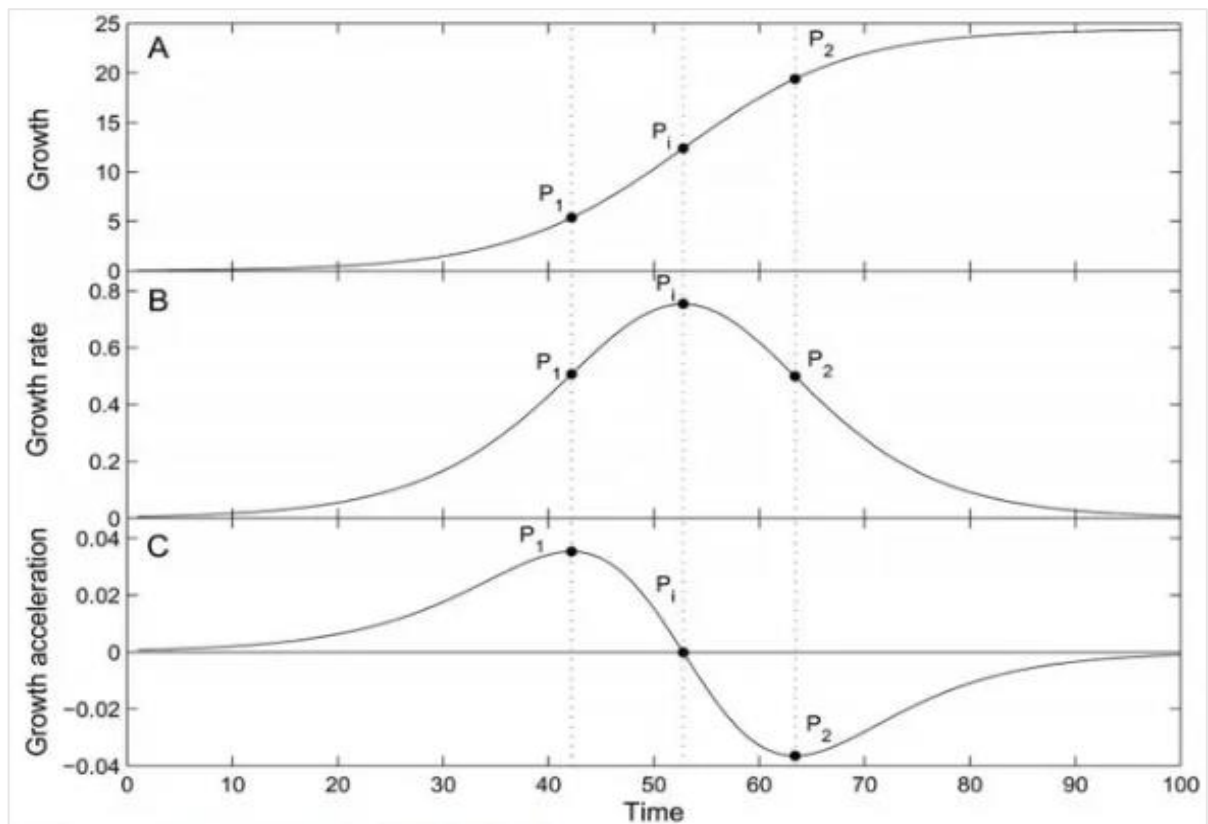
Em relação à modelagem do crescimento, as curvas sigmóides são frequentemente usadas para descrever sua função. Dentre os possíveis modelos para o ajuste, os mais utilizados são o de Gompertz, Logístico, Richards e Weibull (Beiki et al., 2013; Birch, 1999; Hernandez-Llamas e Kaplan, 2018; Panik, 2013; Tjørve & Tjørve, 2017; Yang et al., 1978; Zullinger et al., 1984). Dentre os modelos citados, Richards é o único que não possui o ponto de inflexão predeterminado, o que permite um melhor ajuste, devido sua maior flexibilidade (Cai et al., 2016; Vrána et al., 2019; Zeng e Wan, 2000), em contraponto à sua robustez no ajuste de curvas sigmóides, exige maior complexidade de cálculos para o sucesso da sua convergência. Freitas et. al., (1984) não conseguiram ajustar dados de crescimento utilizando o modelo de Richards, assim como, também não obtiveram sucesso em sua utilização Vitezica et al., 2010; Porter et al., 2010; Drumond et al., 2013; Faridi et al., 2014, Veloso et al., 2015, possivelmente devido a problemas de compatibilidade numérica (Yin et al., 2003; Karkach, 2006).

No presente estudo, o modelo de Richards foi ajustado com sucesso pela planilha PPFM, seguindo as recomendações de Jorgensen (1981), que sugere que cada um dos seus quatro parâmetros deve ser acrescido individualmente ao cálculo, possibilitando, além da convergência, encontrar o ponto de inflexão mais coerente com a biologia. Outra grande vantagem desse modelo, está em dispensar a simetria imposta pelo modelo Logístico, por possuir seu ponto de inflexão fixo, sempre em 50% da curva, o que

reflete diretamente na convergência entre a matemática dos cálculos e o real comportamento do fenômeno biológico. Assim, dependendo da complexidade dos dados, o mais apropriado é utilizar modelos capazes de definir mais de um ponto inflexão (Ali et al., 2004; Bock et al., 1973; El-Lozy, 1978; Narushin e Takma, 2003; Shahin et al., 2013), como o Duplo Richards e o Triplo Logístico, os quais permitem ajustar curvas com dois e três pontos de inflexão, respectivamente, e também estão disponíveis na planilha PPFM.

Para viabilizar essa forma de análise, é obrigatório derivar a curva de crescimento para caracterizar a velocidade e a aceleração (Bentea et al., 2017; Buchanan e Cygnarowicz, 1990; Lambertini et al., 2010; Shahin et al., 2013; Szparaga e Czerwińska, 2017; Szparaga e Kocira, 2018). Durante décadas, e de forma menos assertiva, os valores máximo e mínimo da curva da aceleração (2ª derivada) foram utilizados para determinar os pontos “P₁” e “P₂” na curva de crescimento (Gráfico 13) (Garcia- Neto et al., 2018), porém hoje, é possível perceber que este método subestima as respostas das fases iniciais do crescimento (P₁) e superestima as finais (P₂).

Figura 13 - Ajuste de curva de crescimento utilizando o modelo logístico e determinação dos pontos P_1 e P_2 através de suas derivadas



Fonte: Adaptado de Wu et al. (2004)

A partir desta constatação, foi aplicada uma visão mecanicista a fim de esclarecer e determinar com maior coerência biológica algumas fases desse fenômeno. Baseado nas teorias de Shimojo et al., (2006), que indicam a possibilidade da aplicação de uma visão Newtoniana para melhor compreensão do crescimento. Adaptando conceitos da física clássica à biologia, foi utilizada a força ($F = m \times a$) para definir os pontos F_1 e F_2 , os quais respectivamente equivalem aos antes subestimado P_1 e superestimado P_2 .

Assim, após definir os parâmetros para o modelo escolhido entre os oito disponíveis pela planilha PPFM, suas derivadas, velocidade (1ª derivada) e aceleração (2ª derivada) são automaticamente geradas (Swain et al., 2016). Para determinar a força de crescimento ontogênica é preciso compreender que a massa total deve ser separada em massa que está sendo sintetizada como nova biomassa (m_1), e a massa que já foi

depositada (m_2) (West et al., 2002; Karkach, 2006), deste modo, temos que a “adaptação biológica” para fórmula da força é: $F = (m_1 \times a) + (m_2 \times a)$.

Para determinar os pontos F_0 , que corresponde ao fim da fase lag (momento estático da curva) (Kyurkchiev e Iliev, 2016; Swinnen et al., 2004) e o F_3 , que determina o início da estabilização da expansão (Bilge e Peckan, 2013; Passos et al., 2012; Sedmak e Scheer, 2015), pelo fato de representarem momentos de alterações abruptas no comportamento da curva de crescimento, foi necessário utilizar a 3ª derivada da força para captar esse momento, chamada na física de ‘snatch’ (Davidson e Ringwood, 2017; Mann et al., 2014; Palm et al., 2016; Garcia-Neto et al., 2018). Em relação ao ponto F_3 , este não foi determinado pela planilha PPFM, pois devido as características fisiológicas de desenvolvimento do frango de corte, seria necessário que as coletas de dados ultrapassassem os 56 dias de idade para sua determinação.

A definição dos pontos de transição da curva de crescimento permite, de forma muito coerente com a biologia, otimizar diversas decisões relacionadas ao manejo, porém, esclarecer melhor este fenômeno traz outros questionamentos fundamentais. Por exemplo, até que ponto (idade) da curva de crescimento há viabilidade em se manter as aves alojadas?

Entre F_2 e F_3 , as aves perdem exponencialmente a capacidade de depositar massa, pois os recursos investidos são cada vez mais destinados para manutenção dos tecidos já depositados (Cassiano et al., 2018), ou seja, na avicultura de produção o ponto F_2 jamais deveria ser ultrapassado.

Para definir qual a idade exata em que ainda há viabilidade de investir no crescimento (fornecer recursos), continuamos a utilizar os conceitos da mecânica, agora através da energia cinética (E_c), em que consideramos a massa e a velocidade do crescimento (1ª derivada) através da fórmula, $E_c = (m \times v^2)/2$ (Kanski et al., 2015; Wong et al., 2018). Assim, ao determinar qual a idade em que as aves tiveram o melhor aproveitamento de todos os recursos fornecidos em vida (maior valor para energia cinética), é possível

estimar, de acordo com o cenário proposto pelo modelador, qual a idade limite em que há aproveitamento viável dos recursos fornecidos, em outras palavras, através da determinação da energia cinética, é possível acompanhar o crescimento e decidir qual a melhor idade de abate.

Apesar de tal procedimento permitir obter a energia cinética investida em cada momento do processo de crescimento, de forma coerente e respeitando as complexidades biológicas, sua determinação não é suficiente para avaliações durante o período. Assim, é fundamental considerar o tempo investido nesse processo. Novamente, a solução para a questão foi trazida da física para a biologia, por meio do princípio da ação ($A = Ec \times t$), é capaz de representar a somatória da área sob ou sobre a curva da energia cinética, equivalente ao trabalho útil realizado no processo de crescimento (Girtler, 2011 a,b).

Mesmo na área da física, é sabido que a ação não tem plenamente esclarecido seu potencial de aplicação, porém, se encaixa perfeitamente à biologia, e assim, ao processo de crescimento (Grandpierre, 2009). A aplicação da ação para a melhor explicação deste fenômeno permite entrar na biologia quântica, pois a forma com que o crescimento ocorre é regido por processos e decisões quânticos (Grandpierre, 2002).

Segundo Arndt et al. (2009) e Brookes (2017), recorrer ao princípio da ação para esclarecer o comportamento do crescimento, possibilita observar em escala macroscópica, o efeito quântico de como ele ocorre, ao ajustar as curvas de crescimento e integrar a física quântica com a biologia. Deste modo, através da avaliação quântica deste fenômeno pelo princípio da ação, é possível encontrar, dentre os vários caminhos implícitos na curva de crescimento, qual o mais apropriado para se alcançar o objetivo final (Brookes, 2017).

A área sob ou sobre a curva de energia cinética é obtida somando as áreas dos trapézios, aplicando o princípio da soma de Riemann (Shah et al., 2007). Este procedimento é realizado automaticamente pela planilha PPFM,

que subdivide o período avaliado em 3000 partes equidistantes, sendo calculada a área individual de cada trapézio formado, como resultado da somatória das áreas temos a ação (Jeger e Viljanen-Rollinson, 2001; Sprouffske e Wagner, 2016).

O custo da energia é um dos recursos mais críticos e valioso para modelar o comportamento de crescimento dos organismos (Bejarano et al., 2017; Tomlinson et al., 2014). Outro fator de custo de tal importância é o tempo (Gleiss et al, 2011). Assim, a determinação do custo do tempo e da energia possibilita a definição da ação como uma função de custo (Rosen, 1986; Grandpierre, 2011). Isso nos traz de volta à discussão da otimização, permitindo definir o caminho do crescimento e priorizar a eficiência, possibilitando minimizar os custos de energia e tempo (Rosen et al., 2008). Desta forma, ao aplicar o princípio da ação, é possível medir a magnitude das perdas de eficiência do processo de crescimento, e em qual idade (tempo) ocorreu, o que possibilita novos e melhores insights para definir sua causa, reduzindo os impactos negativos, sejam do próprio organismo ou no ambiente.

5 CONCLUSÃO

A modelagem de curvas de crescimento deverá abranger tanto a forma (cinemática) como as forças associadas à sua expansão (cinética), permitindo uma acurada avaliação biológica.

Aplicar modelos estatísticos mais abrangentes, como os modelos mistos generalizados, é crucial para superar as limitações dos testes tradicionais (T de Student e Anova) e proporcionar uma análise mais robusta e adaptável aos desafios biológicos complexos, resultando em respostas mais precisas e aplicáveis.

Referências

- Ali, M. A.; Rohman, J. A. M. S.; Ashizawa, K. and Ohtsuki, F. 2004. Human growth in Japanese children: An application of triphasic generalized logistic model. *International journal of statistical sciences* 3:75-92.
http://www.ru.ac.bd/stat/wpcontent/uploads/sites/25/2019/01/P7.Vol3_.pdf
- Ardnt, M.; Juffmann, T. and Vedral, V. 2009. Quantum physics meets biology. *HFSP Journal* 3:386-400. <https://doi.org/10.2976/1.3244985>
- Beiki, H.; Pakdel, A.; Moradi-Shahrbabak, M. and Mehrban, H. 2013. Evaluation of growth functions on Japanese quail lines. *The Journal of Poultry Science* 50:20-27. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0110142>
- Bejarano, A. C.; Wells, R. S. and Costa, D. P. 2017. Development of a bioenergetic model for estimating energy requirements and prey biomass consumption of the bottlenose dolphin *Tursiops truncatus*. *Ecological Modelling* 356:162-172. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.05.001>
- Bentea, L.; Watzky, M. A. and Finke, R. G. 2017. Sigmoidal nucleation and growth curves across nature fit by the Finke–Watzky model of slow continuous nucleation and autocatalytic growth: explicit formulas for the lag and growth times plus other key insights. *The Journal of Physical Chemistry C* 121:5302-5312. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b12021>
- Bertin, G. 2014. *Dynamics of galaxies*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511731990>
- Bilge, A. H. and Peckan, O. 2013. A mathematical description of the critical point in phase transitions. *International Journal of Modern Physics C* 24:e1350065. <https://doi.org/10.1142/S0129183113500654>
- Birch, C. P. D. 1999. A new generalized logistic sigmoid growth equation compared with the Richards growth equation. *Annals of Botany* 83:713-723. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.0877>
- Bock, R. D.; Wainer, H.; Petersen, A.; Thissen, D.; Murray, J. and Roche, A. 1973. A parameterization for individual human growth curves. *Human Biology*, 45:63-80. <https://www.jstor.org/stable/pdf/41459847.pdf>
- Box, G. E. P. 1979. Robustness in the strategy of scientific model building. *Robustness in statistics*. pag. 201-236. In: Department of Statistics and Mathematics Research Center, University of Wisconsin-Madison, Madison

Brookes, J. C. 2017. Quantum effects in biology: golden rule in enzymes, olfaction, photosynthesis and magnetodetection. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 473:e20160822. <https://doi.org/10.1098/rspa.2016.0822>

Buchanan, R. L. and Cygnarowicz, M. L. 1990. A mathematical approach toward defining and calculating the duration of the lag phase. *Food Microbiology* 7:237-240. [https://doi.org/10.1016/0740-0020\(90\)90029-H](https://doi.org/10.1016/0740-0020(90)90029-H)

Cai, J.; Liu, R.; Xiong, J. and Cui, Q. 2016. A new five-parameter logistic model for describing the evolution of energy consumption. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* 11:176-181. <https://doi.org/10.1080/15567249.2011.592902>

Cassiano, R.P.; Garcia-Neto, M.; Barros, T. L.; Rodrigues, M.M.; Perri, S. H. V.; Faria-Júnior, M. J. A. and Pinto, M.F. 2018. Descrevendo e predizendo curvas e forças metabólicas. In: *Anais 2018 Conferência Facta-WPSA. Conferência Facta-WPSA, Campinas.*

Dadson, S.; Hall, J. W.; Garrick, D.; Sadoff, C.; Grey, D. and Whittington, D. 2017. Water security, risk, and economic growth: Insights from a dynamical systems model. *Water Resources Research* 53:6425-6438. <https://doi.org/10.1002/2017WR020640>

Davidson, J. and Ringwood, J. V. 2017. Mathematical modelling of mooring systems for wave energy converters—a review. *Energies* 10:666. <https://doi.org/10.3390/en10050666>

Drumond, E. S. C.; Gonçalves, F.M.; Veloso, R.D.C.; Amaral, J.M.; Balotin, L.V.; Pires, A.V. and Moreira, J. 2013. Curvas de crescimento para codornas de corte. *Ciência Rural* 43:1872-1877. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001000023>

El Lozy, M. 1978. A critical analysis of the double and triple logistic growth curves. *Annals of human biology* 5:389-394. <https://doi.org/10.1080/03014467800003021>

Faridi, A; Murawska, D; Golian, A; Mottaghitalab, M; Gitoe, A; Lopez, S; and France, J. 2014. Funções alternativas de crescimento para predição do peso corporal, da carcaça e do peito em patos: equação de Lomolino e função de valor extremo. *Poultry science* 93:1031-1042. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03375>

Ferret, P.R. 2009. Watt online animal nutrition and health forum. <http://www.wattpoultry.com>

Freitas, A. R.; Albino, L. F. T.; Michelin-Filho, T. and Rosso, L. A. 1984. Modelos de curvas de crescimento em frangos de corte. Pesquisa agropecuária brasileira 19:1057-1064. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/42192/1/16029701241SM.pdf>

Garcia-Neto, M.; Perri, S. H. V.; Cassiano, R. P.; Faria-Junior, M. J. A. and Pinto, M. F. 2018. Three major phases of sigmoid growth curve can be identified by ontogenetic growth force. p.337. In: 2018 International Poultry Scientific Forum. Georgia Congress Center.

Girtler, J. 2011a. The method for determining the theoretical operation of ship diesel engines in terms of energy and assessment of the real operation of such engines, including indicators of their performance. Journal of Polish CIMAC 6/1:79-88. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPG8-0055-0029>

Girtler, J. 2011b. The semi-Markov model of energy state changes of the main marine internal combustion engine and method for evaluating its operation during ship voyage. Polish Maritime Research 18:36-42. <https://doi.org/10.2478/v10012-011-0024-9>

Gleiss, A. C.; Wilson, R. P. and Sherpard, E. L. C. 2011. Making overall dynamic body acceleration work: on the theory of acceleration as a proxy for energy expenditure. Methods in Ecology and Evolution 2:23-33. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00057.x>

Gonçalves, C. A. 2013. Acurácia e precisão na formulação não linear de ração para frangos de corte: avanço e otimização de resultados. Dissertação (M.Sc.). Universidade Estadual Paulista, Araçatuba.

Grandpierre, A. 2009. Biological Version of the Action Principle: The Next Frontier of Physics. Apeiron Centre. p. 1-20, Available at: < <https://apeironcentre.org/biological-version-of-the-action-principle-the-next-frontier-of-physics/> > Accessed on: Aug. 12, 2023.

Grandpierre, A. 2008. Fundamental complexity measures of life. p.566-614. In: Divine action and natural selection: science, faith and evolution. 1st ed. Seckbach, J. and Gordon, R. ed. Singapore. https://doi.org/10.1142/9789812834355_0028

Grandpierre, A. 2002. The Fundamental Principles of Existence and the Origin of Physical Laws. Ultimate Reality and Meaning 25:27-147. <https://doi.org/10.3138/uram.25.2.127>

Hedeker, D. and Gibbons, R. D. 2006. Longitudinal data analysis. Wiley Series in Probability and Statistics. Pag.13-29. In: Anova approaches to

longitudinal data. 1ª edição. University of Illinois. ed. John Wiley and Sons. Illinois, Chicago.

Jeger, M.; Viljanen-Rollinson, S. 2001. The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theoretical and Applied Genetics* 102:32–40. <https://doi.org/10.1007/s001220051615>

Jorgensen, M. A. 1981. Fitting animal growth curves. *The New Zealand Statistician* 16:5-15. <https://doi.org/10.1021/jm00349a004>

Kanski, M.; Arvidsson P. M.; Töger, T.; Borgquist, R.; Heiberg, E.; Carlsson, M. e Arheden, H. Left ventricular fluid kinetic energy time curves in heart failure from cardiovascular magnetic resonance 4D flow data. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, v. 17, n. 1, p. 111, 2015. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12968-015-0211-4>

Karkach, A. S. 2006. Trajectories and models of individual growth. *Demographic research* 15:347-400. <https://doi.org/10.4054/DemRes.2006.15.12>

Kyurkchiev, N. and Iliev, A. 2016. On some growth curve modeling: approximation theory and applications. *Int. J. of Trends in Research and Development* 3:466-471. https://www.researchgate.net/publication/304489806_On_Some_Growth_Curve_Modeling_Approximation_Theory_and_Applications

Lambertini, E.; Spencer, S. K.; Bertz, P. D.; Loge, F. J. and Borchardt, M.A. 2010. New mathematical approaches to quantify human infectious viruses from environmental media using integrated cell culture-qPCR. *Journal of virological methods* 163:244-252. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2009.10.002>

Leeson, S.; Caston, L. and Summers, J.D. 1996. Broiler responses to energy or energy and protein dilution in finisher diet. *Poultry Science* 75:522-528. <https://doi.org/10.3382/ps.0750522>

Mann, S.; Janzen, R.; Ali, M. A.; Scourboutakos, P. and Guleria, N. 2014. Integral kinematics (time-integrals of distance, energy, etc.) and integral kinesiology. p. 22-24. In: *Proceedings of the 2014 IEEE Games, Entertainment, Media Conference (GEM)*, Toronto.

Narushin, V. G. and Takma, C. 2003. Sigmoid model for the evaluation of growth and production curves in laying hens. *Biosystems engineering* 84:343-348. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00286-6](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00286-6)

Oliveira, D. R. M. S.; Naas, I. A. Issues of sustainability on the Brazilian broiler meat production chain. In: *International Conference Advances in*

Production Management 29 Systems, 2012, Competitive manufacturing for innovative products and services: proceedings, Greece: International Federation for Information Processing, 2012.

Palm, J.; Eskilsson, C. and Bergdahl, L. 2016. Mooring cable simulations with snap load capturing for wave energy applications. In: Progress in Renewable Energies Offshore: Proceedings of the 2nd International Conference on Renewable Energies (RENEW2016). Taylor & Francis Books Ltd, Leiden

Panik, M. J. 2013. Parametric growth curve modeling. p. 49-86. In: Growth Curve Modeling. 1st ed. Panik, M. J., ed. Hoboken, New Jersey. <https://doi.org/10.1002/9781118763971.ch3>

Parker, J. 2012. Growth and capital accumulation: the solow model. p.1-27. In: Economics 314 Course book. Parker, J. ed. Portland, Oregon.

Passos, J. R. S.; Pinho, S. Z.; Carvalho, L. R. and Mischán, M. M. 2012. Critical points in logistic growth curves and treatment comparisons. Scientia Agricola 69:308-312. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000500004>

Pommerening, A. and Grabarnik, P. 2019. Principles of Relative Growth Analysis. p. 253-301. In: Individual-based Methods in Forest Ecology and Management. Cham, S. ed. Switerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24528-3_6

Porter, T.; Kebreab, E.; Kuhl, H. D.; Lopez, S.; Strathe, A. B. and France, J. 2010. Flexible alternatives to the Gompertz equation for describing growth with age in turkey hens. Poultry Science, 89:371-378. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00141>

Patricio, I. S.; Mendes, A. A.; Ramos, A. A.; Pereira, D. F. Overview on the performance of Brazilian broilers (1990 to 2009). Revista Brasileira de Ciências Avícola, v. 4, n. 4, p. 233-238, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2012000400001>

Ricklefs, R. E. 1983. Avian postnatal development. Avian biology 7:1-83. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-249407-9.50010-7>

Rosen, M. A.; Dincer, I. and Kanoglu, M. 2008. Role of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact. Energy policy 36:128-137. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.09.006>

Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. D.; Lopes, D. C. and Euclides, R. F. 2011. Brazilian tables for poultry and swine. Food composition and nutritional requirements. 3rd ed. Horácio Santiago Rostagno, Viçosa-MG.

Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. D.; Lopes, D. C. and Euclides, R. F. 2017. Brazilian tables for poultry and swine. Food composition and nutritional requirements. 4th ed. Horácio Santiago Rostagno, Viçosa-MG.

Sedmak, R. and Scheer, L. 2015. Properties and prediction accuracy of a sigmoid function of time-determinate growth. *iForest-Biogeosciences and Forestry* 8:631. <https://doi.org/10.3832/ifor1243-007>

Shah, N. A.; Laws, R. J.; Wardman, B. Zhao, L. P. and Hartman IV, J. L. 2007. Accurate, precise modeling of cell proliferation kinetics from time-lapse imaging and automated image analysis of agar yeast culture arrays. *BMC systems biology* 1:3. <https://doi.org/10.1186/1752-0509-1-3>

Shahin, A. Md.; ALI, A. Md. and ALI, S. A. B. M. 2013. An Extension of Generalized Triphasic Logistic Human Growth Model. *Journal of Biometrics and Biostatistics* 4:162. <https://doi.org/10.4172/2155-6180.1000162>

Shimojo, M.; Ikeda, K.; Asano, Y.; Ishikawa, R.; Sato, H.; Nakano, Y.; Tobisa, M.; Ohba, N.; Eguchi, M. and Masuda, Y. 2006. Introducing Viewpoints of Mechanics into Basic Growth Analysis-(I) Three Aspects of Growth Mechanics compared with Three Laws of Motion. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 51:285-287. <https://doi.org/10.5109/9243>

Sprouffske, K. and Wagner, A. 2016. Growthcurver: an R package for obtaining interpretable metrics from microbial growth curves. *BMC bioinformatics* 17:172. <https://doi.org/10.1186/s12859-016-1016-7>

Swain, P. S.; Stevenson, K.; Leary, A.; Montano-Gutierrez, L. F.; Clark, I. B. N.; Vogel, J. and Pilizota, T. 2016. Inferring time derivatives including cell growth rates using Gaussian processes. *Nature communications* 7:1-8. <https://doi.org/10.1038/ncomms13766>

Swinnen, I. A. M. Bernaerts, K.; Dens, E. J. J.; Geeraerd, A. H. and Van Impe, J.F. 2004. et al. Predictive modelling of the microbial lag phase: a review. *International journal of food microbiology* 94:137-159. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.01.006>

Szparaga, A. and Czerwińska, E. 2017. Modelling of beetroot seedlings with modified generalized logistic functions. *Agricultural Engineering* 21:107-117. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2017-0030>

Szparaga, A. and Kocira, S. 2018. Generalized logistic functions in modelling emergence of Brassica napus L. *PloS one* 13:e0201980. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201980>

Tjørve, K. M. C. and Tjørve, E. 2017. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. *PloS one* 12:e0178691. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178691>

Tomlinson, S.; Arnall, S. G.; Munn, A.; Bradshaw, D.; Maloney, S. K.; Dixon, K. W. and Didham, R. K. 2014 Applications and implications of ecological energetics. *Trends in ecology & evolution* 29:80-290. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.03.003>

Veloso, R. C.; Pires, A. V.; Torres-Filho, R. A.; Drumond, E. C. S.; Costa, L. S.; Amaral, J. M. and Pereira, I. G. 2015. Crescimento de genótipos de frangos tipo caipira. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 67:1361-1371. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-6816>

Vitezica, Z. G.; Marie-Etancelin, C.; Bernadet, M. D.; Fernandez, X. and Robert-Granie, C. 2010. Comparação de modelos de regressão não linear e spline para descrever curvas de crescimento de patos muares. *Poultry Science* 89:1778-1784. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00581>

VRÁNA, J.; Remeš, V.; Matysioková, B.; Tjørve, K. M. C. and Tjørve, E. 2019. Choosing the right sigmoid growth function using the unified-models approach. *Ibis* 161:13-26. <https://doi.org/10.1111/ibi.12592>

West, G. B.; Enquist, B. J. and Brown, J. H. 2002. Ontogenetic growth (Communication arising): Modelling universality and scaling. *Nature* 420:626. <https://doi.org/10.1038/420626b>

Wit, E.; Heuvel, E. v. d. and Romeijn, J, -W. 2012. 'All models are wrong...': an introduction to model uncertainty. *Statistica Neerlandica* 66:217-236. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9574.2012.00530.x>.

Wong, J.; Chabiniok, R.; Tibby, M. S.; Pushparajah, K.; Sammut, E.; Celermajor, D.; Giese, D.; Hussain, T.; Greil, G. F.; Schaeffter, T. e Razavi, R. Exploring kinetic energy as a new marker of cardiac function in the single ventricle circulation. *Journal of Applied Physiology*, v. 125, n. 3, p. 889-900, 2018. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00580.2017>

Yamanaka, S. E. 2018. Modelos não lineares mistos em estudos de crescimentos de frango de corte. Dissertação (M.Sc.). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba.

Yang, R. C.; Kozak, A.; Smith, J. and Harry, G. 1978. The potential of Weibull-type functions as flexible growth curves. *Canadian Journal of Forest Research* 8:424-431. <https://doi.org/10.1139/x78-062>

Yin, X; Goudriaan, J.; Lantinga, E. A.; Vos, J, and Spiertz, H, J. 2003. A flexible sigmoid function of determinate growth. *Annals of botany* 91:361-371. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg029>

Zeng, Y. and Wan, X. 2000. A new mathematical model and its application to the growth of crustaceans. *Crustaceana - international journal of crustacean research-* 73:565-574.
<https://doi.org/10.1163/156854000504660>

Zullinger, E. M.; Redford, R. E.; Redford, K. H. and Mace, G. M. 1984. Fitting sigmoidal equations to mammalian growth curves. *Journal of Mammalogy* 65:607-636. <https://doi.org/10.2307/1380844>

ANEXOS

Anexo A – Resultados da modelagem estatística dos dados referentes ao peso das aves machos

Results - Generalized Mixed Model

Model Info

Info	Value	Comment
Model Type	Custom	Model with custom family
Call	glm	Peso ~ 1 + Dia + Energia + I(Dia^2) + Dia:Energia + I(Dia^3) + I(Dia^2):Energia + (0 + Energia + Dia + I(Dia^2) + I(Dia^3) Box)
Link function	Identity	Coefficients in the same scale of y
Distribution	Gamma	Skewed continuous distribution
LogLikel.	-1211.430	Unconditional Log-Likelihood
-2*LogLikel.	2422.860	Unconditional absolute deviance
Deviance	0.115	Conditional relative deviance
R-squared	NaN	Marginal
R-squared	NaN	Conditional
AIC	2458.860	Less is better
BIC	2522.390	Less is better
Residual DF	234.000	
Chi-squared/DF	0.000	Overdispersion indicator
Converged	yes	
Optimizer	bobyqa	

Note. boundary (singular) fit: see help('isSingular')

Model Results - Fixed Effect Omnibus tests

	X ²	df	p
Dia	32.945	1.000	< .00001
Energia	0.016	1.000	0.89993
Dia ²	7065.253	1.000	< .00001
Dia * Energia	2658.736	1.000	< .00001
Dia ³	5.148	1.000	0.02327
Dia ² * Energia	361.512	1.000	< .00001

Fixed Effects Parameter Estimates

Names	Estimate	SE	95% Confidence Interval		z	p
			Lower	Upper		
(Intercept)	43.306	2.040	39.307	47.305	21.225	< .00001
Dia	8.156	1.421	5.371	10.942	5.740	< .00001
Energia	0.000	0.001	-0.001	0.001	0.126	0.89993
Dia ²	3.121	0.037	3.048	3.194	84.055	< .00001
Dia ³	-0.035	0.001	-0.036	-0.033	-51.563	< .00001
Dia * Energia	-0.001	0.000	-0.002	-0.000	-2.269	0.02327
Energia * Dia ²	0.000	0.000	0.000	0.000	19.013	< .00001

Random Components

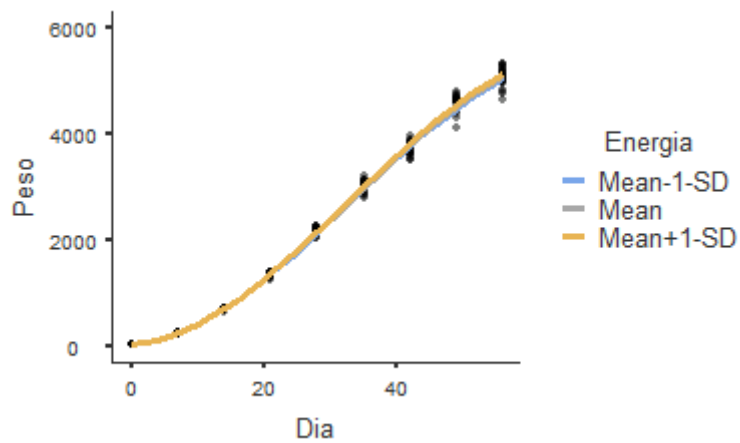
Groups	Name	SD	Variance	ICC
Box	Energia	0.000	0.000	
	Dia	0.064	0.004	
	Dia ²	0.082	0.007	
	Dia ³	0.002	0.000	
Residual		0.024	0.001	
Residuals		0.024	0.001	.

Note. Number of Obs: 252 , groups: Box 28

Random Parameters correlations

Groups	Param.1	Param.2	Corr.
Box	Energia	Dia	0.114
	Energia	Dia ²	-0.050
	Energia	Dia ³	-0.047
	Dia	Dia ²	-0.117
	Dia	Dia ³	-0.296
	Dia ²	Dia ³	-0.913

Effects Plots



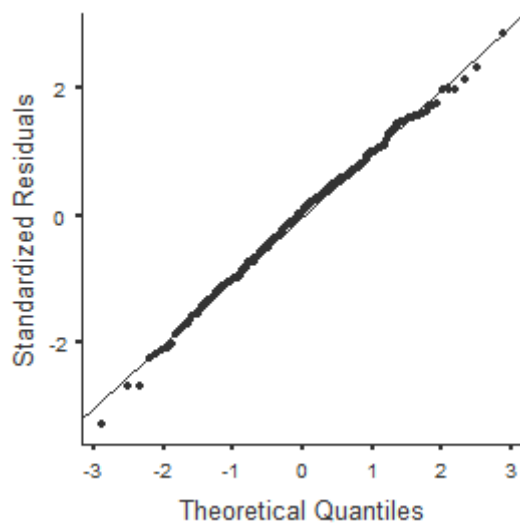
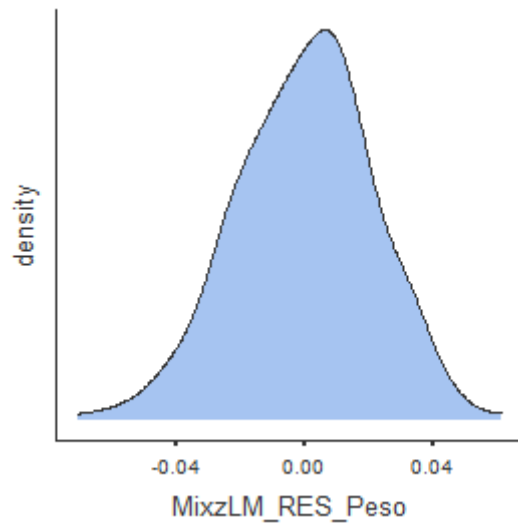
Descriptives

Descriptives

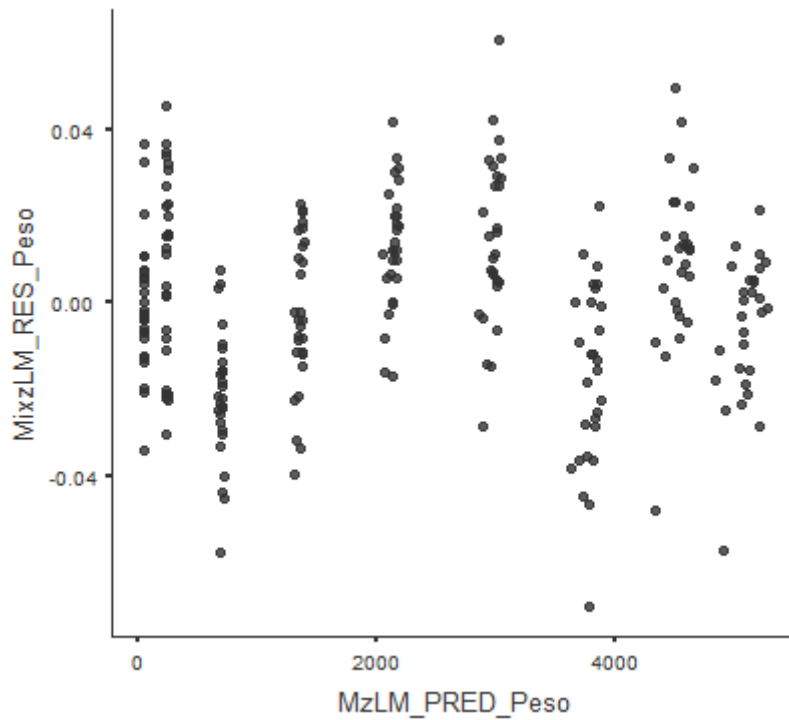
MixzLM_RES_Peso	
N	252
Missing	0
Mean	-0.000
Median	0.001
Standard deviation	0.021
Minimum	-0.070
Maximum	0.061

Plots

MixzLM_RES_Peso



Scatterplot



References

- [1] The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- [2] R Core Team (2022). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2023-04-07).
- [3] Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models*. [jamovi module]. Retrieved from <https://gamlj.github.io/>.

Anexo B - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes ao peso das aves fêmeas

Resultados - Generalized Mixed Model

Model Info

Info	Value	Comment
Model Type	Custom	Model with custom family
Call	glm	Peso ~ 1 + Dia + Energia + I(Dia^2) + I(Dia^3) + (0 + Energia Box)
Link function	Identity	Coefficients in the same scale of y
Distribution	Gamma	Skewed continuous distribution
LogLikel.	-0.123	Unconditional Log-Likelihood
-2*LogLikel.	0.246	Unconditional absolute deviance
Deviance	0.246	Conditional relative deviance
R-squared	NaN	Marginal
R-squared	NaN	Conditional
AIC	14.250	Less is better
BIC	38.952	Less is better
Residual DF	245.000	
Chi-squared/DF	0.001	Overdispersion indicator
Converged	yes	
Optimizer	bobyqa	

Note. boundary (singular) fit: see ?isSingular

Model Results - Fixed Effect Omnibus tests

	χ^2	df	p
Dia	0.001	1.000	0.97363
Energia	0.000	1.000	0.99718
Dia ²	10.844	1.000	0.00099
Dia ³	3.251	1.000	0.07136

Fixed Effects Parameter Estimates

Names	Estimate	SE	95% Confidence Interval		z	p
			Lower	Upper		
(Intercept)	39.282	136.773	-228.787	307.351	0.287	0.77395
Dia	0.285	8.612	-16.594	17.163	0.033	0.97363
Energia	-0.000	0.044	-0.087	0.087	-0.004	0.99718
Dia ²	2.829	0.859	1.145	4.512	3.293	0.00099
Dia ³	-0.027	0.015	-0.057	0.002	-1.803	0.07136

Random Components

Groups	Name	SD	Variance	ICC
Box	Energia	0.000	0.000	
Residual		0.031	0.001	
Residuals		0.031	0.001	.

Note. Number of Obs: 252 , groups: Box 28

Effects Plots

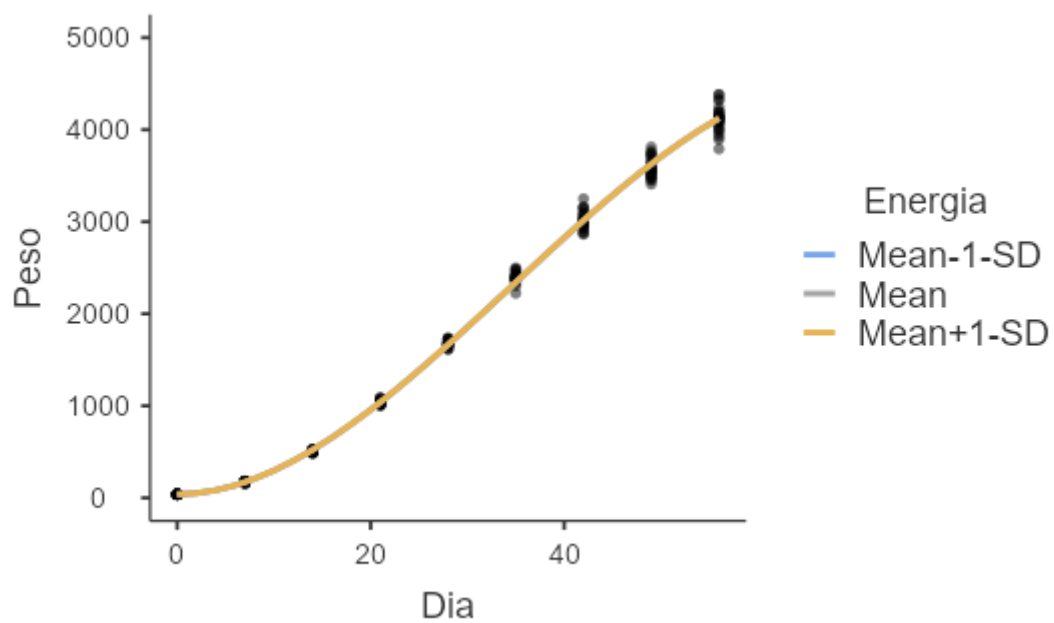
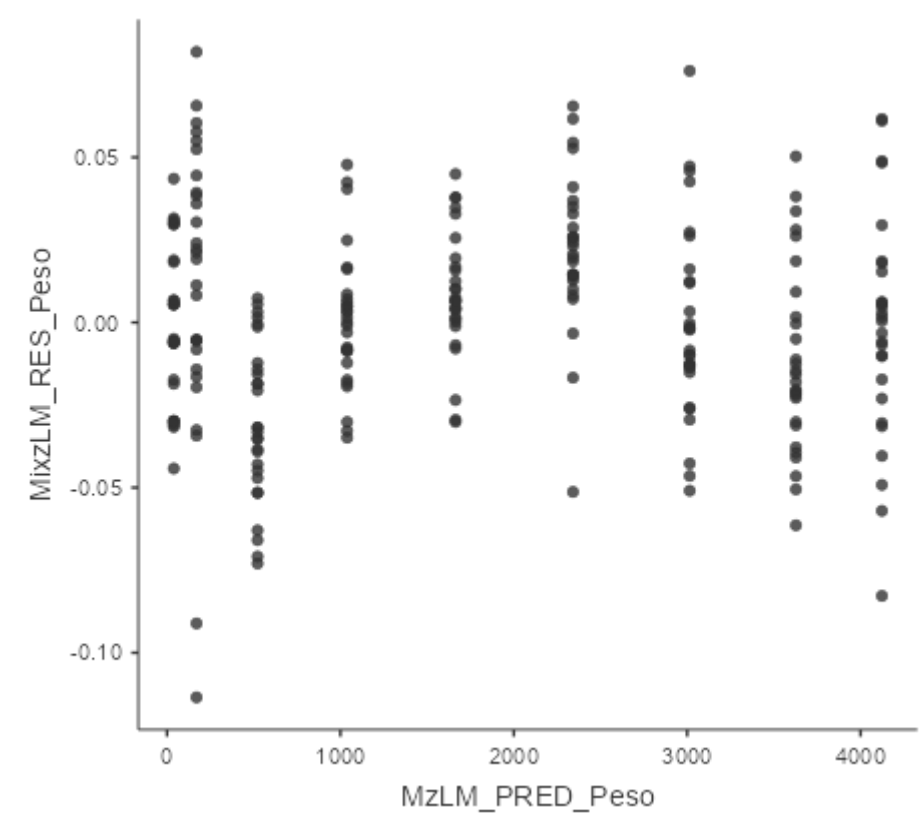


Gráfico de Dispersão

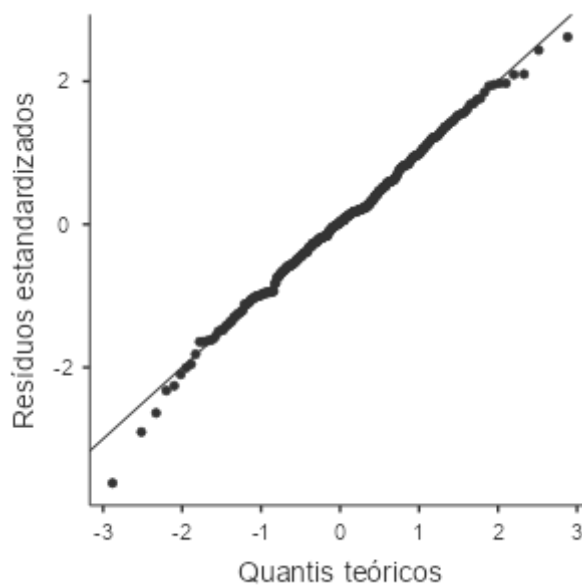
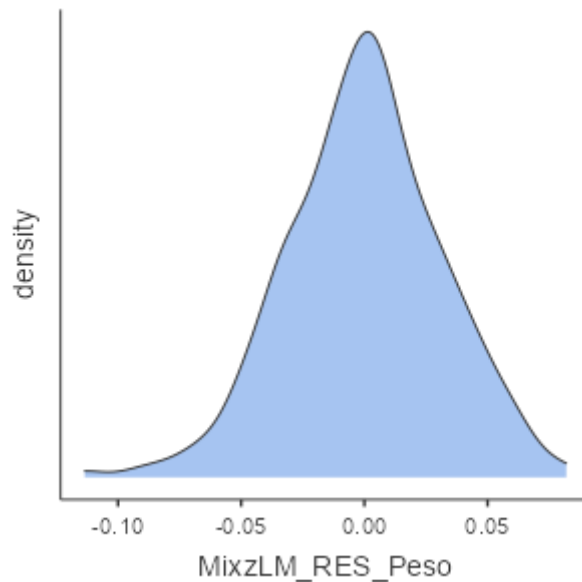


Estatística Descritiva

Estatística Descritiva	
MixzLM_RES_Peso	
N	252
Omisso	0
Média	-0.000
Mediana	0.001
Desvio-padrão	0.031
Mínimo	-0.114
Máximo	0.082

Gráficos

MixzLM_RES_Peso



References

- [1] The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- [2] R Core Team (2022). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2023-04-07).
- [3] Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models*. [jamovi module]. Retrieved from <https://gamlj.github.io/>.

Anexo C - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes ao consumo de ração das aves machos

Resultados - Generalized Mixed Model

Model Info

Info	Value	Comment
Model Type	Custom	Model with custom family
Call	glm	Consumo ~ 1 + Dia + Energia + I(Dia^2) + Energia:Dia + I(Dia^3) + I(Dia^2):Energia + (1 + Energia + Dia Box)
Link function	Identity	Coefficients in the same scale of y
Distribution	Gamma	Skewed continuous distribution
LogLikel.	- 1360.863	Unconditional Log-Likelihood
-2*LogLikel.	2721.726	Unconditional absolute deviance
Deviance	0.363	Conditional relative deviance
R-squared	NaN	Marginal
R-squared	NaN	Conditional
AIC	2749.730	Less is better
BIC	2797.489	Less is better
Residual DF	210.000	
Chi-squared/DF	0.002	Overdispersion indicator
Converged	yes	
Optimizer	bobyqa	

Note. boundary (singular) fit: see help('isSingular')

Model Results - Fixed Effect Omnibus tests

	X ²	df	p
Dia	6.971	1.000	0.00828
Energia	0.093	1.000	0.76086
Dia ²	208.885	1.000	< .00001
Energia * Dia	700.535	1.000	< .00001
Dia ³	0.076	1.000	0.78307
Dia ² * Energia	2.471	1.000	0.11596

Fixed Effects Parameter Estimates

Names	Estimate	SE	95% Confidence Interval		z	p
			Lower	Upper		
(Intercept)	365.491	151.782	68.004	662.977	2.408	0.01604
Dia	-62.004	23.484	-108.031	-15.976	-2.640	0.00828
Energia	-0.015	0.049	-0.111	0.081	-0.304	0.76086
Dia ²	8.561	0.592	7.400	9.722	14.453	< .00001
Dia ³	-0.068	0.003	-0.073	-0.063	-26.468	< .00001
Dia * Energia	-0.002	0.008	-0.017	0.013	-0.275	0.78307
Energia * Dia ²	-0.000	0.000	-0.001	0.000	-1.572	0.11596

Random Components

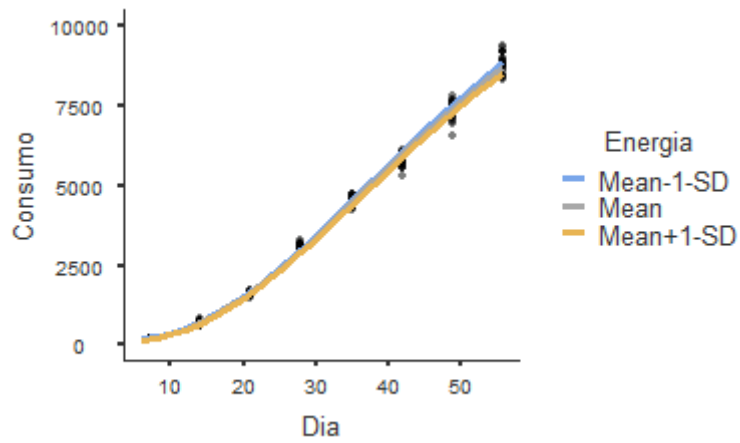
Groups	Name	SD	Variance	ICC
Box	(Intercept)	0.170	0.029	
	Energia	0.006	0.000	
	Dia	2.141	4.582	
	Residual	0.043	0.002	
	Residuals	0.043	0.002	.

Note. Number of Obs: 224 , groups: Box 28

Random Parameters correlations

Groups	Param.1	Param.2	Corr.
Box	(Intercept)	Energia	-1.000
	(Intercept)	Dia	0.889
	Energia	Dia	-0.889

Effects Plots



Estatística Descritiva

Estatística Descritiva

MixzLM_RES_Consumo	
N	224
Omisso	0
Média	-0.000
Mediana	-0.000
Desvio-padrão	0.040
Mínimo	-0.110
Máximo	0.161

Gráficos

MixzLM_RES_Consumo

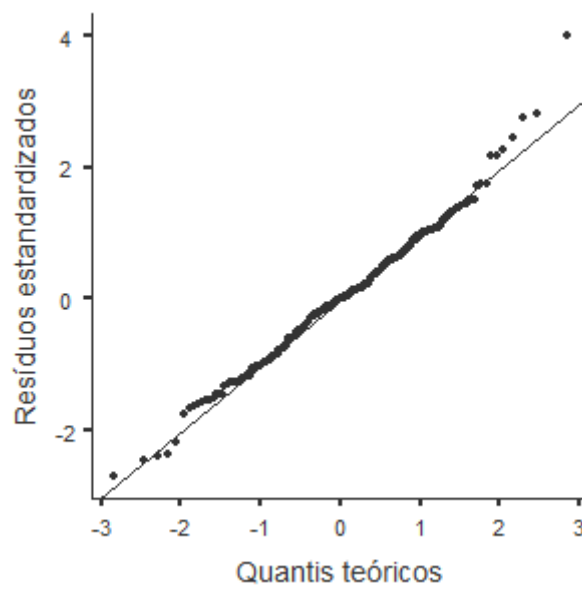
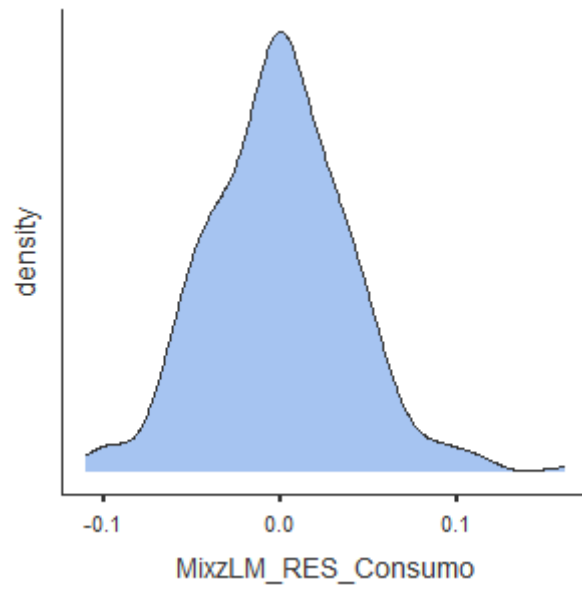
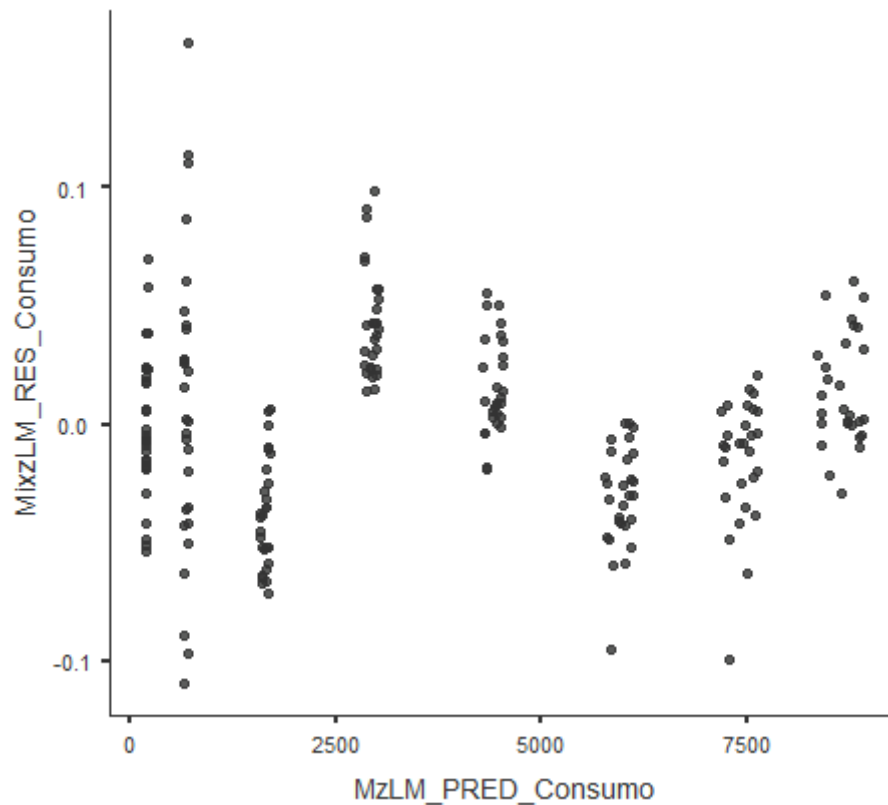


Gráfico de Dispersão



References

- [1] The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- [2] R Core Team (2022). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2023-04-07).
- [3] Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models*. [jamovi module]. Retrieved from <https://gamlj.github.io/>.

Anexo D - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes ao consumo de ração das aves fêmeas

Resultados - Generalized Mixed Model

Model Info

Info	Value	Comment
Model Type	Custom	Model with custom family
Call	glm	Consumo ~ 1 + Dia + Energia + I(Dia^2) + Energia:Dia + I(Dia^3) + I(Dia^2):Energia + (0 + Energia + I(Dia^2) + I(Dia^3) Box)
Link function	Identity	Coefficients in the same scale of y
Distribution	Gamma	Skewed continuous distribution
LogLikel.	-1251.434	Unconditional Log-Likelihood
-2*LogLikel.	2502.868	Unconditional absolute deviance
Deviance	0.171	Conditional relative deviance
R-squared	NaN	Marginal
R-squared	NaN	Conditional
AIC	2530.870	Less is better
BIC	2578.631	Less is better
Residual DF	210.000	
Chi-squared/DF	0.001	Overdispersion indicator
Converged	yes	
Optimizer	bobyqa	

Note. boundary (singular) fit: see help('isSingular')

Model Results - Fixed Effect Omnibus tests

	X ²	df	p
Dia	75.803	1.000	< .00001
Energia	294.562	1.000	< .00001
Dia ²	3950.925	1.000	< .00001
Energia * Dia	1182.483	1.000	< .00001
Dia ³	1452.155	1.000	< .00001
Dia ² * Energia	1630.877	1.000	< .00001

Fixed Effects Parameter Estimates

Names	Estimate	SE	95% Confidence Interval		z	p
			Lower	Upper		
(Intercept)	-219.068	23.205	-264.549	-173.587	-9.441	< .00001
Dia	22.805	2.619	17.671	27.938	8.706	< .00001
Energia	0.118	0.007	0.105	0.132	17.163	< .00001
Dia ²	7.129	0.113	6.907	7.351	62.856	< .00001
Dia ³	-0.053	0.002	-0.056	-0.050	-34.387	< .00001
Dia * Energia	-0.020	0.001	-0.021	-0.019	-38.107	< .00001
Energia * Dia ²	-0.000	0.000	-0.000	-0.000	-40.384	< .00001

Random Components

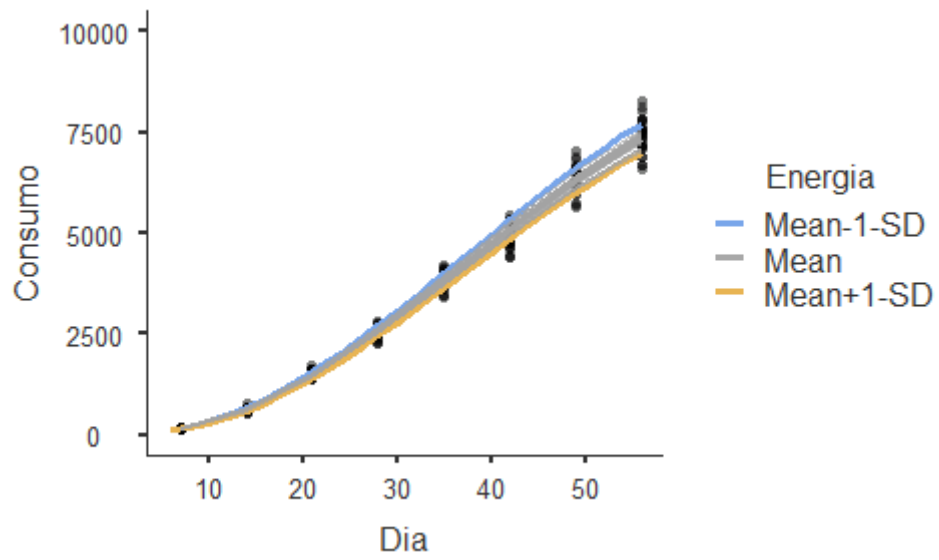
Groups	Name	SD	Variance	ICC
Box	Energia	0.000	0.000	
	Dia ²	0.099	0.010	
	Dia ³	0.002	0.000	
Residual		0.031	0.001	
Residuals		0.031	0.001	.

Note. Number of Obs: 224 , groups: Box 28

Random Parameters correlations

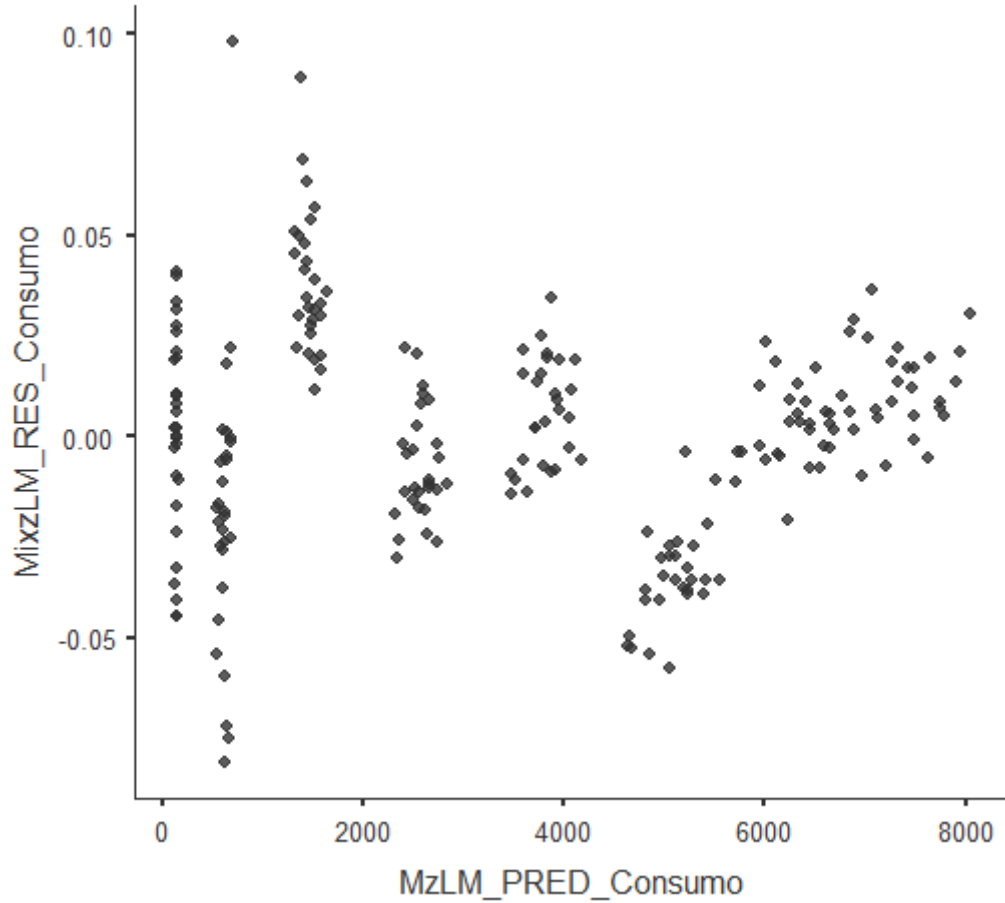
Groups	Param.1	Param.2	Corr.
Box	Energia	Dia ²	NaN
	Energia	Dia ³	NaN
	Dia ²	Dia ³	-0.860

Effects Plots



Note: Random effects are plotted by Box

Gráfico de Dispersão



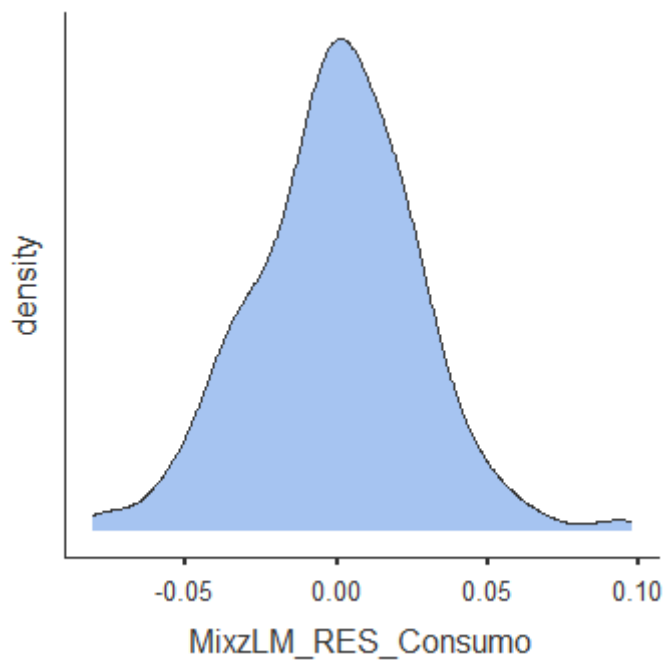
Estatística Descritiva

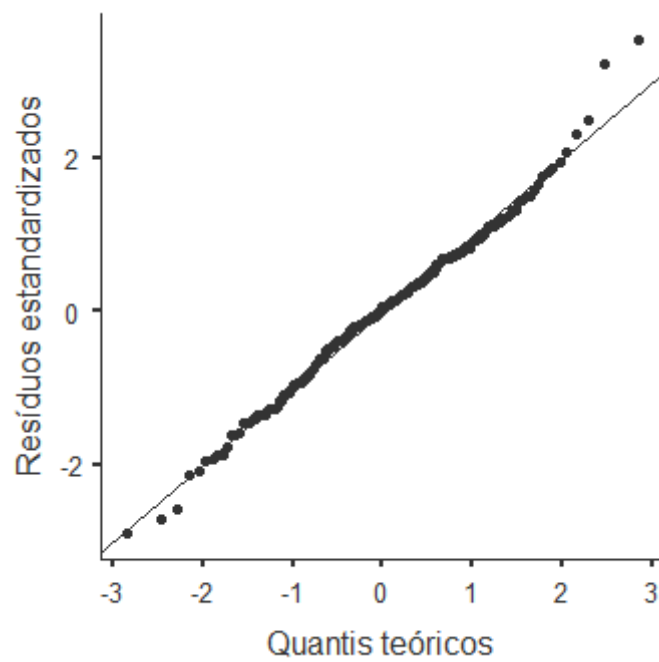
Estatística Descritiva

MixzLM_RES_Consumo	
N	224
Omisso	0
Média	-0.000
Mediana	0.001
Desvio-padrão	0.028
Mínimo	-0.081
Máximo	0.098

Gráficos

MixzLM_RES_Consumo





References

- [1] The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- [2] R Core Team (2022). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2023-04-07).
- [3] Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models*. [jamovi module]. Retrieved from <https://gamlj.github.io/>.

Anexo E - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes a conversão alimentar das aves machos

Resultados - Generalized Mixed Model

Model Info

Info	Value	Comment
Model Type	Custom	Model with custom family
Call	glm	Conversão ~ 1 + Dia + Energia + I(Dia^2) + I(Dia^3) + (1 Box)
Link function	Identity	Coefficients in the same scale of y
Distribution	Gamma	Skewed continuous distribution
LogLikel.	302.895	Unconditional Log-Likelihood
-2*LogLikel.	-605.789	Unconditional absolute deviance
Deviance	0.474	Conditional relative deviance
R-squared	NaN	Marginal
R-squared	NaN	Conditional
AIC	-591.790	Less is better
BIC	-567.908	Less is better
Residual DF	217.000	
Chi-squared/DF	0.002	Overdispersion indicator
Converged	yes	
Optimizer	bobyqa	

Note. R-squared cannot be computed.

Model Results - Fixed Effect Omnibus tests

	X ²	df	p
Dia	658.328	1.000	< .00001
Energia	24.768	1.000	< .00001
Dia ²	209.450	1.000	< .00001
Dia ³	1.073	1.000	0.30030

Fixed Effects Parameter Estimates

Names	Estimate	SE	95% Confidence Interval		z	p
			Lower	Upper		
(Intercept)	1.419	0.008	1.403	1.435	172.044	< .00001
Dia	0.281	0.011	0.260	0.303	25.658	< .00001
Energia	-0.031	0.006	-0.044	-0.019	-4.977	< .00001
Dia ²	-0.069	0.005	-0.078	-0.060	-14.472	< .00001
Dia ³	0.006	0.006	-0.005	0.017	1.036	0.30030

Random Components

Groups	Name	SD	Variance	ICC
Box	(Intercept)	0.017	0.000	
	Residual	0.047	0.002	
	Residuals	0.047	0.002	.

Note. Number of Obs: 224 , groups: Box 28

Effects Plots

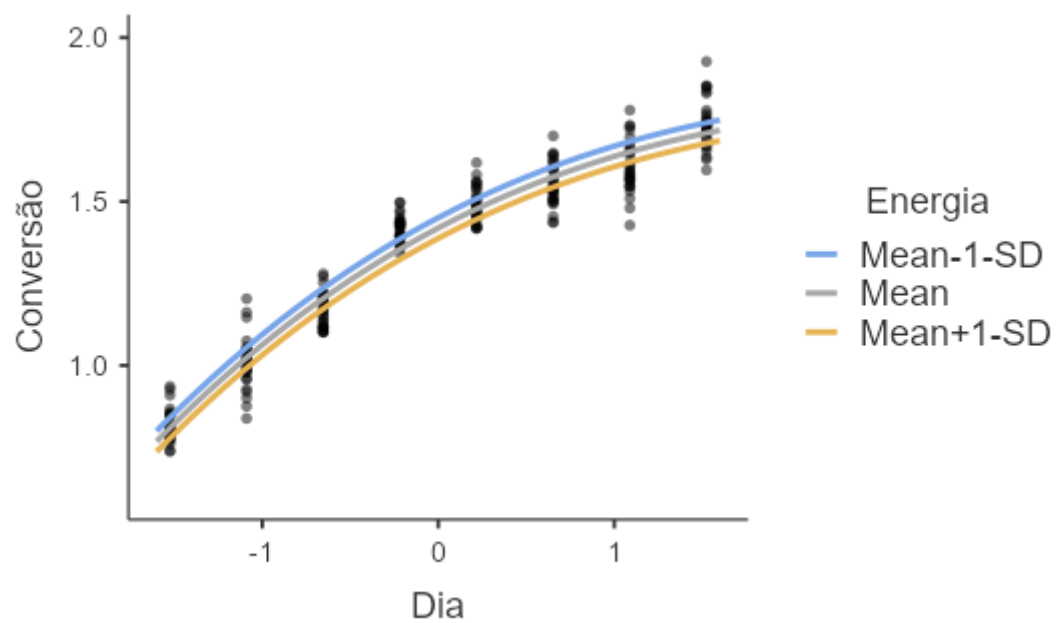
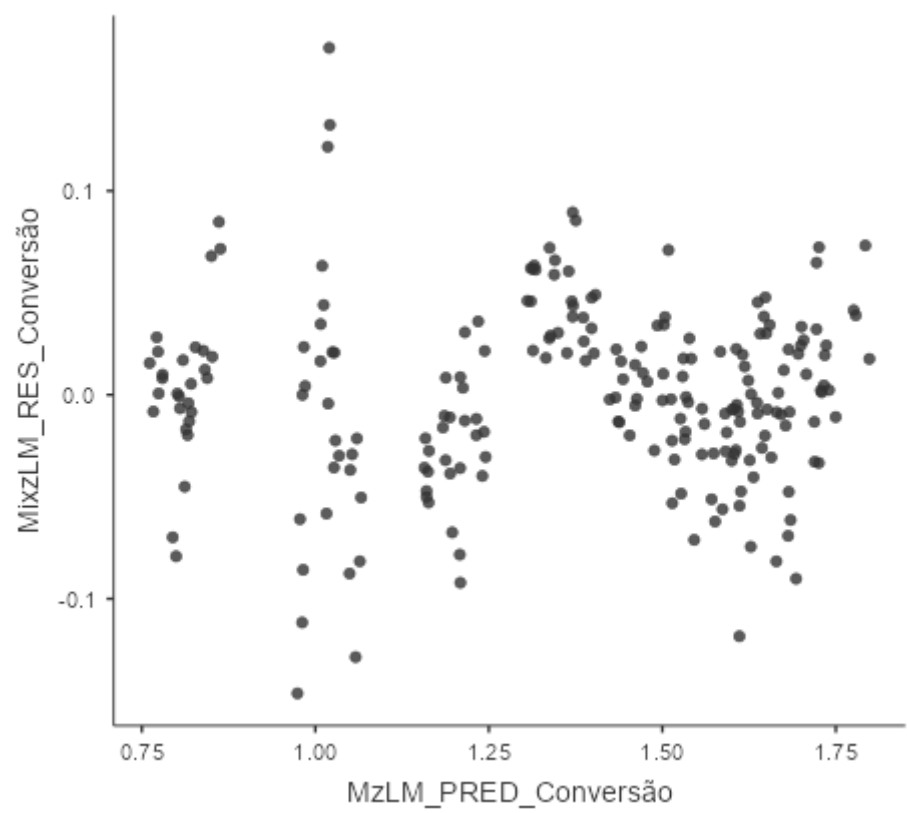


Gráfico de Dispersão

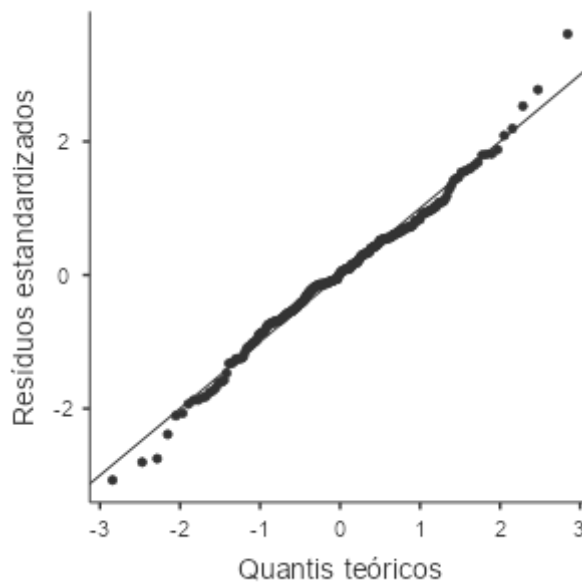
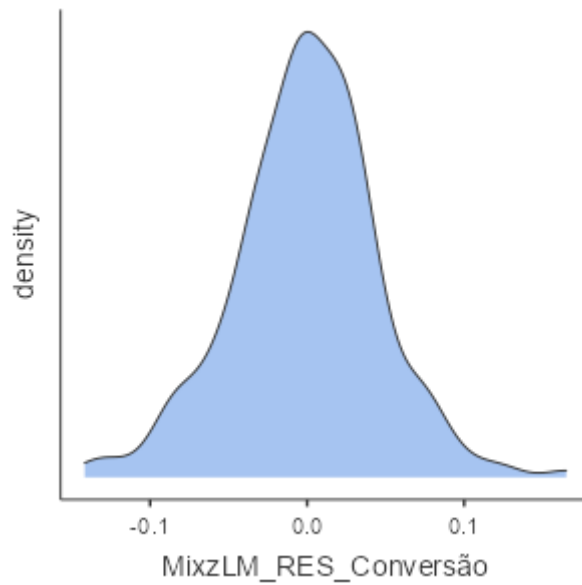


Estatística Descritiva

Estatística Descritiva	
MixzLM_RES_Conversão	
N	224
Omisso	0
Média	-0.001
Mediana	0.000
Desvio-padrão	0.046
Mínimo	-0.142
Máximo	0.165

Gráficos

MixzLM_RES_Conversão



References

- [1] The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- [2] R Core Team (2022). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2023-04-07).
- [3] Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models*. [jamovi module]. Retrieved from <https://gamlj.github.io/>.

Anexo F - Resultados da modelagem estatística dos dados referentes a conversão alimentar das aves fêmeas

Resultados - Generalized Mixed Model

Model Info

Info	Value	Comment
Model Type	Custom	Model with custom family
Call	glm	Conversão ~ 1 + Dia + Energia + I(Dia^2) + I(Dia^3) + (1 Box)
Link function	Identity	Coefficients in the same scale of y
Distribution	Gamma	Skewed continuous distribution
LogLikel.	364.992	Unconditional Log-Likelihood
-2*LogLikel.	-729.984	Unconditional absolute deviance
Deviance	0.214	Conditional relative deviance
R-squared	NaN	Marginal
R-squared	NaN	Conditional
AIC	-715.980	Less is better
BIC	-692.102	Less is better
Residual DF	217.000	
Chi-squared/DF	0.001	Overdispersion indicator
Converged	no	
Optimizer	bobyqa, Nelder_Mead, nloptwrap	

Note. R-squared cannot be computed.

Note. The model did not converge. Results may be misleading or uninterpretable.

Note. Model failed to converge with max|grad| = 0.0409639 (tol = 0.002, component 1)

Note. Model is nearly unidentifiable: very large eigenvalue - Rescale variables?

Model Results - Fixed Effect Omnibus tests

	χ^2	df	p
Dia	290.279	1.000	< .00001
Energia	96.375	1.000	< .00001
Dia ²	852.503	1.000	< .00001
Dia ³	337.252	1.000	< .00001

Fixed Effects Parameter Estimates

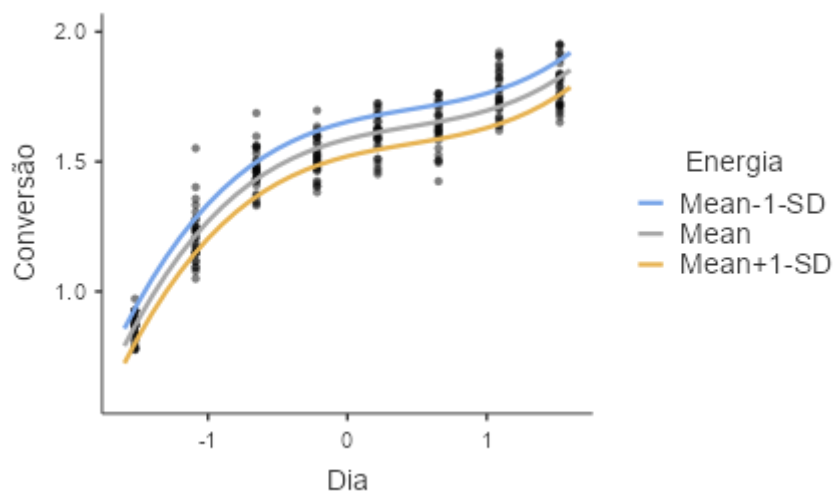
Names	Estimate	SE	95% Confidence Interval		z	p
			Lower	Upper		
(Intercept)	1.587	0.008	1.572	1.603	202.224	< .00001
Dia	0.137	0.008	0.121	0.152	17.038	< .00001
Energia	-0.067	0.007	-0.080	-0.053	-9.817	< .00001
Dia ²	-0.104	0.004	-0.111	-0.097	-29.198	< .00001
Dia ³	0.076	0.004	0.068	0.084	18.364	< .00001

Random Components

Groups	Name	SD	Variance	ICC
Box	(Intercept)	0.018	0.000	
	Residual	0.032	0.001	
	Residuals	0.032	0.001	.

Note. Number of Obs: 224 , groups: Box 28

Effects Plots



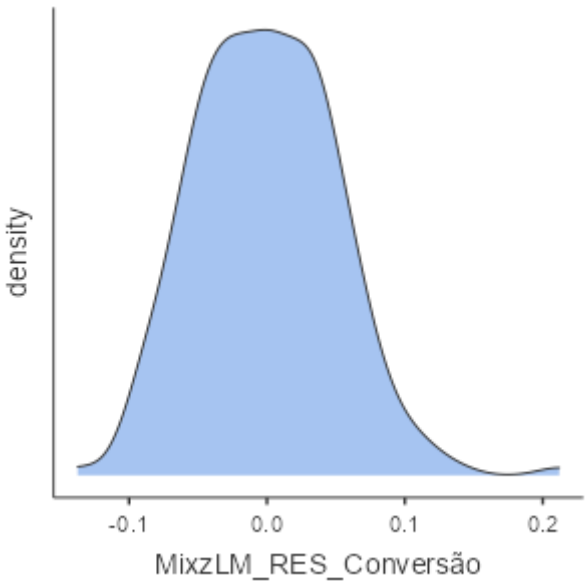
Estatística Descritiva

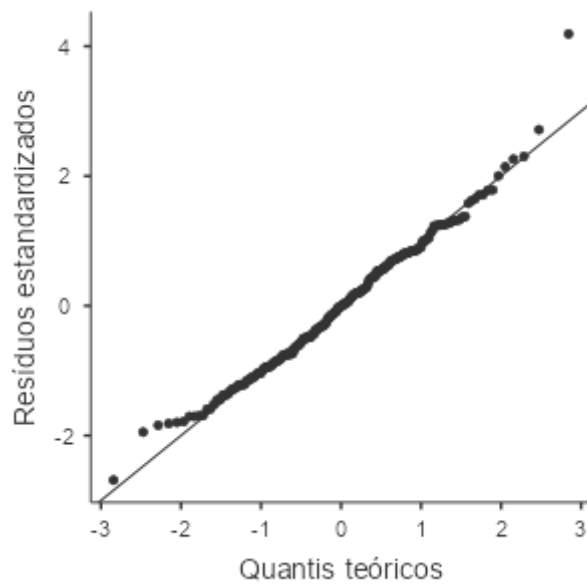
Estatística Descritiva

MixzLM_RES_Conversão	
N	224
Omisso	0
Média	-0.001
Mediana	-0.001
Desvio-padrão	0.051
Mínimo	-0.137
Máximo	0.212

Gráficos

MixzLM_RES_Conversão





References

- [1] The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- [2] R Core Team (2022). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2023-04-07).
- [3] Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models*. [jamovi module]. Retrieved from <https://gamlj.github.io/>.