

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**Rodrigo Pereira Cassiano**

Zootecnista

**OTIMIZAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES NA NUTRIÇÃO DE PRECISÃO PARA  
FRANGOS DE CORTE**

**Ilha Solteira**

**2018**

**RODRIGO PEREIRA CASSIANO**

**OTIMIZAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES NA NUTRIÇÃO DE PRECISÃO PARA  
FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Faculdade  
de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP  
como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Mestre em Ciência e  
Tecnologia Animal.

**Prof. Dr. Otto Mack Junqueira**  
Orientador

**Prof. Dr. Manoel Garcia Neto**  
Coorientador

**Ilha Solteira**

**2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C345o Cassiano, Rodrigo Pereira.  
Otimização de modelos não lineares na nutrição de precisão para frangos de corte / Rodrigo Pereira Cassiano. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018  
52 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciência e Tecnologia Animal, 2018

Orientador: Otto Mack Junqueira  
Co-orientador: Manoel Garcia Neto  
Inclui bibliografia

1. Modelagem matemática. 2. Superfície de resposta. 3. Energia metabolizável.

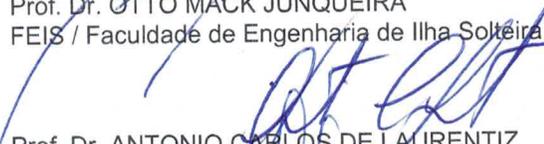
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

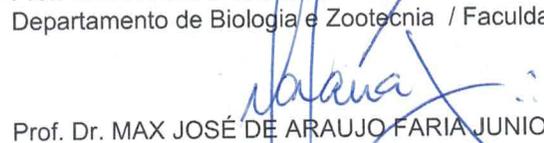
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Otimização de modelos não lineares na nutrição de precisão para frangos de corte

**AUTOR: RODRIGO PEREIRA CASSIANO**  
**ORIENTADOR: OTTO MACK JUNQUEIRA**  
**COORIENTADOR: MANOEL GARCIA NETO**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIA E TECNOLOGIA ANIMAL, área: Produção Animal pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. OTTO MACK JUNQUEIRA  
FEIS / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. ANTONIO CARLOS DE LAURENTIZ  
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. MAX JOSÉ DE ARAUJO FARIA JUNIOR  
Departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - Câmpus de Araçatuba/Unesp

Ilha Solteira, 30 de novembro de 2018

**“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer  
um novo começo, todo mundo pode  
começar agora e fazer um novo fim.”**

**(Chico Xavier)**

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por me conceder o dom da vida, permitindo assim minha evolução. 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 Otto Mack Junqueira por me orientar e pela grande contribuição para minha evolução como profissional.

Agradeço imensamente ao professor Antonio Carlos de Laurentiz, pelo qual tenho imensa admiração e apreço, por todos os conselhos, puxões de orelha e principalmente pela amizade e confiança.

Ao professor Manoel Garcia Neto que me acompanhou como Coorientador durante todo meu mestrado, e me ensinou não apenas lições para carreira profissional, mas ensinamentos que levarei por toda minha vida.

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

Aos professores Marcos Franke Pinto, Max José de Araújo Faria Jr. e Elisa Helena Giglio Ponsano, os quais tive o prazer de acompanhar em diversas atividades, me deram conselhos e contribuíram para minha atual formação.

Agradeço as novas amizades que fiz durante este período, que sempre me motivaram e deram ótimos conselhos, numa relação que mais parecia uma família que “apenas” uma equipe de trabalho, Thaina Landim de Barros, Mayara Maia Rodrigues, Danilo Gualberto de Sandre. Aos companheiros de trabalho, seu Adão (Baraanco), ao seu Laércio e Carlos, com quem sempre pude contar para realizar as atividades no setor de zootecnia.

Ao querido casal Minhoca e Gaby, com os quais pude contar em todos os momentos e me auxiliaram em todas as dificuldades, assim como os “meninos” da república Barril (Paraguai; Rolinha; Varejeira; McLovin e Chico).

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

**OBRIGADO!!!**

# OTIMIZAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES NA NUTRIÇÃO DE PRECISÃO PARA FRANGOS DE CORTE

## RESUMO

Um dos maiores desafios encontrados na nutrição de aves de corte atualmente, é determinar com precisão quais os níveis de energia ideais para compor a dieta das distintas fases de crescimento. Sabe-se que do custo total de uma ração a energia representa cerca de 50%, e que devemos considerar seus níveis na dieta para inclusão de todos os nutrientes. Neste trabalho serão apresentadas ferramentas computacionais e métodos aplicados com objetivo de otimizar as respostas para teores energéticos de dietas para frangos de corte. Para isso, foram realizados dois experimentos com total de 1120 frangos de corte (experimento I, 560 machos e experimento II, 560 fêmeas) da mesma linhagem comercial (Cobb 500), no período de 1 a 56 dias de idade, os quais receberam 4 dietas com diferentes densidades nutricionais. O objetivo dos experimentos foi gerar dados para definir as equações de superfície de resposta que servem como base de modelagem, a ser aplicado para programação não linear. As rações formuladas pelo programa prático de formulação de ração (PPFR), atende as exigências nutricionais dos frangos de corte e os requisitos de cada fase de crescimento mantendo a relação entre energia e nutrientes e visando o lucro máximo, uma vez que considera a cotação do preço pago pelo kg do frango e o custo de cada ingrediente da ração, baseando-se nos exemplos de exigências das tabelas brasileiras para aves e suínos.

**Palavras chave:** Energia metabolizável. Modelagem matemática. Superfície de resposta.

# OPTIMIZATION OF NON-LINEAR MODELS IN PRECISION NUTRITION FOR BROILERS

## ABSTRACT

One of the biggest challenges in broiler nutrition today is to accurately determine the optimal energy levels to compose the diet of the distinct growth stages. It is known that from the total cost of a feed, energy represents about 50%, and that its contents in the diet must be considered when including all the nutrients. In this work will be presented computational tools and methods applied with the objective of optimizing responses to energy contents of diets for broilers. For this, two experiments were carried out with a total of 1120 broilers (experiment I, 560 males and experiment II, 560 females) of the same commercial strain (Cobb 500), in the period from 1 to 56 days of age, which received 4 diets with different nutritional densities. The objective of the experiments was to generate data to define the equations of the response surfaces as a modeling base, to be applied for nonlinear programming. The rations formulated by the practical program for feed formulation (PPFR), meet the nutritional requirements of broiler chickens and the requirements of each growth phase, maintaining the relation between energy and nutrients, aiming for maximum profit, since it considers the price paid per kg of live chicken and the cost of each feed ingredient, based on the sample requirements of the Brazilian tables for poultry and swines.

**Keywords:** Metabolizable energy. Modeling. Response surface.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	6
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	8
2.1 RELAÇÃO ENTRE ENERGIA METABOLIZÁVEL E NUTRIENTES .....	8
2.2 PELETIZAÇÃO DE RAÇÕES.....	10
2.3 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	11
2.4 MÉTODO GRADIENTE REDUZIDO GENERALIZADO .....	13
2.5 MÉTODO EVOLUCIONÁRIO.....	14
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	16
3.1 MANEJO E INSTALAÇÕES .....	16
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS .....	16
3.3 RAÇÕES EXPERIMENTAIS .....	17
<b>3.3.1 Programa Prático de Formulação de Ração</b> .....	17
<b>3.3.2 Formulação e fabricação das rações</b> .....	18
3.4 AVALIAÇÕES.....	22
<b>3.4.1 Desempenho das aves</b> .....	24
<b>3.4.2 Gordura abdominal, rendimento de carcaça, peito e coxa com sobrecoxa</b> ...	24
<b>3.4.3 Análise dos dados</b> .....	24
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os avanços em pesquisas e tecnologia vem nos possibilitando uma visão cada vez mais profunda dentro dos diversos campos de desenvolvimento, permitindo compreender melhor os desafios, encontrar soluções mais acuradas e alcançar melhores resultados.

Do mesmo modo, pode-se afirmar tais melhorias na produção animal observando a evolução dos dados de produção nacional nos últimos anos, além da quantidade e qualidade das informações que surgem constantemente em relação aos índices zootécnicos e às exigências de bem-estar, manejo e principalmente nutricionais para animais de produção.

Dentro dessa cadeia de avanços, é válido ressaltar a importância das ferramentas utilizadas para alcança-los e, também, que algumas já se mostravam extremamente promissoras há décadas, porém ainda não haviam sido aplicadas em algumas situações, dada a falta de tecnologia da época, principalmente em relação a capacidade computacional (GARCIA-NETO, 2012). Assim, podemos dizer que as informações necessárias hoje, podem estar “ocultas” em pesquisas mais antigas publicadas décadas atrás, e que não devemos menospreza-las pela data em que foram divulgadas.

Atualmente, a competitividade de mercado, as constantes mudanças no cenário econômico, consumidores cada vez mais exigentes, entre outros fatores, tem exigido cada vez mais precisão na produção animal.

É sabido que, em média, 70% do custo total da produção animal é destinado a alimentação (SANTOS-FILHO; TALAMINI, 2014). Deste modo, a estratégia consiste em desenvolver táticas que definam os meios para otimização dos processos de formulação, visando minimizar o preço final da alimentação, de forma a garantir o maior retorno da produção (GARCIA-NETO, 2012).

Outro fato que releva a importância da energia dietética, é ser ela quem deve reger a inclusão de todos os nutrientes de uma ração, ou seja, deve-se respeitar uma proporção entre energia e os nutrientes, sendo esta relação indispensável para se predizer os valores de desempenho e consumo através das superfícies de resposta, como foi realizado neste estudo.

Uma das principais opções para otimização das formulações é utilizar modelagem matemática, que permite predições sobre consequências e alternativas de escolhas de novas possibilidades, antes da definição da recomendação alimentar final (FRANCE; KEBREAB, 2008). Para se ter sucesso nessas predições, é necessário que o modelo matemático tenha robustez em seu propósito, ou seja, represente bem o mundo real. Então, a partir de dados de pesquisa, é possível, por ajustes, obter equações que tenham poder para prever valores mais exatos nas formulações (MORRIS, 2006).

O objetivo deste estudo foi definir equações de superfícies de respostas, as quais, possibilitam através dos cálculos realizados pelo suplemento solver da planilha Excel, encontrar qual o nível energético ideal de dietas para frangos de corte, visando o máximo lucro de acordo com cenários distintos definidos pelo formulador.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 RELAÇÃO ENTRE ENERGIA METABOLIZÁVEL E NUTRIENTES

Uma das etapas mais desafiadoras na alimentação de frangos de corte é determinar o nível de energia que irá equilibrar o crescimento, que se tratando de produção comercial refere-se ao rendimento da carcaça, a qualidade e a eficiência da utilização dos alimentos fornecidos, buscando a melhor rentabilidade. Diante disso, a definição do nível energético de uma ração é a mais importante decisão, uma vez que este item, isoladamente, corresponde a cerca de 50% do custo total de uma dieta (SKINNER et al., 1992). Logo, o importante é saber qual a combinação que permite obter o máximo lucro na produção conforme as possíveis formulações (IVEY, 1999).

Um dos desenvolvimentos mais importantes no uso de alta energia nas dietas para frangos de corte foi o conceito da relação energia/proteína. Este conceito afirma que existe um equilíbrio ótimo de energia e proteína, sendo que níveis excessivos de energia reduzem o desempenho do animal por limitar a ingestão de proteína (WALDROUP, 1981).

Sabe-se que há influência dos níveis de energia sobre a composição e qualidade da carcaça, mas em geral, a gordura na carcaça aumenta com aumento do nível de energia na dieta. Selecionar a energia dietética ideal para dietas de frangos de corte depende de muitos fatores, porém nem todos foram totalmente definidos ou quantificados (SAKOMURA, 2004)

Demonstrou-se consistentemente que, se uma quantidade adequada de nutrientes essenciais é mantida em relação à energia, o aumento dos níveis de energia na dieta de frangos de corte resulta em melhores taxas de ganho e melhoria na eficiência da conversão alimentar (WALDROUP, 1981; LESSON et al., 1996; SALEH et al., 2004; DUARTE et al., 2006; GONÇALVES, 2015).

Níveis mais altos de energia podem permitir ganhos mais rápidos ou maior quantidade de carne produzida em um determinado momento, de modo que o custo operacional (mão de obra, luz, água entre outros) pode ser reduzido. Por outro lado, o

custo de ingredientes e a produção de dietas de alta energia podem negar os benefícios de um melhor desempenho (GARCIA-NETO, 2014)

Deste modo, a velocidade (taxa) de crescimento é definida pelo teor energético de uma ração, se mantida a relação entre energia e nutrientes, permitindo ajustes de modelagem segundo a variação da energia e a velocidade de crescimento, almejando formulações de dietas visando a maximização do lucro. Para isso, é necessário compreender que as Tabelas Brasileiras para aves e suínos oferecem exemplos, que em nenhuma hipótese podem ser confundidos com recomendações fixas. Essa palavra chave “exemplo” é utilizada porque não há uma única recomendação, mas distintas que dependem de aspectos biológicos e econômicos (ROSTAGNO et al, 2017).

Segundo Rostagno et al. (2017), *“seria praticamente impossível fixar um nível de energia para cada tipo de ração das aves. O nível deve variar de acordo com os preços dos ingredientes das rações e dos produtos avícolas. Por exemplo, se for possível obter óleo a preço razoável, seria recomendado adotar altos níveis de energia. Por outro lado, a disponibilidade, a bons preços, de alimento de baixo teor energético deveria levar à formulação de rações com menor teor de energia. A preocupação não é apenas elaborar uma fórmula de ração de custo mínimo”*. O mais importante é obter uma fórmula que permite a produção com lucro máximo, evidenciando que já não existe somente uma exigência, mas sim várias dependendo do desempenho das aves, do consumo de ração e dos custos de produção” (ROSTAGNO et al., 2017).

Deste modo, o correto a se considerar na formulação deve ser a densidade nutricional e não apenas a variação do teor energético da dieta. Assim, estaremos buscando alcançar o máximo retorno e não necessariamente o melhor desempenho, o que permite otimizar os recursos envolvidos na cadeia produtiva. Exemplificando, do mesmo modo em que a lisina é referência para estimar as exigências dos demais aminoácidos essenciais, a energia é o parâmetro para a inclusão de todos os nutrientes de uma dieta. Se há o conceito de Proteína Ideal (relação lisina/aminoácidos), há de se formular na base da “Energia Ideal” (Energia/Nutrientes).

A formulação na base da Energia Ideal propicia flexibilidade das exigências, uma vez que permite adotar teores mais altos ou mais baixos de energia, conforme os preços dos ingredientes energéticos estarem favoráveis ou não. Para tal objetivo, dependendo

do preço dos ingredientes e do valor do kg do frango pago pelo mercado, maximizar o ganho de peso das aves não significa maximizar os benefícios econômicos (PESTI & VERDENOV, 2011). Esse é o princípio que permite a formulação de lucro máximo variar de densidade nutricional (Energia Ideal) segundo o valor do preço do frango, e os preços dos ingredientes, visando obter a maximização dos lucros. (CERRATE & WALDROUP, 2009).

## 2.2 PELETIZAÇÃO DE RAÇÕES

A peletização é um processo que aglomera partículas moídas de um ou mais ingredientes, e depende do teor de umidade, da pressão e do calor durante o processamento.

Rações tradicionais apresentam elevadas quantidades de milho, ingrediente este extremamente rico em amido, o qual devido à alta temperatura e humidade do processamento sofre o processo de gelatinização, sendo ele o fator que mais favorece a agregação das partículas dos ingredientes, o que permite obter um pélete bem formado e durável. Semelhante aos benefícios do processo de gelatinização para a boa qualidade estrutural do pélete, a plastificação da parte proteica da ração também auxilia consideravelmente. (BELLAYER; NONES, 2000)

Em rações de alta energia, é necessário cautela para que se realize uma boa peletização, pois excedentes de gordura nas rações podem reduzir o atrito na matriz da peletizadora, com prejuízo na qualidade do pélete (BELLAYER; NONES, 2000). Isso foi observado nas rações com densidade energética mais elevada (3300 kcal/kg) no presente experimento, as quais continham maiores quantidades de óleo de soja.

Outra advertência diz respeito ao exagero no teor de umidade que pode induzir os rolos a patinar e “embuchar” a matriz da peletizadora, além do risco de não ser retirada (evaporação) o suficiente durante o resfriamento e secagem dos péletes, podendo favorecer o desenvolvimento de microrganismos como fungos (BELLAYER; NONES, 2000).

Em relação ao ingrediente utilizado como inerte, a areia fina lavada, apesar da tentativa de não a utilizar, apenas acrescentando areia foi possível formular as rações com menores densidades nutricionais, pois quando formulamos em porcentagem, como

no caso de dietas para frangos de corte, as exigências de nutrientes podem ser atendidas sem que haja necessidade de se utilizar os 100% de espaço, levando a maioria dos programas a buscar um ingrediente mais barato e completar a ração para viabilizar os cálculos. Assim, além de um desbalanceamento da ração, há um aumento no custo.

### 2.3 MODELAGEM MATEMÁTICA

Alguns processos científicos podem ser representados por funções lineares, porém, principalmente processos biológicos possuem comportamento não linear, como o crescimento de um animal ou planta. Descrever o crescimento pode ser complicado, pois em sua dinâmica ocorrem mudanças de tamanho, formato e proporções. Assim, são muito complexas as interações do desenvolvimento animal (LAWRENCE; FOWLER, 2002).

A modelagem permite previsões sobre consequências e alternativas de escolhas de novas possibilidades e opções, antes da tomada de decisão final para diversas situações (FRANCE; KEBREAB, 2008).

Na análise de dados de crescimento, a utilização de funções matemáticas não lineares tem se mostrado adequada para descrever curvas de crescimento, pelo fato de sintetizarem um grande número de medidas em alguns parâmetros que colaboram na interpretação e entendimento de um fenômeno (modelagem matemática). A escolha do modelo mais adequado para descrever o crescimento é de grande importância, esta escolha depende dentre outros fatores, da raça, do ambiente, da idade do animal nas últimas pesagens e do modelo propriamente dito. (MISCHAN, 2014)

Do exposto, o crescimento não é uma simples representação exponencial, mas envolve basicamente, um conjunto sequencial de formatos (exponencial curvilíneo, linear, e a estabilização), bem descritos pelo formato sigmoide de funções bem conhecidas como Gompertz, Logística e von Bertalanffy (KNÍZETOVÁ et al, 1985,1991ab).

O modelo de regressão não linear de von Bertalanffy, segundo Richards (1959), foi o primeiro a ser empregado para o estudo de curvas de crescimento. As reparametrizações deste modelo deram origem aos modelos de Brody (monomolecular),

von Bertalanffy, Richards, entre outros. A partir do modelo de Richards deu-se adaptações que culminaram com os modelos Logístico e de Gompertz (NAHASHON et al., 2006).

Estes modelos têm sido usados também para relacionar o peso corporal das aves (e outros animais) com a ingestão cumulativa, determinar a eficiência de utilização de nutrientes, bem como com funções para prever os requisitos de energia e proteína visando a manutenção do crescimento (DARMANI-KUHI et al., 2010).

Em relação ao modelo de Richards, apesar da dificuldade encontrada por vários pesquisadores para realizar sua convergência (FREITAS et al., 1984; ZACH, 1988; BRACCINI-NETO et al., 1996; BIRCH, 1999; OLIVEIRA et al., 2000; VENUGOPALAN; SHAMASUNDARAN, 2003; VITEZICA et al., 2010; PORTER et al., 2010; DRUMOND et al., 2013; FARIDI et al., 2011, VELOSO et al., 2016), este foi escolhido para o ajuste dos dados neste estudo, devido algumas vantagens que apresenta, como possibilitar o ajuste do seu ponto de inflexão.

O ponto de inflexão de uma curva de crescimento é o ponto onde o crescimento passa de acelerado, para um crescimento reduzido ou inibitório, ou seja, o ponto em que há maior deposição de massa durante o desenvolvimento, por exemplo, em uma curva de crescimento para aves de corte, o ponto de inflexão da curva será no dia em que a ave ganhou mais peso.

Ao contrário dos modelos de Gompertz, Logístico, von Bertalanffy e Brody que possuem pontos de inflexão sempre em 36,79%, 50%, 29,63% e 0% da curva respectivamente, o modelo de Richards tem uma maior flexibilidade pela possibilidade de definir este ponto durante os cálculos de ajuste da curva, o que permite encontrar o ponto de inflexão correto para as curvas de crescimento (GOSHU; KOYA, 2013).

Outro benefício do modelo de Richards, é que através da derivação do modelo após seu ajuste, outros pontos implícitos na curva, porém de extrema importância para melhor compreensão do crescimento animal, podem ser definidos, auxiliando por exemplo a definir as fases de crescimento (idade) em que deve-se substituir as rações inicial, crescimento e terminação, garantindo maior precisão no manejo nutricional.

Modelo de Richards:

$$Y = a [1 + (b-1) \exp^{-c(x-d)}]^{1/(1-b)}$$

**Y** = resposta para a variável;

**a** = assíntota horizontal superior da curva de crescimento;

**b** = parâmetro de posição da curva de crescimento em relação ao eixo x;

**c** = parâmetro de posição da curva de crescimento em relação ao eixo y;

**d** = parâmetro de formato da curva e posição do ponto de inflexão.

(MISCHAN, 2014).

## 2.4 MÉTODO GRADIENTE REDUZIDO GENERALIZADO

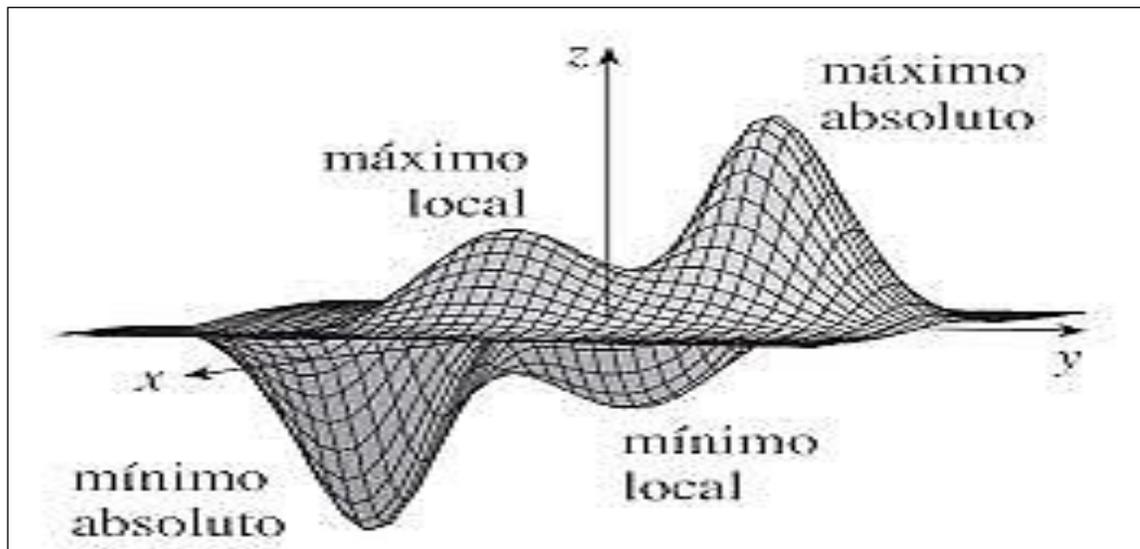
O método gradiente reduzido generalizado foi apresentado por Abadie e Carpentier (1963) como opção simplificada para solução de problemas de otimização não lineares (ROSEN 1960,1961; GRAVES; WOLFE, 1963).

Inicialmente o método foi desenvolvido em linguagem de computação disponível na época (Fortran), e se mostrava muito promissor (ABADIE; HAGGAG, 1979), e após alguns aprimoramentos no algoritmo condizentes com a evolução tecnológica passou a ser denominado GRG2 (LASDON; WAREN, 1977).

Segundo Köksoy e Yalcinoz (2006), o GRG é o método mais utilizado para resolução de problemas com respostas múltiplas, devido a facilidade de implantação e pelo fato de seu algoritmo ser disponibilizado livremente, pois o direito de uso comercial foi adquirido pela Frontline ([www.solver.com](http://www.solver.com)), e posteriormente em parceria com a Microsoft foi incorporado a planilha Excel a partir de 2010. Após esses aprimoramentos, foi possível utilizar o método GRG, que anteriormente era considerado difícil, e a partir de 2010 é um dos recursos de otimização mais eficientes e práticos disponíveis (SACOMAN, 2012).

Entretanto, há uma limitação na utilização do método GRG, que provém do fato de ser necessário que a estimativa inicial dos parâmetros seja próxima do valor a ser encontrado, ou seja, é necessário que haja um prévio conhecimento dos parâmetros a serem ajustados, e dessa forma viabilizar os cálculos, para que se tenha uma garantia de convergência para o ponto ótimo (máximo e mínimo absoluto) e não para os equivocados pontos locais que algumas superfícies de resposta apresentam (Figura 1).

**Figura 1** – Pontos máximo e mínimo local e global em superfície de resposta.



Fonte: CENGAGE learning

## 2.5 MÉTODO EVOLUCIONÁRIO

A Computação Evolucionária é uma abordagem para resolução de problemas inspirada na Teoria da Evolução de Darwin, sendo responsável pelo desenvolvimento de métodos na área de inteligência artificial, como os algoritmos genéticos e o método evolucionário (ANFLOR, 2007).

O algoritmo genético é considerado uma boa ferramenta para solução de problemas que abordam faixas de busca de resultados muito grandes, permitindo encontrar soluções, que talvez não fossem encontradas em uma busca convencional. Já o método evolucionário consiste em um mecanismo de busca direcionado, baseado na evolução

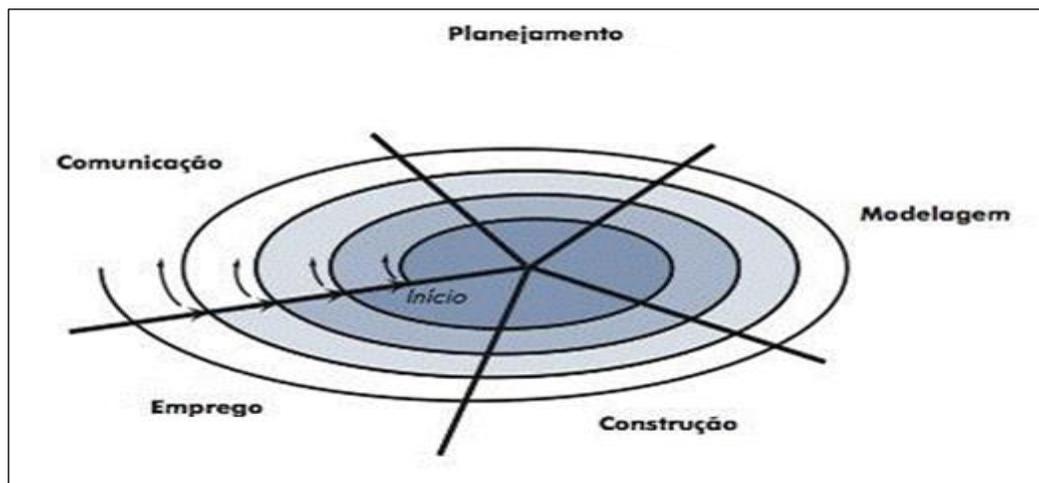
dos seres biológicos. É derivado de técnicas eficazes (mas não tão eficientes) de otimização e de aprendizado de máquinas (ANFLOR, 2007).

A comparação do método evolucionário com a teoria darwiniana se dá pelo modo como os valores são selecionados, pois segundo Darwin a probabilidade de sobrevivência de um indivíduo é proporcional à quão apto está a ela. Em analogia, seria a medida de quão próximos os valores selecionados em uma etapa dos cálculos estão para a solução do problema, ou seja, apenas os mais aptos vão para iteração seguinte dos cálculos matemáticos, chegando assim, após vários ciclos de cálculos, o mais próximo do valor ótimo.

Do ponto de vista da otimização, uma das principais vantagens dessa técnica computacional é não necessitar de muitos requisitos matemáticos sobre o problema a ser otimizado, ou seja, ele tem flexibilidade para ajustar problemas não lineares sem que se tenha a difícil tarefa de definir valores extremamente próximos para os parâmetros iniciais dos cálculos, como quando se utiliza o GRG, o que torna os dois métodos complementares.

A figura 3 exemplifica a forma de cálculo do método evolucionário, demonstrando as etapas de cada iteração, como observado no modelo em espiral. A cada volta completa temos uma nova série de dados em que apenas os melhores valores passam para próxima iteração.

**Figura 2** – Etapas realizadas pelo método evolucionário, espiral de Pressman.



Fonte: Devmedia.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MANEJO E INSTALAÇÕES

Os experimentos I (frangos de corte machos) e II (frangos de corte fêmeas) foram realizados no Setor Experimental de Zootecnia do Curso de Medicina Veterinária da Unesp, Campus de Araçatuba, primeiro o experimento I machos e em seguida o experimento II fêmeas. De acordo com a Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) este projeto de pesquisa apresentou um protocolo experimental de acordo com os Princípios Éticos da Experimentação Animal e sua execução foi aprovada em, 09 de dezembro de 2015, pela CEUA, no processo FOA nº: 00843-20015. Foram utilizados 1120 pintos de corte para os experimentos I e II, 560 machos e 560 fêmeas, da mesma linhagem comercial (Cobb 500), 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 sistema de resfriamento evaporativo adiabático com ventilação de pressão negativa, ambos automatizados, coberto com telhas constituídas de material isolante (poliestireno expandido) disposto entre chapas metálicas refletivas.

Os pintos com um dia de idade foram pesados e distribuídos ao acaso nos 28 boxes utilizados (20 aves em cada box), onde um bebedouro e um comedouro para cada box haviam sido previamente distribuídos, abastecidos e regulados. Cada box possuía dimensões de 1,4 x 3,0m (4,2 m<sup>2</sup>), e constituíram nas parcelas experimentais, sendo utilizada como cama maravalha de pinus. Como fontes de aquecimento inicial foram usadas resistências aletadas de 300 W, uma em cada box durante os 15 primeiros dias de criação.

#### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental adotado para os dois experimentos foi o inteiramente ao acaso (DIC), totalizando 4 tratamentos (níveis energéticos), com 7 repetições e 20 aves por parcela experimental.

Os níveis energéticos foram, 2850, 3000, 3150 e 3300 kcal/kg de ração, e todos os nutrientes das dietas proporcionais a energia.

### 3.3 RAÇÕES EXPERIMENTAIS

#### 3.3.1 Programa Prático de Formulação de Ração

Com base nas recomendações das Tabelas Brasileiras para aves e suínos (ROSTAGNO et al., 2017), o programa prático de formulação de ração (PPFR) atende as exigências nutricionais dos frangos de corte e os requisitos de cada fase de crescimento (inicial, crescimento e terminação), considerando a cotação do preço pago pelo kg do frango (vivo ou carcaça) e o custo de cada ingrediente da ração.

O modelo adotado na planilha de formulação PPFR combina os ingredientes da ração avaliando seus custos e mantém os nutrientes proporcionais à energia através das iterações realizadas pelo suplemento “Solver” da planilha eletrônica de cálculo Excel®, maximizando assim o lucro (BOGHI; SHITSUKA, 2005; COLIN, 2007).

O fato de manter os nutrientes da dieta vinculados a energia permite ao programa encontrar na malha da superfície de resposta valores mais coerentes (BARROS-NETO et al., 2010), o que incrementa as opções de otimização dos resultados da planilha, viabilizando uma melhor interpretação dos efeitos dos fatores envolvidos e possibilitando melhores subsídios para a análise econômica, ao indicar o mais favorável teor energético no final de períodos de criação, em um cenário específico definido pelo formulador.

O solver possibilita introduzir no programa PPFR, equações matemáticas nos cálculos de formulação de uma dieta, o que permite a planilha utilizar alguns conceitos como o de equilíbrio eletrolítico (balanço eletrolítico e relação eletrolítica) que, principalmente em países tropicais como o Brasil, devemos respeitar nas formulações. A utilização do conceito de equilíbrio eletrolítico ainda é restrita apesar de ter sido proposto há vários anos por Mongin (1981).

Além do equilíbrio eletrolítico, demais relações são consideradas como Lisina/Aminoácidos, Cálcio/Fósforo, EM/Nutrientes entre outras.

A planilha dispõe de recursos extremamente práticos, dentre eles a possibilidade de se optar pela formulação de rações farelada ou peletizada, a opção de se utilizar níveis de energia fixos (principalmente em pesquisas) ou dando liberdade para o programa defini-lo de acordo com as condições atuais de mercado.

### **3.3.2 Formulação e fabricação das rações**

As rações experimentais foram formuladas à base de milho, farelo de soja, óleo de soja, suplemento vitamínico e mineral, calcário calcítico, fosfato bicálcico e enzima fitase (Ronozyme HiPhos GT – Broilers), considerando a influência da enzima sobre todos os nutrientes de sua matriz, e com seu nível de inclusão sendo determinado pelo programa através de equações, ao invés de se utilizar os valores fixos dos rótulos informado pelo fabricante. Foi mantida a relação Cálcio/Fósforo nos níveis recomendados, assim como fixar um valor mínimo para o balanço eletrolítico (200 mEq/kg.), conforme proposto por Mongin (1981).

As exigências nutricionais seguiram os exemplos recomendados pelas tabelas brasileiras para aves e suínos de Rostagno et al. (2011), e foram calculadas pelo programa prático de formulação de ração para frangos de corte de lucro máximo (PPFR) versão não linear.

A mistura da ração e a peletização foram realizadas no laboratório de fabricação de rações do Setor Experimental de Zootecnia da Unesp campus de Araçatuba.

O tempo de mistura foi de 10 minutos em misturador horizontal, e os micro ingredientes pré-misturados por 8 minutos em misturador vertical tipo “Y”, visando assim uma melhor homogeneidade da mistura.

No processo de peletização há necessidade de se injetar vapor (humidade) para favorecer a eficiência da formação do pélete, que normalmente é proveniente de uma caldeira, como a peletizadora utilizada não possui caldeira, seguimos então às recomendações de Klein (2009), que afirma ser possível recorrer à adição de água quente antes de realizar a peletização. Foram testados diversos valores de inclusão de água, sendo definido 5 litros/100kg de ração (5% de água). Lembrando de que toda água

adicionada nesse processo é retirada posteriormente no resfriamento e secagem dos péletes, o que minimiza a presença de água livre, sendo o ideal garantir o máximo de 12% de umidade na ração final, ou inferior a este valor (KLEIN, 2009).

**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
<b>Total</b>	<b>100,0</b>											

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
<b>Total</b>	<b>100,0</b>											

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 3** – Composição nutricional das rações do experimento I (machos) segundo o tratamento e fase de criação.

E M Aves kcal/kg	inicial				crescimento				terminação			
	2850	3000	3150	3300	2850	3000	3150	3300	2850	3000	3150	3300
PB %	21,146	21,558	22,692	23,761	20,486	20,922	21,488	23,478	16,780	17,660	17,915	18,760
Cálcio%	0,798	0,840	0,882	0,924	0,686	0,722	0,758	0,794	0,538	0,567	0,595	0,623
P Disp. %	0,375	0,394	0,414	0,434	0,320	0,337	0,354	0,371	0,251	0,264	0,277	0,290
Ca/P Disp. %	2,130	2,130	2,130	2,130	2,141	2,141	2,141	2,141	2,147	2,147	2,147	2,147
Potássio%	0,824	0,833	0,795	0,816	0,802	0,816	0,706	0,696	0,645	0,680	0,674	0,672
Sódio%	0,204	0,208	0,217	0,227	0,193	0,200	0,200	0,210	0,174	0,175	0,184	0,193
Cloro%	0,353	0,366	0,346	0,381	0,316	0,339	0,239	0,245	0,145	0,178	0,186	0,198
Lisina Dig%	1,137	1,197	1,257	1,317	1,023	1,077	1,131	1,185	0,882	0,929	0,975	1,021
Met. Dig%	0,559	0,581	0,625	0,655	0,464	0,497	0,523	0,533	0,425	0,447	0,464	0,490
Met+ Cis Dig%	0,850	0,877	0,938	0,980	0,747	0,787	0,826	0,865	0,662	0,697	0,718	0,755
Treonina Dig. %	0,739	0,778	0,817	0,856	0,706	0,719	0,735	0,781	0,574	0,604	0,634	0,664
Triptofano Dig%	0,240	0,241	0,240	0,252	0,232	0,235	0,213	0,222	0,180	0,190	0,187	0,193
Arginina Dig%	1,349	1,359	1,358	1,423	1,308	1,325	1,221	1,279	1,027	1,081	1,072	1,103
K+Na-Cl mEq	200,00	200,0	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
(K+Cl) /Na mEq	3,500	3,500	3,188	3,201	3,500	3,500	2,852	2,710	2,718	2,936	2,807	2,714

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Tabela 4** – Composição nutricional das rações do experimento II (fêmeas) segundo o tratamento e fase de criação.

EM Aves kcal/kg	inicial				crescimento				terminação			
	2850	3000	3150	3300	2850	3000	3150	3300	2850	3000	3150	3300
PB %	21,146	21,558	22,692	23,761	20,486	20,922	21,488	23,478	16,780	17,660	17,915	18,760
Cálcio%	0,798	0,840	0,882	0,924	0,686	0,722	0,758	0,794	0,538	0,567	0,595	0,623
P Disp. %	0,375	0,394	0,414	0,434	0,320	0,337	0,354	0,371	0,251	0,264	0,277	0,290
Ca/P Disp. %	2,130	2,130	2,130	2,130	2,141	2,141	2,141	2,141	2,147	2,147	2,147	2,147
Potássio%	0,824	0,833	0,795	0,816	0,802	0,816	0,706	0,696	0,645	0,680	0,674	0,672
Sódio%	0,204	0,208	0,217	0,227	0,193	0,200	0,200	0,210	0,174	0,175	0,184	0,193
Cloro%	0,353	0,366	0,346	0,381	0,316	0,339	0,239	0,245	0,145	0,178	0,186	0,198
Lisina Dig.%	1,137	1,197	1,257	1,317	1,023	1,077	1,131	1,185	0,882	0,929	0,975	1,021
Met. Dig.%	0,559	0,581	0,625	0,655	0,464	0,497	0,523	0,533	0,425	0,447	0,464	0,490
Met.+ Cis Dig.%	0,850	0,877	0,938	0,980	0,747	0,787	0,826	0,865	0,662	0,697	0,718	0,755
Treonina Dig. %	0,739	0,778	0,817	0,856	0,706	0,719	0,735	0,781	0,574	0,604	0,634	0,664
Triptofano Dig.%	0,240	0,241	0,240	0,252	0,232	0,235	0,213	0,222	0,180	0,190	0,187	0,193
Arginina Dig. %	1,349	1,359	1,358	1,423	1,308	1,325	1,221	1,279	1,027	1,081	1,072	1,103
K+Na-Cl mEq	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
(K+Cl)/Na mEq	3,500	3,500	3,188	3,201	3,500	3,500	2,852	2,710	2,718	2,936	2,807	2,714

Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 3.4 AVALIAÇÕES

### 3.4.1 Desempenho das aves

As aves foram avaliadas através de seu ganho de peso corporal, consumo de ração e índice de conversão alimentar. O ganho de peso (g/ave/período) e o consumo de ração (g/ave/período) foram verificados através da pesagem das aves por parcela experimental, e dos comedouros com a ração não consumida no período, aos 8°, 15°, 22°, 29°, 36°, 43°, 50° e 57° 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 as aves que morreram e a ração por elas consumida entre os intervalos de pesagem para correção.

### 3.4.2 Gordura abdominal, rendimento de carcaça, peito e coxa com sobrecoxa

Para coleta dos dados referente as partes, foram sacrificadas 14 aves por tratamento (2 aves por repetição), com peso semelhante ao peso médio de cada parcela experimental. Foram calculados o percentual de gordura abdominal e o rendimento de carcaça, e aferidos os pesos para coxa com sobrecoxa e filé de peito.

### 3.4.3 Análise dos dados

Os resultados foram submetidos à análise de variância para verificar os efeitos dos tratamentos e posteriormente, segundo os procedimentos do PROC GLM do sistema SAS (2009).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao peso vivo e ao consumo das aves dos experimentos I e II, vale ressaltar que ao manter a mesma taxa nutricional, a proporção de energia e os demais nutrientes continuam constantes (Energia Ideal). Por isso, nos quatro níveis energéticos avaliados (2850, 3000, 3150 e 3300 kcal/kg), houve sim um significativo impacto no consumo em todos os períodos, entretanto o peso vivo foi semelhante entre eles ( $P>0,05$ ) em todas as fases.

Os resultados para as médias do peso vivo e para o consumo acumulado de ração realizados semanalmente referente aos experimentos I e II são apresentados nas tabelas 3, 4, 5 e 6, e as respectivas curvas nas figuras 3, 4, 5 e 6.

Uma observação em relação as respostas para o consumo, é o fato de que dependendo da densidade nutricional da dieta, mesmo havendo a necessidade de uma maior ingestão de alimento para atender as necessidades de nutrientes (dietas de menor densidade), há um limite fisiológico para a ingestão de ração, ou seja, apenas quando fornecemos uma ração peletizada, em que há maior quantidade de nutrientes em relação ao volume de ração, as aves conseguem ingerir o suficiente para manter seu desempenho.

**Tabela 5** - Médias dos pesos das aves do experimento I (machos).

<b>Energia</b>	<b>Dia</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Pr &gt; 0,05</b>	<b>Des. Pad</b>
2850	1	7	43,626	a	0,33
3000	1	7	43,434	a	0,63
3150	1	7	43,493	a	1,35
3300	1	7	43,632	a	1,12
2850	8	7	236,651	a	8,68
3000	8	7	240,285	a	6,52
3150	8	7	237,891	a	6,46
3300	8	7	237,936	a	7,00
2850	15	7	683,933	a	15,81
3000	15	7	687,434	a	10,97
3150	15	7	675,511	a	18,36
3300	15	7	681,717	a	9,10
2850	22	7	1362,299	a	42,22
3000	22	7	1339,525	a	51,22
3150	22	7	1348,233	a	51,86
3300	22	7	1356,538	a	10,19
2850	29	7	2168,764	a	52,27
3000	29	7	2142,855	a	63,38
3150	29	7	2156,426	a	72,58
3300	29	7	2195,890	a	44,09
2850	36	7	3017,433	a	94,77
3000	36	7	2966,955	a	112,63
3150	36	7	3021,849	a	82,52
3300	36	7	3072,598	a	78,86
2850	43	7	3704,047	a	151,50
3000	43	7	3642,815	a	96,24
3150	43	7	3753,128	a	114,18
3300	43	7	3703,877	a	101,61
2850	50	7	4566,766	a	175,32
3000	50	7	4436,358	a	201,99
3150	50	7	4618,036	a	48,54
3300	50	7	4600,887	a	88,90
2850	56	7	5005,000	a	263,89
3000	56	7	5027,143	a	131,68
3150	56	7	5116,786	a	105,48
3300	56	7	5133,214	a	139,85

Fonte: Elaboração do próprio autor.

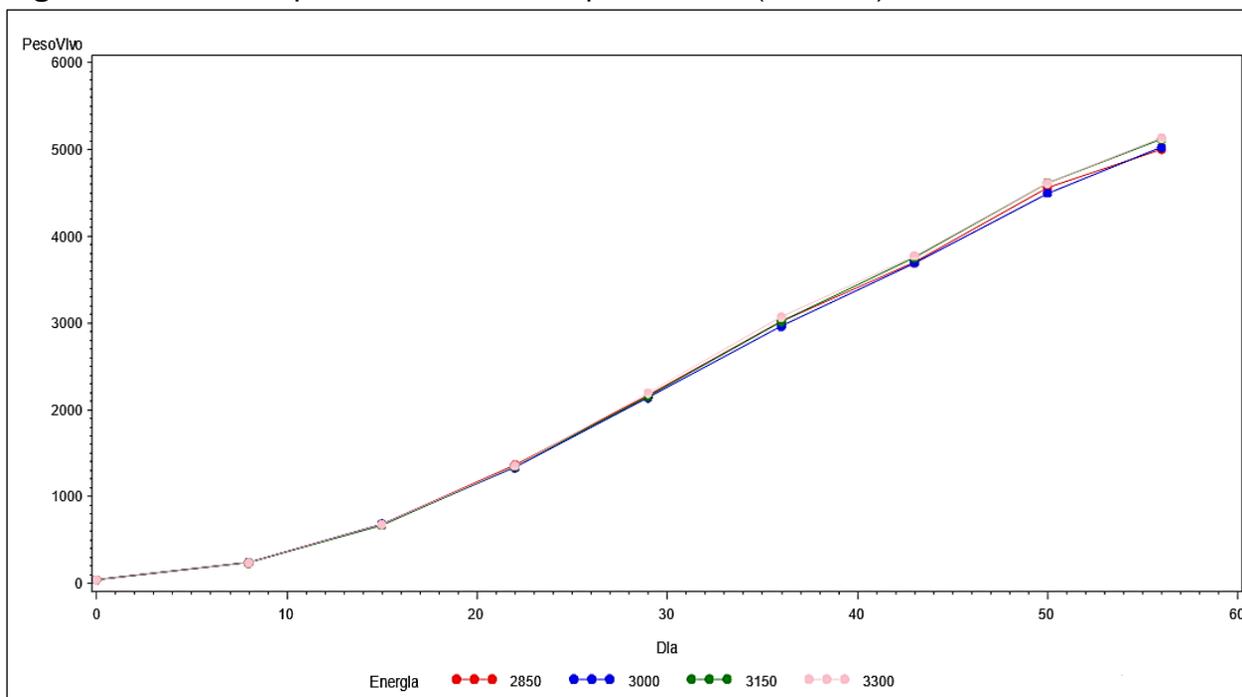
\* Valores seguidos da mesma letra e no mesmo período não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

**Tabela 6** - Consumo de ração das aves do experimento I (machos).

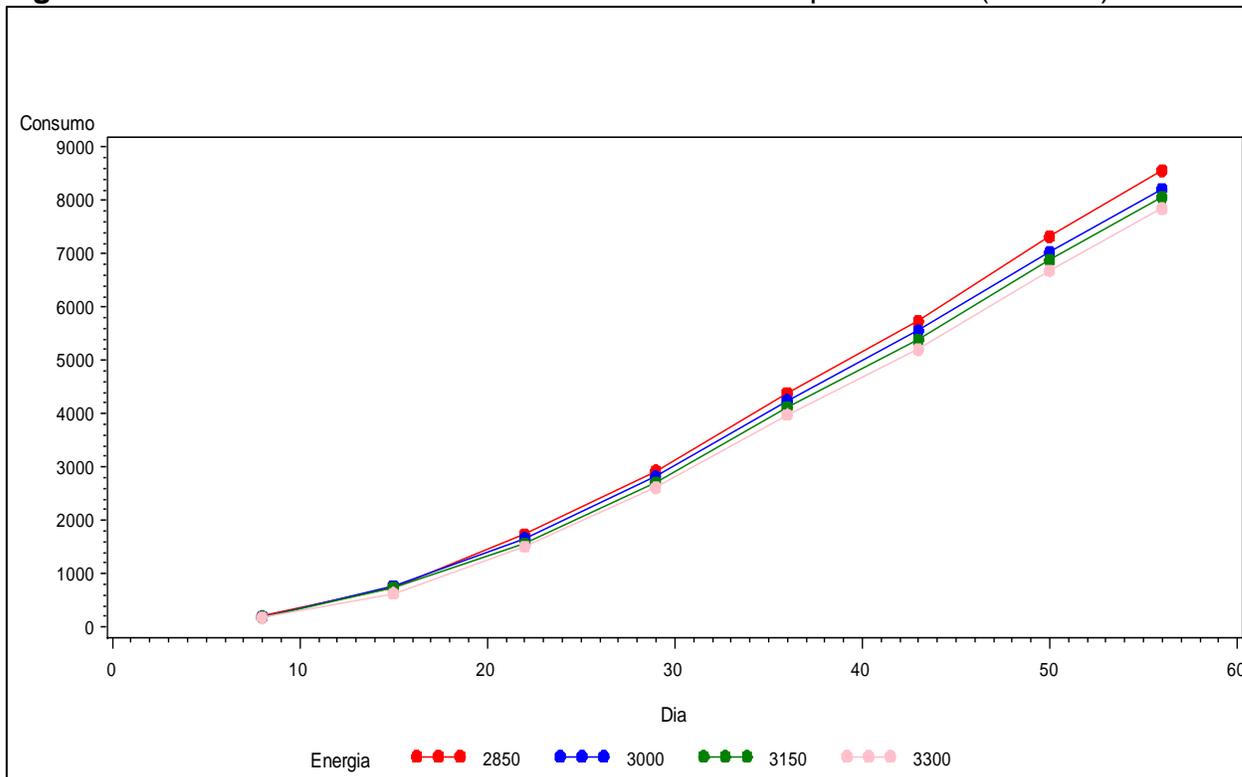
<b>Energia</b>	<b>Dia</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Pr&gt;0,05</b>	<b>Des. Pad.</b>
2850	8	7	197,56	a	2,3143
3000	8	7	196,35	a	7,0874
3150	8	7	193,08	a	6,3728
3300	8	7	185,79	b	7,2392
2850	15	7	743,43	a	22,9366
3000	15	7	774,78	a	27,2345
3150	15	7	744,50	a	55,5178
3300	15	7	633,74	b	36,9153
2850	22	7	1738,30	a	27,4969
3000	22	7	1664,30	b	35,9002
3150	22	7	1565,80	c	35,1840
3300	22	7	1514,20	d	12,8470
2850	29	7	2932,30	a	30,2672
3000	29	7	2821,60	b	69,6495
3150	29	7	2717,20	c	78,7288
3300	29	7	2624,80	d	35,3959
2850	36	7	4393,10	a	43,0805
3000	36	7	4253,40	b	102,7117
3150	36	7	4129,50	c	154,3205
3300	36	7	3987,40	d	60,6220
2850	43	7	5739,20	a	66,6952
3000	43	7	5554,90	b	186,9046
3150	43	7	5391,30	b	250,3032
3300	43	7	5209,00	c	44,4840
2850	50	7	7330,70	a	126,0726
3000	50	7	7030,80	b	271,2353
3150	50	7	6888,20	bc	378,1734
3300	50	7	6692,40	c	66,7747
2850	56	7	8568,50	a	150,8109
3000	56	7	8218,50	b	322,7607
3150	56	7	8062,20	bc	418,1098
3300	56	7	7850,40	c	84,0236

Fonte: Elaboração do próprio autor.

\* Valores seguidos da mesma letra e no mesmo período não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

**Figura 3** - Curva de peso das aves do experimento I (machos).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 4** - Curva do consumo acumulado das aves do experimento I (machos).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Tabela 7** – Média dos pesos das aves do experimento II (fêmeas).

<b>Energia</b>	<b>Dia</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Pr &gt; 0,05</b>	<b>Des. Pad.</b>
2850	1	7	38,84	a	1,09
3000	1	7	38,71	a	0,81
3150	1	7	38,91	a	0,76
3300	1	7	38,57	a	1,20
2850	8	7	172,82	a	5,16
3000	8	7	169,13	a	8,34
3150	8	7	172,93	a	10,32
3300	8	7	173,45	a	6,27
2850	15	7	503,70	a	14,70
3000	15	7	506,27	a	12,61
3150	15	7	510,50	a	12,95
3300	15	7	506,52	a	9,81
2850	22	7	1029,33	a	30,95
3000	22	7	1042,78	a	20,34
3150	22	7	1048,92	a	20,39
3300	22	7	1039,25	a	10,23
2850	29	7	1673,29	a	25,74
3000	29	7	1683,43	a	18,88
3150	29	7	1693,88	a	43,45
3300	29	7	1664,37	a	32,23
2850	36	7	2401,72	a	41,32
3000	36	7	2400,00	a	31,74
3150	36	7	2383,80	a	88,19
3300	36	7	2389,44	a	55,25
2850	43	7	3019,32	a	98,05
3000	43	7	3011,15	a	50,63
3150	43	7	3002,47	a	70,41
3300	43	7	3023,00	a	138,64
2850	50	7	3619,74	a	146,45
3000	50	7	3570,65	a	52,11
3150	50	7	3580,70	a	87,91
3300	50	7	3578,04	a	118,55
2850	56	7	4125,27	a	150,32
3000	56	7	4146,48	a	55,83
3150	56	7	4121,17	a	176,35
3300	56	7	4083,23	a	170,42

Fonte: Elaboração do próprio autor.

\* Valores seguidos da mesma letra e no mesmo período não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

Em relação ao experimento II (fêmeas), as respostas foram muito semelhantes, havendo uma maior diferença em relação ao consumo quando comparado as respostas do experimento I.

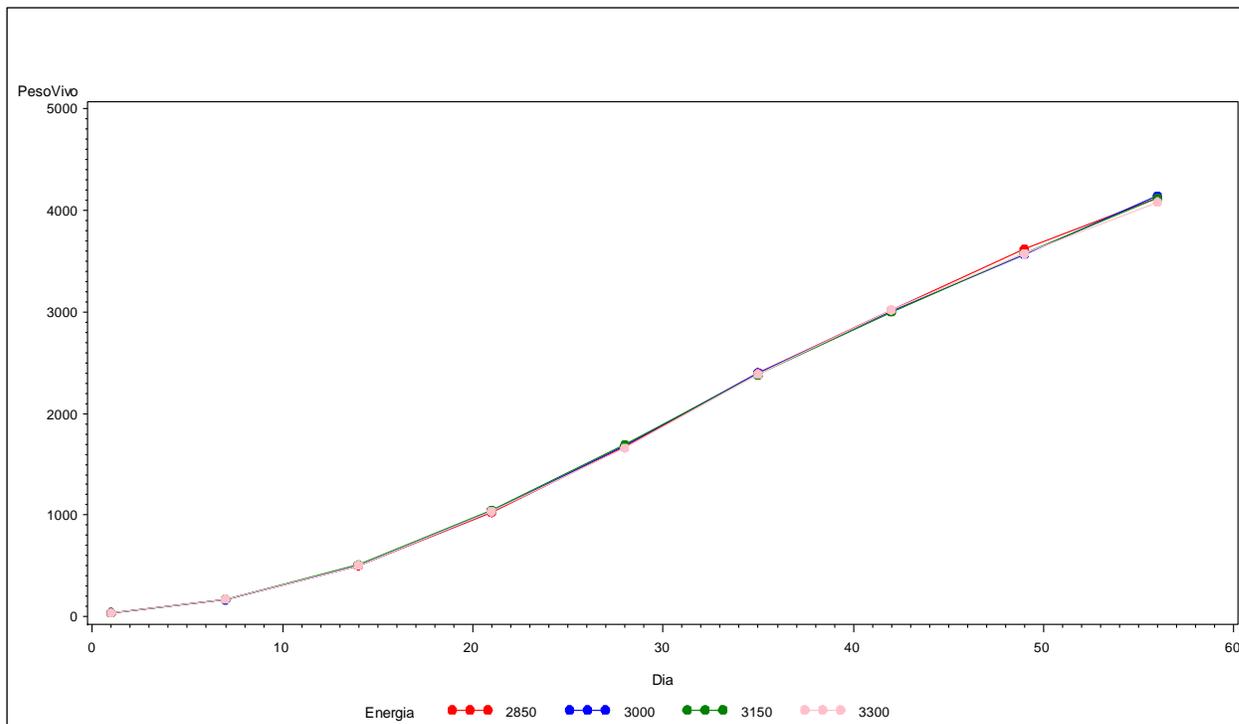
**Tabela 8** - Consumo de ração das aves do experimento II (fêmeas).

<b>Energia</b>	<b>Dia</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Pr&gt;0,05</b>	<b>Des. Pad.</b>
2850	8	7	157,02	a	6,5354
3000	8	7	150,87	ab	5,4475
3150	8	7	146,43	bc	7,8970
3300	8	7	138,99	c	7,8652
2850	15	7	676,05	a	59,9267
3000	15	7	628,54	b	34,4333
3150	15	7	601,24	b	13,5797
3300	15	7	557,27	c	24,9129
2850	22	7	1614,40	a	52,3284
3000	22	7	1551,78	b	42,3812
3150	22	7	1517,54	b	28,5601
3300	22	7	1426,75	c	51,2921
2850	29	7	2706,08	a	64,8237
3000	29	7	2591,93	b	55,9823
3150	29	7	2541,69	b	70,6388
3300	29	7	2370,45	c	86,9390
2850	36	7	4083,50	a	75,5645
3000	36	7	3899,50	b	85,9310
3150	36	7	3807,54	b	118,0737
3300	36	7	3573,56	c	125,3684
2850	43	7	5257,73	a	127,0638
3000	43	7	5005,82	b	128,3964
3150	43	7	4853,02	b	135,7488
3300	43	7	4584,28	c	164,1290
2850	50	7	6751,17	a	182,3660
3000	50	7	6421,27	b	157,0218
3150	50	7	6223,04	b	158,0367
3300	50	7	5926,99	c	229,9418
2850	57	7	7928,30	a	233,1228
3000	57	7	7533,28	b	191,2821
3150	57	7	7269,90	c	211,1711
3300	57	7	6926,73	d	295,8456

Fonte: Elaboração do próprio autor.

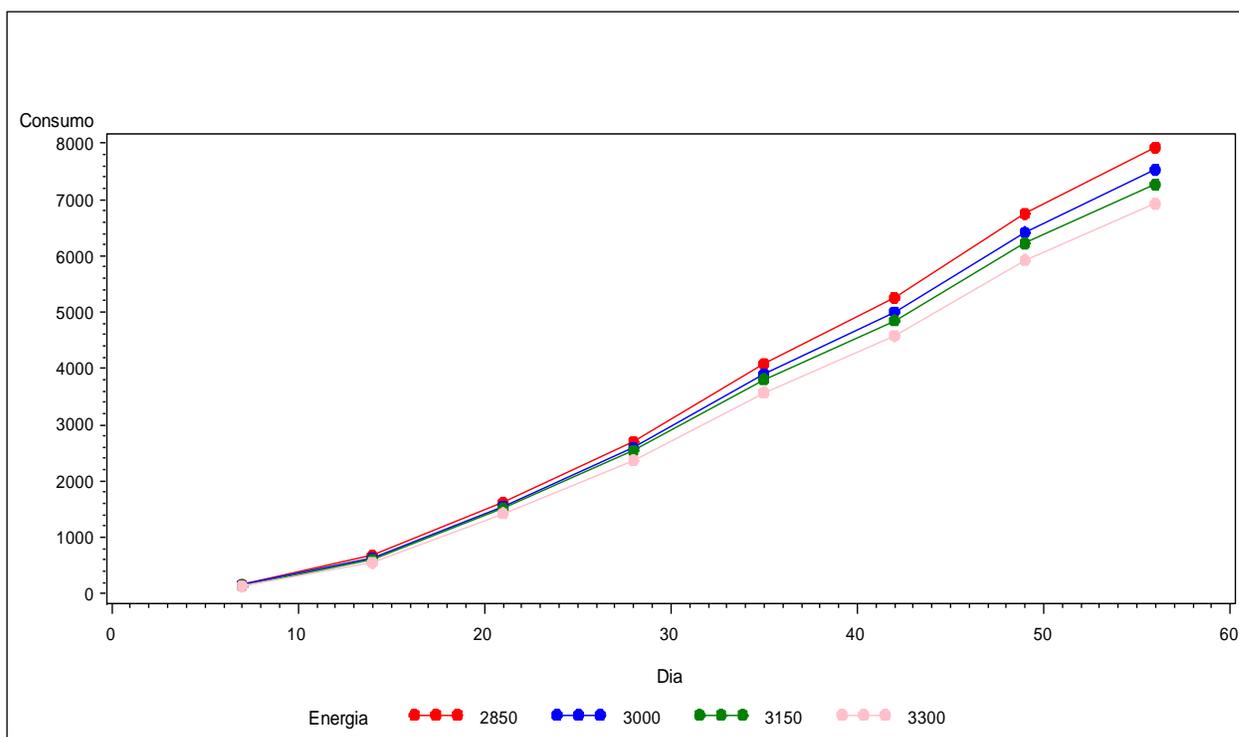
\* Valores seguidos da mesma letra e no mesmo período não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

**Figura 5** - Curva de peso das aves do experimento II (fêmeas).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 6** - Curva do consumo acumulado das aves do experimento II (fêmeas).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para o peso vivo e, rendimento e peso de carcaça, com poucas exceções em alguns períodos, se mantêm o mesmo comportamento em relação ao teor energético da dieta (densidade nutricional) em ambos os experimentos (I machos e II fêmeas), ou seja, o consumo compensou a menor densidade nutricional sem prejuízo ao desempenho, mesmo no tratamento de menor densidade nutricional (2850 kcal/kg).

Enfatizando, que apenas rações que passaram por processamentos, como peletização ou extrusão, possibilitam a correção da ingestão de nutrientes através do consumo (quanto menor a densidade nutricional maior será a ingestão), de forma que rações fareladas por serem menos densas nutricionalmente, podem alcançar o limite de ingestão das aves antes de terem consumido nutrientes suficientes para atender suas exigências.

Dessa forma, a supressão do apetite das aves foi afetada diretamente pela densidade nutricional da dieta, pois tanto os machos como as fêmeas no presente experimento, consumiram ração não apenas para saciar o apetite, mas também para atender suas necessidades de nutrientes, viabilizando seu potencial máximo de crescimento, segundo as distintas densidades nutricionais avaliadas.

A conversão alimentar foi calculada para cada repetição dos tratamentos, e posteriormente realizada as médias pelo programa de análise SAS, os valores são apresentados nas tabelas 7 (machos) e 8 (fêmeas).

**Tabela 9** – Conversão alimentar aves do experimento I (machos).

Energia	Dia	N	Média
2850	8	7	0,8856
3000	8	7	0,7869
3150	8	7	0,8116
3300	8	7	0,7807
2850	15	7	0,9932
3000	15	7	1,0096
3150	15	7	1,1017
3300	15	7	0,9302
2850	22	7	1,2281
3000	22	7	1,1817
3150	22	7	1,1621
3300	22	7	1,1163
2850	29	7	1,4414
3000	29	7	1,4461
3150	29	7	1,3997
3300	29	7	1,3816
2850	36	7	1,5249
3000	36	7	1,5344
3150	36	7	1,4715
3300	36	7	1,439
2850	43	7	1,6083
3000	43	7	1,5863
3150	43	7	1,5249
3300	43	7	1,5005
2850	50	7	1,6574
3000	50	7	1,6397
3150	50	7	1,5689
3300	50	7	1,5564
2850	56	7	1,8002
3000	56	7	1,7625
3150	56	7	1,7274
3300	56	7	1,6694

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Tabela 10** - Conversão alimentar das aves do experimento II (fêmeas).

Energia	Dia	N	Média
2850	8	7	0,8357
3000	8	7	0,8175
3150	8	7	0,8116
3300	8	7	0,7807
2850	15	7	1,0876
3000	15	7	1,1269
3150	15	7	1,1017
3300	15	7	0,9302
2850	22	7	1,2769
3000	22	7	1,2441
3150	22	7	1,1621
3300	22	7	1,1163
2850	29	7	1,3528
3000	29	7	1,3181
3150	29	7	1,2604
3300	29	7	1,1956
2850	36	7	1,4569
3000	36	7	1,4359
3150	36	7	1,3664
3300	36	7	1,2982
2850	43	7	1,5517
3000	43	7	1,5035
3150	43	7	1,4367
3300	43	7	1,3805
2850	50	7	1,6077
3000	50	7	1,566
3150	50	7	1,4916
3300	50	7	1,451
2850	56	7	1,7159
3000	56	7	1,6351
3150	56	7	1,5755
3300	56	7	1,5302

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As respostas para as variáveis de produção dos frangos de corte segundo a idade e o teor energético da dieta, entendido aqui como “densidade nutricional”, terá sempre duas entradas para definir a função quadrática, segundo a equação:

$$Y = f (I, E) = a_1 + a_2 I + a_3 E + a_4 I^2 + a_5 E^2 + a_6 I * E$$

**Y** = resposta para variável em estudo;

**I** = idade em dias;

**E** = energia em Mcal/kg;

**a<sub>1</sub>** = valor do intercepto da função;

**a<sub>2</sub>** e **a<sub>3</sub>** = valor dos parâmetros para idade e energia respectivamente;

**a<sub>4</sub>** e **a<sub>5</sub>** = valores dos parâmetros quadráticos para idade e energia respectivamente;

**a<sub>6</sub>** = valor do parâmetro interação entre idade e energia.

Onde, nesse estudo, Y é o “output”, ou seja, o resultado de saída médio (peso corporal, consumo de ração, consumo de energia, conversão alimentar, peso de gordura abdominal, rendimento de carcaça e partes), sendo “I” e “E” a idade (dias) e o teor energético da dieta (Mcal/kg de EM), respectivamente.

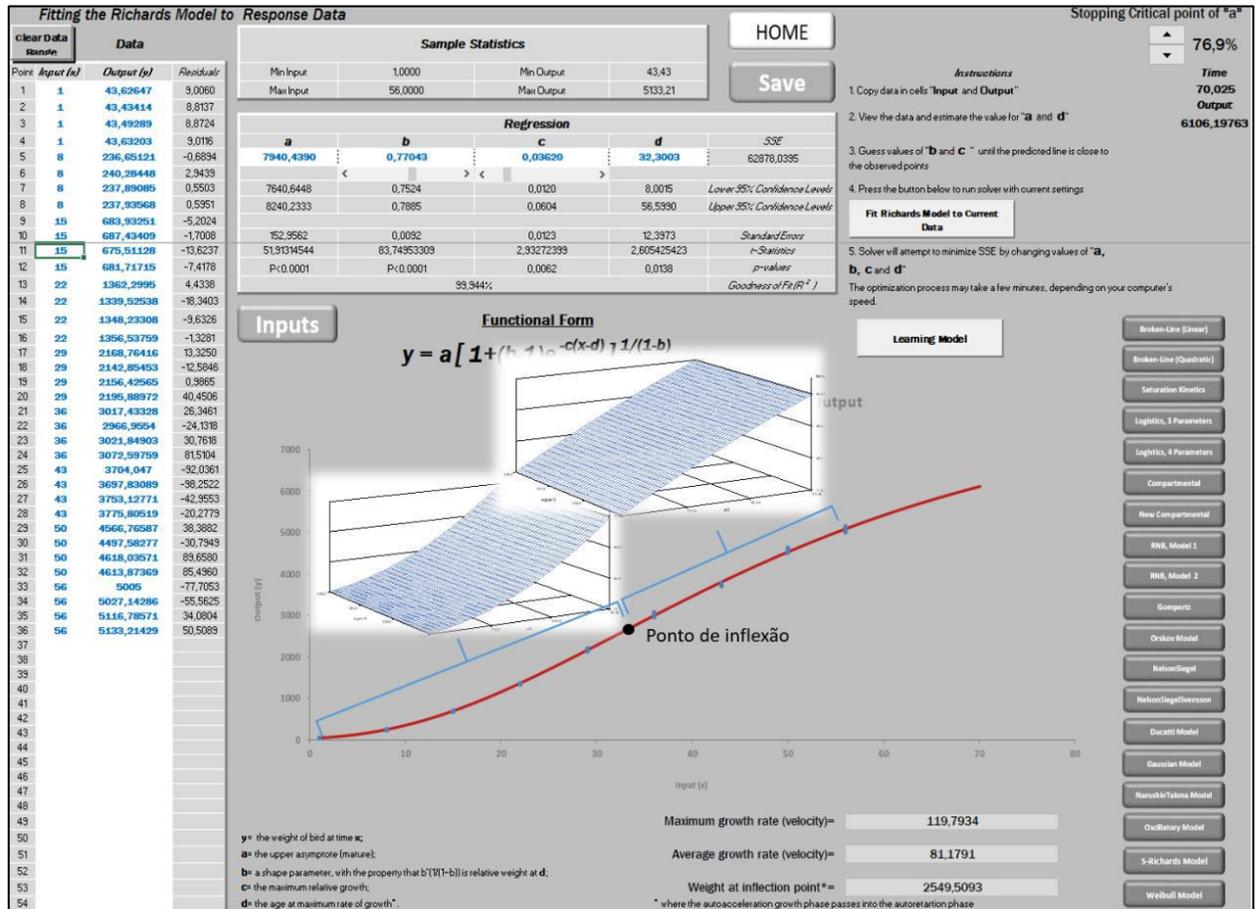
As partes **a<sub>1</sub>** referente ao intercepto, lineares **a<sub>2</sub> I** e **a<sub>3</sub> E**, quadráticas **a<sub>4</sub> I<sup>2</sup>** e **a<sub>5</sub> E<sup>2</sup>** e os possíveis efeitos de interações **a<sub>6</sub> I \* E**, dessas respostas de produção seguem à lei dos rendimentos decrescentes para a idade e para o teor energético (Inputs).

Devido a impossibilidade da ferramenta utilizada (SAS) gerar superfícies de respostas completas para o crescimento de animais que apresentam formato sigmoide, ou seja, é possível determinar apenas a parte crescente (côncava) ou decrescente (convexa) da curva de cada vez, foi necessário gerar duas superfícies de respostas para cada variável e posteriormente fazer a junção das partes côncava e convexa.

Para determinar o ponto de junção das superfícies foi utilizado o modelo de Richards, o qual não possui seu ponto de inflexão fixo, o que permite ao programa defini-

lo, sendo a idade encontrada pelo PPM no ponto de inflexão considerada como parâmetro para união das curvas.

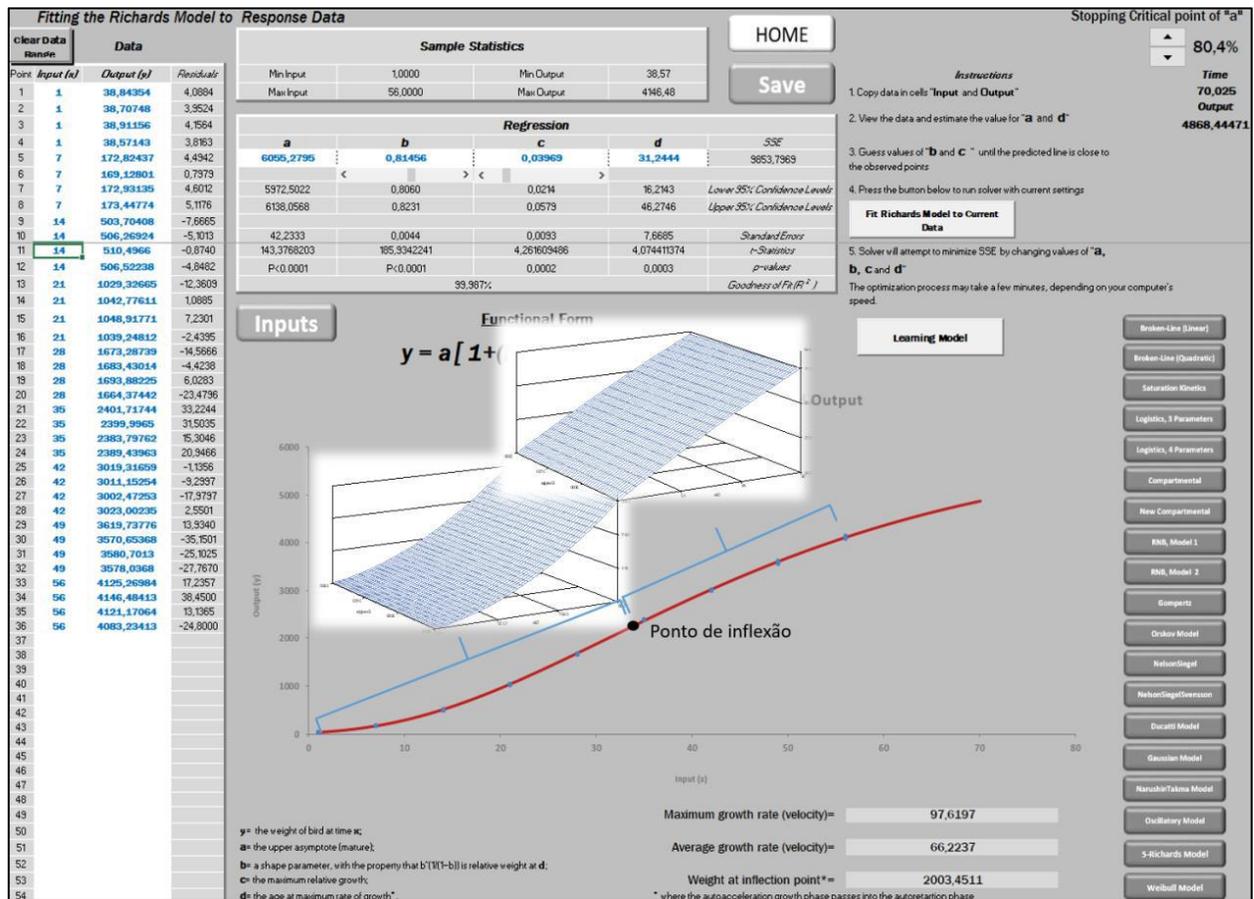
**Figura 7** - Ponto de inflexão definido pelo PPM, determinando a junção da superfície de resposta com o modelo de Richards para o experimento I (machos).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O ponto de inflexão em curvas de crescimento, refere-se ao ponto em que a curva deixa de ser ascendente e passa a ter comportamento descendente, no caso de aves de corte, será o ponto onde houve maior deposição de massa, ou seja, o ponto em que se teve maior velocidade de crescimento.

**Figura 8** - Ponto de inflexão definido pelo PPM, determinando a junção da superfície de resposta com modelo de Richards para o experimento II (fêmeas)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A planilha PPM determinou o ponto de inflexão como sendo 32,3 dias para os machos e 31,2 dias para as fêmeas, com ajustes para o coeficiente de determinação de 99,94% e 99,99% respectivamente.

A união das curvas foi realizada através do recurso "SE" da planilha Excel. Assim, se os cálculos realizados pelo PPFPR forem referentes ao período anterior ao ponto de inflexão (até 32,3 dias de idade), a equação utilizada será referente a esse período, se a idade para a qual está sendo formulada a dieta for posterior a ele, o programa utilizara a outra equação determinada para parte decrescente da curva de crescimento.

Assim, combinando os dados das superfícies de resposta foi possível prever os valores para as variáveis de acordo com a idade (dias) e o teor energético da dieta (kcal/kg).

**Tabela 11** – Respostas do SAS para os parâmetros da equação de superfície de respostas para o experimento I (machos).

Parâmetro	1 a 36 dias		36 a 57 dias	
	Estimativa	Pr >  t	Estimativa	Pr >  t
<b>Intercepto</b>	-385,570069	0,9182	1264,331049	0,8782
<b>Dia</b>	39,531144	0,0228	76,325794	0,2118
<b>Energia</b>	0,136954	0,9552	-0,315736	0,9517
<b>Dia*Dia</b>	3,60602	<,0001	2,274222	<,0001
<b>Energia*Dia</b>	-0,013353	0,0138	-0,022719	0,1325
<b>Energia*Energia</b>	0,000009818	0,9802	0,000108	0,8972

Fonte: Elaboração do próprio autor.

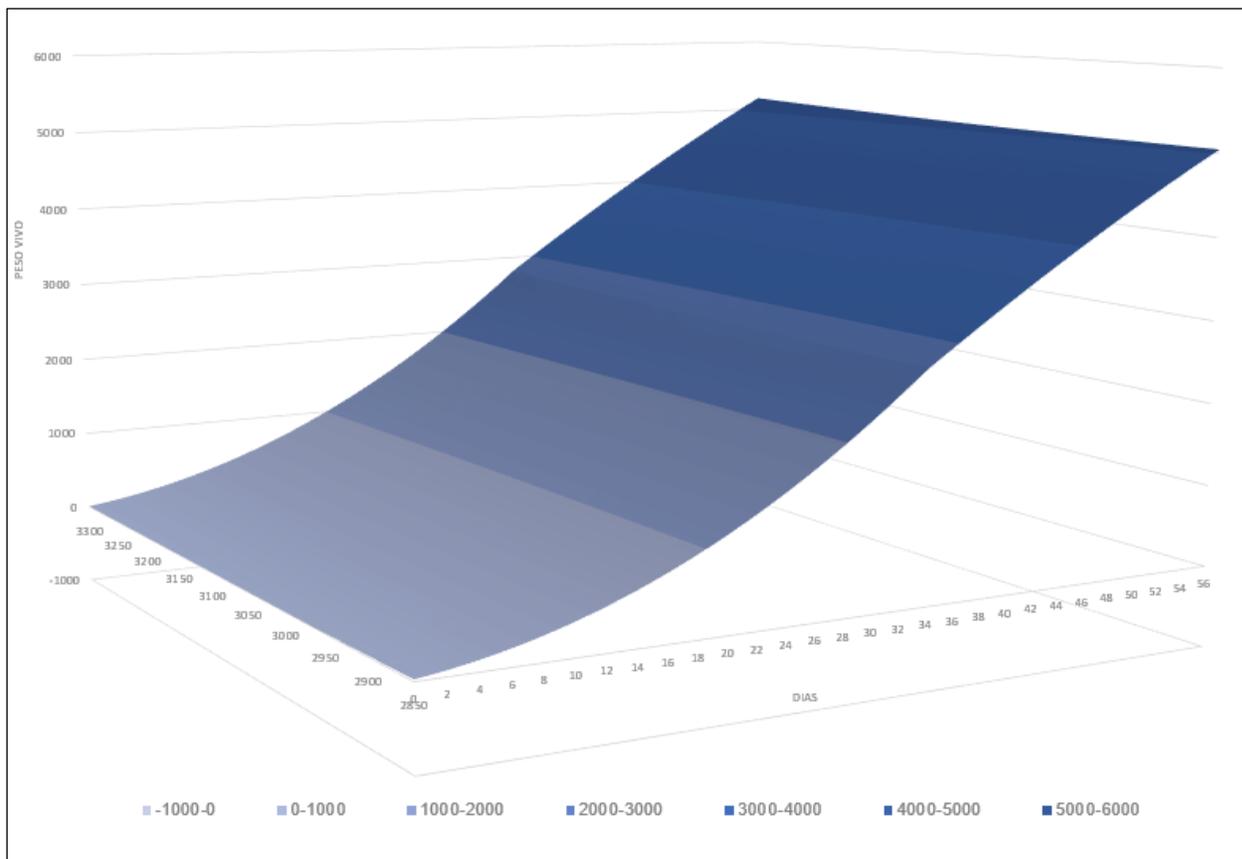
**Tabela 12** – Respostas do SAS para os parâmetros da equação de superfície de respostas para o experimento II (fêmeas).

Parâmetro	1 a 36 dias		36 a 57 dias	
	Estimativa	Pr >  t	Estimativa	Pr >  t
<b>Intercepto</b>	-3780,97266	0,1436	-4017,63886	0,5935
<b>Dia</b>	136,998934	<,0001	332,561134	<,0001
<b>Energia</b>	2,081978	0,2146	0,410839	0,9313
<b>Dia*Dia</b>	2,558532	<,0001	-0,001278	0,9971
<b>Energia*Dia</b>	-0,03619	<,0001	-0,051778	0,0001
<b>Energia*Energia</b>	-0,000296	0,2776	0,000052479	0,9456

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação aos parâmetros determinados pela regressão que definem as superfícies de respostas, devido as datas das coletas de dados, foram aproximados para as idades, pois a idade mais próxima ao ponto de inflexão determinado pelo modelo de Richards, o qual consideramos o ponto de junção para as superfícies de respostas foi no 36º dia de idade. Assim os dados para as variáveis estudadas, foram divididos de 1 a 36 dias (parte côncava) e de 36 a 57 dias (parte convexa) para ambos experimentos.

**Figura 9** – Superfície de resposta gerada com dados do experimento I (machos).



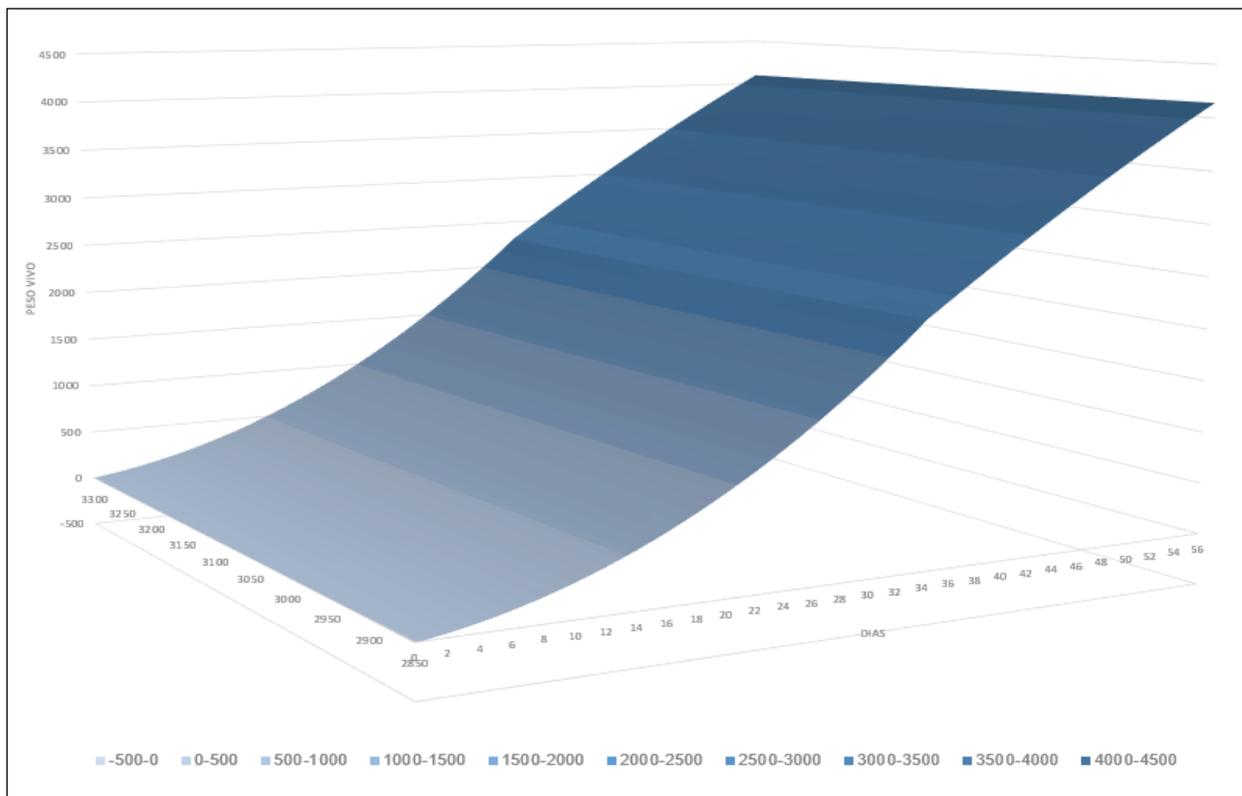
Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 10** – Predição das variáveis para 15 e 42 dias de idade com densidade energética de 3150 kcal/kg de ração referente aos dados do experimento I (machos).

Dia: 15		3150 kcal/kg		Dia: 42		3150 kcal/kg	
gramas		gramas		gramas		gramas	
Peso vivo =	729,138	Peso vivo =	3.677,985	Peso vivo =	3.677,985	Peso vivo =	3.677,985
Consumo =	696,541	Consumo =	6.016,698	Consumo =	6.016,698	Consumo =	6.016,698
Conversão (kg/kg) =	1,073	Conversão (kg/kg) =	1,672	Conversão (kg/kg) =	1,672	Conversão (kg/kg) =	1,672
Gordura abdominal =	6,411	Gordura abdominal =	30,574	Gordura abdominal =	30,574	Gordura abdominal =	30,574
Peso Carcaça =	465,279	Peso Carcaça =	2.690,550	Peso Carcaça =	2.690,550	Peso Carcaça =	2.690,550
Peito =	141,947	Peito =	978,047	Peito =	978,047	Peito =	978,047
Coxa+sobrecoxa =	146,423	Coxa+sobrecoxa =	795,647	Coxa+sobrecoxa =	795,647	Coxa+sobrecoxa =	795,647

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 11** – Superfície de resposta gerada com dados do experimento II (fêmeas).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 12** – Predição das variáveis para 15 e 42 dias de idade com densidade energética de 3150 kcal/kg de ração referente aos dados do experimento II (fêmeas).

Dia: 15		3150 kcal/kg	Dia: 42		3150 kcal/kg
gramas			gramas		
Peso vivo =	621,591		Peso vivo =	3.008,714	
Consumo =	760,874		Consumo =	4.912,311	
Conversão (kg/kg) =	1,405		Conversão (kg/kg) =	1,677	
Gordura abdominal =	5,297		Gordura abdominal =	43,086	
Peso Carcaça =	370,285		Peso Carcaça =	2.192,134	
Peito =	110,819		Peito =	858,663	
Coxa+sobrecoxa =	111,599		Coxa+sobrecoxa =	601,292	

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Como constatado nos experimentos, quantidades variáveis na Energia Ideal (2850 a 3300 kcal/kg) permitem obter aves com peso vivo e de carcaça semelhantes. Podemos afirmar que o PFR para frangos permite obter com antecedência o peso de machos e fêmeas baseado na energia ideal, informando qual a melhor combinação nutricional e de ingredientes para um peso previamente estabelecido com maximização do lucro, ao formular dietas que satisfaçam os requisitos nutricionais conforme as tabelas brasileiras para aves e suínos.

## 5 CONCLUSÃO

A metodologia de cálculos e otimização de resultados utilizando o Solver, se mostrou uma técnica eficiente e prática para otimização e modelagem dos dados nesta pesquisa, permitindo ao programa de formulação encontrar na malha gerada pela superfície de respostas valores de produção, e definindo assim qual melhor densidade energética da dieta para cada cenário específico.

Foi comprovado que taxa de crescimento é definida pelo teor energético de uma ração, quando mantida a relação entre energia e os nutrientes da dieta, permitindo ajustes de modelagem segundo a variação da energia e a velocidade de crescimento para formulações de ração de lucro máximo.

As aves de corte são capazes de regular o consumo de ração de acordo com a densidade nutricional dieta, ou seja, há um maior consumo de ração em dietas com baixa densidade energética, e menor consumo de dietas com densidade elevada, mostrando que a energia é o parâmetro para determinar a inclusão de todos os nutrientes de uma dieta.

## REFERÊNCIAS

ABADIE, J.; CARPENTIER, J. Généralisation de la méthode du gradient réduit de GRAVES, R. L.; WOLFE, P. **Recent advances in mathematical programming**. 1963.

ABADIE, J.; HAGGAG, A. Brève communication. Performance du gradient réduit généralisé avec une méthode quasi newtonienne pour la programmation non linéaire. **Operations Research**, v. 13, n. 2, p. 209-216, 1979.

ANFLOR, C. T. M. Otimização evolucionária e topológica em problemas governados pela equação de poisson empregando o método dos elementos de contorno . 2007. 138 p. **Tese (Doutorado em engenharia mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2008.

BARROS-NETO, B.; SCARMINIO, S.; BRUNS, R. E. **Como Fazer Experimentos-: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria**. Bookman Editora, 2010.

BELLAVER, C.; NONES, K. A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. **Simpósio Goiano de Avicultura**, v. 4, p. 59-78, 2000.

BIRCH, C. P. D. A new generalized logistic sigmoid growth equation compared with the Richards growth equation. **Annals of Botany**, v. 83, n. 6, p. 713-723, 1999.

BOGHI, C.; SHITSUKA, R. **Aplicações Práticas com Microsoft Office Excel 2003 / Solver - Ferramentas computacionais para a tomada de decisão**. São Paulo: Ética, 1º edição, p. 264 2005.

BRACCINI NETO, J. et al. Análise de curvas de crescimento de aves de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 25, n. 6, p. 1062-1073, 1996.

CERRATE, S.; WALDROUP, P. Maximum Profit Feed Formulation of Broilers: Development of a Feeding Program Model to Predict Profitability Using non Linear Programming. **International Journal of Poultry Science**, v.8, p.205-215, 2009a

CERRATE, S.; WALDROUP, P. Maximum Profit Feed Formulation of Broilers: 2. Comparison among Different Nutritional Models. **International Journal of Poultry Science** v.8, p216-228, 2009b.

COLIN, E.C. **Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. 1º. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 2007. 524 p.

COWIESON, A. J.; RAVINDRAN, V. Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. **British poultry science**, v. 49, n. 1, p. 37-44, 2008.

CROMWELL, G. L. et al. Efficacy of a recombinant-derived phytase in improving the bioavailability of phosphorus in corn-soybean meal diets for pigs. **Journal of animal science**, v. 73, n. 7, p. 2000-2008, 1995.

DARMANI K.; H.; KEBREAB, E.; FRANCE, J. Application of the law of diminishing returns to partitioning metabolizable energy and crude protein intake between maintenance and growth in egg-type pullets. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, n. 3, p. 540-547, 2012.

DRUMOND, E. S. C. et al. Curvas de crescimento para codornas de corte. **Ciência rural**, v. 43, n. 10, p. 1872-1877, 2013.

DUARTE, K.F.; JUNQUEIRA, O.M.; FILARDI, R.S.; LAURENTIZ, A.C.; CASARTELLI, E.M.; ASSUENA, V.; RIBEIRO, P.A.P. Efeito de diferentes níveis de energia e de programas de alimentação sobre o desempenho de frangos de corte abatidos tardiamente. **R. Bras. Zootec.**, v. 35, p.1992-1998, 2006.

FARIDI, A. et al. Narushin-Takma models as flexible alternatives for describing economic traits in broiler breeder flocks. **Poultry science**, v. 90, n. 2, p. 507-515, 2011.

FIGUEIREDO, E. A. P. Limites fisiológicos do melhoramento genético de aves: teoria e prática. **Proceedings of the 35th Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. SBZ-UNESP**, p. 337-353, 1998.

FRANCE, J, KEBREAB, E. **Mathematical Modelling in Animal Nutrition**. Primeira edição. CABI; 2008.

FREITAS, A. R., ALBINO L. F. T.; MICHELAN F. T., ROSSO, L. A. Modelos de curvas de crescimento em frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 1984; 19(9):1057-1064.

GARCIA-NETO, M. **Programa prático de modelagem: ontogenia e alometria**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/programapraticodemodelagem/papers>>, 2018.

GARCIA-NETO, M. PFR: **Programa Prático para Formulação e Otimização de Ração frangos de corte Programação não linear/2009**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/ppfrprogramforfeedformulation/>>. Acesso em: 18 dez. 2012.

GONÇALVES, C. A. et al. Accuracy of Nonlinear Formulation of Broiler Diets: Maximizing Profits. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 17, n. 2, p. 173-180, 2015.

GRAVES, R. L.; WOLFE, P. **Recent advances in mathematical programming**. McGraw-Hill, New York, 1963 p. 269–302.

GUEVARA, V.R. Use of Nonlinear Programming to Optimize Performance Response to Energy Density in Broiler Feed Formulation. **Poultry Science** 2004, p.147-151.

IVEY, F. J. Desenvolvimento e aplicação de modelos de crescimento para frangos de corte. **Simpósio Internacional ACAV-Embrapa Sobre Nutrição de Aves**, v. 1, p. 22-35, 1999.

KLEIN, A. A. Peletização de rações: Aspectos técnicos, custos e benefícios e inovações tecnológicas. In: **Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas**. 2009. p. 173-193.

KNÍŽETOVÁ, H. Growth curves of chickens with different type of performance. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 102, n. 1-5, p. 256-270, 1985. In: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-0388.1985.tb00694.x/epdf>

KNÍŽTOVÁ H, HYANEK, B., KNIZE, B. ROUBICEK, J. Analysis of growth curves of the fowl. I. Chickens. **British Poultry Science** 32:1027-1038; 1991a.

KNÍŽTOVÁ H., HYANEK B., KNIZE, B., ROUBICEK, J. Analysis of growth curves of the fowl. II. ducks. **British Poultry Science** 1991b; 32:1039-1053.

KOKSOY, O. YALCINOZ, T. Mean square error criteria to multiresponse process optimization by a new genetic algorithm, **Applied Mathematics and Computation**, 175, 2006, pp. 1657–1674.

KOYA, P. R.; GOSHU, A. T. Generalized mathematical model for biological growths. **Open Journal of Modelling and Simulation**, v. 1, n. 04, p. 42, 2013. In: [http://file.scirp.org/pdf/OJMSi\\_2013103111013260.pdf](http://file.scirp.org/pdf/OJMSi_2013103111013260.pdf)

LASDON, L. S.; WAREN, A. D.; RATNER, M. W. GRG2 user's guide. **School of Business Administration, University of Texas at Austin**, 1977.

LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. **Growth of farm animals**. 2.ed. Wallingford: CAB International, 2002. 346p. In: <http://www.agrifs.ir/sites/default/files/Growth%20of%20Farm%20Animals%20%20-%202nd%20Edition.pdf>

LEESON, S.; CASTON, L.; SUMMERS, J.D. Broiler responses to energy or energy and protein dilution in finisher diet. **Poult. Sci.** v.75, p.522-528, 1996.

MISCHAN, M. M. ZAMBELLO P. S. **Modelos não lineares** Conseitos Gerais. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. cap.1, p. 9-28. v. 1

MONGIN, P. Recent advances in dietary anion-cation balance: application in poultry. **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v. 40, p. 285-294, 1981.

MOORE, J.H.; WEATHERFORD, L.R. Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 643 p.

MORITZ, J. S. et al. Feed manufacture and feeding of rations with graded levels of added moisture formulated to different energy densities. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 12, n. 3, p. 371-381, 2003.

NAHASHON, S. N. et al. Growth characteristics of pearl gray guinea fowl as predicted by the Richards, Gompertz, and Logistic Models. **Poultry science**, v. 85, n. 2, p. 359-363, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 9. ed. Washington: National Academy Press, 1994. 155p.

OLIVEIRA, H. N.; LÔBO, R. B.; PEREIRA, C. S. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 1843-1851, 2000.

OVIEDO, E. O. Formulação de rações para frangos de corte com base em alvos de desempenho. **SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA**, 7., Goiânia. Anais Avesui, 2005. p.36-45.

PESTI, G. M.; VEDENOV, D. An economic comparison of several models fitted to nutritional response data. **Journal of animal science**, v. 89, n. 10, p. 3344-3349, 2011.

PORTER, T. et al. Flexible alternatives to the Gompertz equation for describing growth with age in turkey hens. **Poultry science**, v. 89, n. 2, p. 371-378, 2010.

RENZ, S.V. Comparação de sistemas de formulação lineares e não-lineares para frangos de corte. 2005. Dissertação (Mestrado), **Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2005.

RICHARDS, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Exp. Bot.* 10:290-300.

ROCHA-SILVA, M. et al. CURVA DE CRESCIMENTO DE CODORNAS DE CORTE POR MEIO DE MODELOS DE REGRESSÃO NÃO-LINEARES. **Archives of Veterinary Science**, v. 21, n. 4, dez. 2016. ISSN 1517-784X. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/veterinary/article/view/41571>>. Acesso em: 10 set. 2018. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/avs.v21i4.41571>.

ROSEN, J. B. The gradient projection method for nonlinear programming. Part II. Nonlinear constraints. **Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics**, v. 9, n. 4, p. 514-532, 1961.

ROSEN, Jo Bo. The gradient projection method for nonlinear programming. Part I. Linear constraints. **Journal of the society for industrial and applied mathematics**, v. 8, n. 1, p. 181-217, 1960.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2017.

SACOMAN, Marco A. Rahall. Otimização de projetos utilizando GRG, Solver e Excel. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE)**, apresentado em setembro de. 2012.

SAKOMURA, N. K et. al. Efeito do Nível de Energia Metabolizável da Dieta no Desempenho e Metabolismo Energético de Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1758-1767, 2004.

SALEH, E.A.; WATKINS, S.E.; WALDROUP, A.L.; WALDROUP, P.W. Effects of Dietary Nutrient Density on Performance and Carcass Quality of Male Broilers Grown for Further Processing. **International Journal of Poultry Science**, v.3, p.1-10, 2004.

SIMONS, P. C. M. et al. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. **British Journal of Nutrition**, v. 64, n. 2, p. 525-540, 1990.

SKINNER, J. T.; WALDROUP, A. L.; PARK, W. Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of broilers 42 to 49 days of age. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 1, n. 4, p. 367-372, 1992.

TUPY, O.; SHIROTA, R. Eficiência econômica na produção de frango de corte. **Informações Econômicas**. São Paulo, v.28, n.10, out, p.25-40. 1998.

VELOSO, R. C. et al. Seleção e classificação multivariada de modelos não lineares para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 1, p. 191-200, 2016.

VENUGOPALAN, R.; SHAMASUNDARAN, K. S. Nonlinear regression: a realistic modelling approach in horticultural crops research. **Indian Society of Agricultural Statistics**, 2003.

VITEZICA, Z. G. et al. Comparison of nonlinear and spline regression models for describing mule duck growth curves. **Poultry science**, v. 89, n. 8, p. 1778-1784, 2010.

WALDROUP, P.W. Energy levels for broilers. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.58, p.309-313, 1981.

ZACH, R. Growth-curve analysis: a critical reevaluation. **The Auk**, v. 105, n. 1, p. 208-210, 1988. In: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/auk/v105n01/p0208-p0210.pdf>



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



CAMPUS ARAÇATUBA  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

CEUA - Comissão de Ética no Uso de Animais  
CEUA - Ethics Committee on the Use of Animals

### CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto de Pesquisa intitulado "**Aplicação dos métodos: evolucionário e gradiente reduzindo generalizado a fim de otimizar modelos não lineares na nutrição de precisão**", Processo FOA nº 00843-2015, sob responsabilidade de Manoel Garcia Neto apresenta um protocolo experimental de acordo com os Princípios Éticos da Experimentação Animal e sua execução foi aprovada pela CEUA em 09 de Dezembro de 2015.

**VALIDADE DESTE CERTIFICADO:** 05 de Dezembro de 2017.

**DATA DA SUBMISSÃO DO RELATÓRIO FINAL:** até 05 de Janeiro de 2018.

### CERTIFICATE

We certify that the study entitled "**Application of methods: evolutionary and generalized reduced gradient in order to optimize models nonlinear the accuracy of nutrition**", Protocol FOA nº 00843-2015, under the supervision of Manoel Garcia Neto presents an experimental protocol in accordance with the Ethical Principles of Animal Experimentation and its implementation was approved by CEUA on December 09, 2015.

**VALIDITY OF THIS CERTIFICATE:** December 05, 2017.

**DATE OF SUBMISSION OF THE FINAL REPORT:** January 05, 2018.

**Profa. Adj. Maria Cristina Rosifini Alves Rezende**  
Vice-Coordenadora da CEUA  
CEUA Vice-Coordinator

CEUA - Comissão de Ética no Uso de Animais  
Faculdade de Odontologia de Araçatuba  
Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba  
Rua José Bonifácio, 1193 – Vila Mendonça - CEP: 16015-050 – ARAÇATUBA – SP  
Fone (18) 3636-3234 Email CEUA: ceua@foa.unesp.br