

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

**FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA  
CAMPUS DE ARAÇATUBA**

**ACURÁCIA E PRECISÃO NA FORMULAÇÃO NÃO LINEAR  
DE RAÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE: AVANÇO E  
OTIMIZAÇÃO DE RESULTADOS**

**Camila Angelica Gonçalves**

Zootecnista

ARAÇATUBA - SP  
2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

**FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA  
CAMPUS DE ARAÇATUBA**

**ACURÁCIA E PRECISÃO NA FORMULAÇÃO NÃO  
LINEAR DE RAÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE:  
AVANÇO E OTIMIZAÇÃO DE RESULTADOS**

**Camila Angelica Gonçalves**

**Orientador: Prof. Dr. Manoel Garcia Neto**

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária - Unesp, Campus de Araçatuba, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal (Medicina Veterinária Preventiva e Produção Animal).

ARAÇATUBA - SP  
2013

Catálogo na Publicação (CIP)  
Serviço de Biblioteca e Documentação – FMVA/UNESP

G586a Gonçalves, Camila Angelica  
Acurácia e precisão na formulação não linear de ração para frangos de corte: avanço e otimização de resultados / Camila Angelica Gonçalves.

Araçatuba:[s.n], 2013

67f. il.; CD-ROM

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária, 2013

Orientador: Prof. Manoel Garcia Neto

1. Frango de corte 2. Ração balanceada 3. Registro de desempenho. 4. Excel 5. Superfície de resposta.

CDD 641.493



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Araçatuba  
Seção Técnica de Graduação e Pós-Graduação



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


**TÍTULO:** ACURÁCIA E PRECISÃO NA FORMULAÇÃO NÃO LINEAR DE RAÇÃO PARA  
FRANGOS DE CORTE: AVANÇO E OTIMIZAÇÃO DE RESULTADOS

**AUTORA:** CAMILA ANGELICA GONÇALVES

**ORIENTADOR:** Dr. MANOEL GARCIA NETO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIA ANIMAL  
(MEDICINA VETERINÁRIA PREVENTIVA E PRODUÇÃO ANIMAL) pela Comissão Examinadora.

  
Dr. MARCOS FRANKE PINTO

  
Dr. DOUGLAS EMYGDIO DE FARIA

  
Dr. MANOEL GARCIA NETO

**DATA DA REALIZAÇÃO:** 8 de fevereiro de 2013.

  
Presidente da Comissão Examinadora  
Dr. MANOEL GARCIA NETO  
Orientador -

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

**Camila Angelica Gonçalves** - nascida em 02 de agosto de 1984, em Ourinhos - SP. Graduou-se em Zootecnia pela Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista - ESAPP, Paraguaçu Paulista em julho de 2007. Em setembro de 2009 foi aluna em regime especial e em janeiro de 2011 foi selecionada para o curso de Mestrado em Ciência Animal da Faculdade de Medicina Veterinária - UNESP, Campus de Araçatuba, tendo iniciado seu estudo na área de Nutrição e Produção de Frangos de Corte.

Dedico

A minha mãe Neusa e meu pai Reinaldo

## **AGRADECIMENTOS**

Eu desejo expressar o meu sincero apreço ao meu professor e orientador Dr. Manoel Garcia Neto, pelos valiosos ensinamentos, aconselhamentos e exemplo profissional.

Gostaria de agradecer a Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, pela oportunidade e suporte na realização do curso de mestrado e aos seus funcionários: Adão Custódio, Laércio Marcon e Carlos Rodrigues, pela acolhida e a disposição em ajudar na condução do experimento e a bibliotecária Isabel Pereira de Matos pelo seu auxílio.

Agradeço muitíssimo os meus companheiros de mestrado, pela grande afinidade e amizade: Juliana Gamba, Wanderléia Tobias, Gabriela Ferreira e Marcel Almeida.

As alunas do curso de Medicina Veterinária da Unesp - Araçatuba, Mayara Maia e Carla Rodriguez, pela convivência e colaboração durante o experimento.

A FAPESP pelo financiamento desta pesquisa e a CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

O meu reconhecimento e gratidão aos professores, pela experiência e os conhecimentos que concederam: Me. João Elias Cury Júnior, Dra. Sílvia Helena Venturoli Perri e Dr. Max José de Araújo Faria Júnior.

Aos membros da Banca Examinadora, pela disponibilidade de avaliação deste trabalho.

Reconheço que só com a ajuda destes, foi possível concretizar esta dissertação.

Deus lhes abençoe e muito obrigada!

**SUMÁRIO**

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
1 INTRODUÇÃO .....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1 Produção de frangos de corte e formulação de rações .....	17
2.2 Modelos Matemáticos e métodos de otimização.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Tratamentos e delineamento experimental .....	21
3.2 Condução do experimento.....	22
3.3 Avaliações .....	23
3.3.1 Desempenho das aves .....	23
3.3.2 Avaliação da deposição de gordura cavitária e peso de carcaça .....	23
3.3.3 Modelo matemático .....	24
4 RESULTADO E DISCUSSÃO .....	27
4.1 Planilha PPFR: aplicação prática .....	55
5 CONCLUSÕES. ....	62
6 REFERÊNCIAS .....	63



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o peso vivo de fêmeas (g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg).....	31
Figura 2	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o peso vivo de machos (g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg).....	32
Figura 3	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o consumo de ração de fêmeas (g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg).....	33
Figura 4	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o consumo de ração de machos (g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg).....	34
Figura 5	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o consumo de energia metabolizável de fêmeas (Mcal), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg).....	35
Figura 6	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o consumo de energia metabolizável de machos (Mcal), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg).....	36
Figura 7	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para conversão alimentar de fêmeas (g/g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg). .....	37

Figura 8	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para conversão alimentar de machos (g/g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg). .....	38
Figura 9	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para carcaça de fêmeas (g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg). .....	39
Figura 10	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para carcaça de machos (g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg). .....	40
Figura 11	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para gordura cavitária de fêmeas (g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg). .....	41
Figura 12	Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para gordura cavitária de machos (g), segundo a variação da idade (dias) e do teor energético da ração (kcal EM/kg). .....	42
Figura 13	Otimização da formulação pela ferramenta Solver do Excel .....	47
Figura 14	Densidade energética mais favorável, entre 2,8 e 3,3Mcal/kg de Energia Metabolizável.....	48
Figura 15	Teor energético mais apropriado economicamente.....	49
Figura 16	Peso previsto .....	49
Figura 17	Consumo e conversão alimentar.....	50
Figura 18	Estimativa da gordura cavitária e o rendimento de carcaça .....	50
Figura 19	Previsão da margem bruta.....	51
Figura 20	Novas macros incorporadas no programa PPFR .....	51

Figura 21	Procedimento para acionar a análise de sensibilidade .....	54
Figura 22	Programa prático de formulação de ração (PPFR) .....	55
Figura 23	Margem bruta e Custo da ração segundo teor energético de dietas formuladas pelo programa PPFR.....	57

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Distribuição dos tratamentos nos experimentos I e II, conforme o teor energético da ração .....	21
Tabela 2	Modelo de análise de variância do experimento I e II .....	22
Tabela 3	Composição percentual das rações fornecidas, segundo as fases e as exigências das fêmeas.....	25
Tabela 4	Composição percentual das rações fornecidas, segundo as fases e as exigências dos machos .....	26
Tabela 5	Probabilidade, coeficientes de regressão e análise de variância para as respostas de peso vivo e consumo de ração de frangos de corte, machos e fêmeas.....	29
Tabela 6	Probabilidade, coeficientes de regressão e análise de variância para as respostas de consumo energético, conversão alimentar, peso da gordura cavitária e peso da carcaça de frangos de corte, machos e fêmeas.....	30
Tabela 7	Funções objetivo para margem de custo, obtidas das equações quadráticas para peso corporal e para consumo de ração, segundo o sexo e a idade das aves.....	58

## **ACURÁCIA E PRECISÃO NA FORMULAÇÃO NÃO LINEAR DE RAÇÃO PARA FRANGOS DE CORTE: AVANÇO E OTIMIZAÇÃO DE RESULTADOS**

**RESUMO** - A avicultura de corte tem buscado a otimização da produção animal. Por esta razão, a modelagem matemática representa uma ferramenta imprescindível para se obter um maior controle e planejamento produtivo, adequado às diferentes condições de alimentação, do mercado e interesses econômicos. Assim, este trabalho teve a finalidade de obter modelos matemáticos, capazes de estimar as repostas do desempenho de frangos de corte em razão das mudanças da densidade energética da dieta, segundo a fase de criação e o sexo, como base de um sistema de formulação de rações não linear. Para tanto, foram conduzidos simultaneamente dois experimentos, para 240 frangos de corte fêmeas e 240 machos. As aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado com seis níveis de energia metabolizável (2.800; 2.900; 3.000; 3.100; 3.200 e 3.300 kcal/kg, mantendo-se a relação entre os demais nutrientes) e quatro repetições de dez aves, sendo alojadas em piso. Os dados de peso corporal, consumo de ração, consumo de energia, conversão alimentar, peso da carcaça e da gordura cavitária foram analisados segundo a metodologia de superfície de resposta. O consumo de ração e o peso corporal foram utilizados para se determinar as taxas de ganho que maximizam o retorno econômico, de acordo com a densidade energética, os preços de mercado dos ingredientes e do kg do frango. Concluiu-se que o princípio de formulação não linear mostra-se mais apropriado para atender ao conceito da nutrição de precisão para frangos de corte, uma vez que, as exigências de todos os nutrientes são automaticamente ajustadas pelo modelo matemático, relacionados ao teor energético estimado, conforme as recomendações nutricionais distintas para fases e idades de frangos de corte, segundo o programa PPFR.

**Palavras-chave:** excel, modelagem de dados, ração balanceada, registro de desempenho, superfície de resposta

## **ACCURACY AND PRECISION IN NONLINEAR FEED FORMULATION FOR BROILER: FORWARD AND OPTIMIZATION OF RESULTS**

**SUMMARY** - The poultry industry has sought to optimize animal production. For this reason, the mathematical modeling is an essential tool to achieve greater control and production planning, appropriate to the different feeding conditions, market and economic interests. This study aimed to obtain mathematical models capable of predicting the responses of broiler performance due to changes in levels of energy density, according to the phase and sex, as base to a system of nonlinear feed formulation. Therefore, two experiments were conducted simultaneously, for 240 broiler females and 240 males. The birds were distributed in a completely randomized design with six energy levels (2,800; 2,900; 3,000; 3,100; 3,200 and 3,300 kcal ME/kg, maintaining the relationship between energy and other nutrients) and four replicates of ten birds, allocated to floor pens. Data on body weight, feed intake, energy consumption, feed conversion, carcass weight and abdominal fat were analyzed by response surface methodology. Feed intake and body weight were used to determine rates of gain that maximize economic return, according to the energy density, the market prices of ingredients and kilogram of broilers. It was concluded that the concept of nonlinear formulation seems more appropriate to meet the concept of precision nutrition for broilers, since the requirements of all nutrients are automatically adjusted by the mathematical model related to energy content estimated, according to the nutritional recommendations for different ages and stages of broilers, according to the program PPFR.

**Keywords:** balanced ration, excel, data modeling, performance record, response surface

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente é proposto um conceito em que para se obter uma nutrição de precisão é necessário romper com o modelo linear e empregar o modelo não linear na formulação de rações (PENZ-JUNIOR et al., 2009).

Segundo os mesmos autores, com o avanço da pesquisa em nutrição animal, a energia da dieta será utilizada com mais eficiência, os minerais devem atender sua disponibilidade, usar as recomendações de digestibilidade dos aminoácidos e não apenas o teor de proteína bruta, para assim, permitir uma margem de segurança mais estreita nas formulações, sem comprometer o desempenho animal e, como consequência, uma melhor eficiência alimentar e um menor desperdício nas excretas, reduzindo o impacto ambiental.

Diversas pesquisas demonstraram que o crescimento das aves e a eficiência de utilização da dieta são beneficiados com os aumentos da densidade energética da ração. Porém, os aumentos de energia resultam em um custo total de produção mais oneroso (SALEH et al., 2004).

Dentre as várias espécies de interesse em produção animal, o setor avícola é o mais avançado, com contínua incorporação de novas tecnologias, seja no manejo, no material genético, na ambiência e principalmente na nutrição. As informações e determinações atuais das exigências nutricionais mais refinadas para a energia dos alimentos, a disponibilidade dos minerais (uso de enzimas), do conceito de proteína ideal, visam um maior aproveitamento pelo trato digestório do animal e leva a um novo conceito: a nutrição de precisão. A formulação de rações apresenta grande complexidade por envolver muitas opções de alimentos (ingredientes) e também por atender as exigências de números elevados de nutrientes e restrições.

Contudo, a formulação, que manualmente seria extremamente difícil, com o uso de programas de computador torna-se precisa e ágil para todos os ajustes desejados, para atender todas essas exigências numa única formulação, a saber: seis microminerais (Cu, Fe, I, Mn, Se e Zn); 13 vitaminas (A, D, E, K, B1, B2, Ac. Nicotínico, Ac. Pantotênico, B6, B12, Ácido Fólico, Biotina e Colina); 5

macrominerais (Ca, P, K, Na e Cl), 12 exigências para aminoácidos digestíveis e suas combinações (Lisina, Metionina, Metionina+Cistina, Triptofano, Treonina, Arginina, Valina, Isoleucina, Leucina, Histidina, Fenilalanina e Fenilalanina+Tirosina), além das exigências em energia metabolizável e proteína bruta, segundo o sexo, idade e desempenho desejado (ROSTAGNO et al., 2011).

Assim, também foi e continua sendo necessário uma evolução nos métodos de cálculo, e que tem sido muito facilitado com a evolução dos microcomputadores e da disponibilidade de planilhas eletrônicas de programação linear, que combina diferentes matérias primas e preços (tradicionalmente o cálculo de ração de custo mínimo).

Sendo que o objetivo mais atual é a otimização, os programas lineares começam a ficar limitados (PENZ-JUNIOR et al., 2009), pois apesar de visar o máximo desempenho biológico, não garantem os maiores benefícios econômicos (CERRATE; WALDROUP, 2009a; 2009b; OVIEDO, 2005).

Para atender esse novo desafio foi idealizado e desenvolvido o programa/planilha PPFR versão não linear (GARCIA-NETO, 2009), o qual utiliza o modelo de Guevara (2004), permitindo a formulação da ração segundo a variação de preço do kg do frango de corte, além dos ingredientes. O modelo mantém a densidade energética com ajustes concomitantes dos demais nutrientes, sempre visando à otimização da dieta (CERRATE; WALDROUP, 2009a; 2009b).

Assim, pode-se observar que o programa livre PPFR adapta três grandes recursos: as Tabelas Brasileiras (ROSTAGNO et al., 2011), as ideias e designs da planilha WUFFDA (PESTI, 2005) e o modelo matemático de Guevara (2004), o que permite se apresentar como a primeira planilha gratuita não linear para formulação de rações de frangos de corte, para uma maior lucratividade na produção avícola.

Portanto, este trabalho foi realizado com o objetivo de validar o sistema de formulação não linear, como estratégia nutricional e como ferramenta de modelagem matemática para frangos de corte, permitindo um menor custo e uma maior lucratividade da produção, segundo cada fase da criação (inicial, crescimento e terminação).



## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Produção de frangos de corte e formulação de rações**

A cadeia produtiva de carne de frangos é uma atividade em constante evolução, principalmente na área de nutrição, onde não somente o desempenho da ave é levado em consideração, mas também a qualidade da carcaça e sobretudo a redução da gordura corpórea (gordura visceral mais gordura cavitária) e aumento dos rendimentos dos cortes. Contudo, os principais interesses do nutricionista animal ainda estão na biologia e não na economia do sistema (AFROUZIYEH et al., 2010).

A lucratividade na indústria avícola pode ser obtida quando a receita e os custos são considerados simultaneamente na formulação de dietas, pois a alimentação das aves representa mais de 60% do total dos custos de produção (SAKOMURA et al., 2011).

A formulação de uma dieta é um dos principais atributos para o desempenho das aves, entretanto, está sujeita às mudanças dos custos de compra dos insumos, dos preços de venda dos produtos e às flutuações de demanda dos consumidores por aves de diferentes tamanhos, levando as companhias adotarem metodologias de otimização para se obter os maiores benefícios econômicos (OVIEDO, 2005).

Assim, com o aumento dos custos dos ingredientes e a pressão pela redução de nutrientes que contaminem o ambiente, os nutricionistas têm como desafio formular dietas com maior acurácia, reduzindo as margens largas de segurança. Além disso, com a alta dos preços das fontes de ingredientes energéticos, os níveis de energia das dietas também precisam ser revisados,

pois escolher o nível apropriado de energia que otimiza o crescimento, a qualidade da carcaça e a eficiência alimentar permitindo uma produção lucrativa é a maior preocupação para qualquer avicultor (PENZ-JUNIOR; BRUNO, 2012, SALEH, 2004).

Os níveis recomendados em catálogos nutricionais são na sua maioria ajustados para aumentar a produção sem levar em conta a maximização da eficiência econômica. Há várias décadas, Almquist (1953) pontuou que o nível de concentração nutricional ótimo para um nutriente é aquele que maximiza os lucros. Portanto, o ponto de lucro máximo não é necessariamente o que reflete a conversão mínima em todas as idades das aves e assim, os avicultores devem continuar investindo no consumo de ração até que o valor da carne de frango produzida for maior que o custo da ração, exigido para a produção (PESTI; MILLER, 1997).

## **2.2 Modelos Matemáticos e métodos de otimização**

Na pesquisa avícola, um modelo pode ser considerado como a descrição matemática de um dado fenômeno biológico (crescimento, produção, e outros), obtida por meio do arranjo coordenado de equações, em que variáveis quantitativas são tomadas para representar os fatores que influenciam os fenômenos (OVIEDO-RONDÓN et al., 2002).

Contudo, foi no final da década de 80 que se iniciou a adoção de programas capazes de integrar os conhecimentos em nutrição e economia, em decorrência da evolução das técnicas de modelagem, dos programas e da capacidade de processamento dos computadores (LANNA et al., 1999; RONDÓN et al., 2002). Estes programas possuem ferramentas que incorporam os princípios de modelagem matemática, auxiliando na definição de estratégias alimentares para frangos de corte, atendendo as exigências para o melhor desempenho.

Dessa forma, os critérios econômicos puderam ser eficientemente incorporados à formulação de rações a partir da aplicação da programação linear, sendo a principal ferramenta desenvolvida para se definir uma combinação de ingredientes a um custo mínimo, a fim de suprir as exigências nutricionais pré-estabelecidas de diversas espécies animais. Entretanto, métodos estáticos na formulação de dietas não são adequados na otimização dos programas de alimentação de frangos comerciais porque ignoram a importância dos métodos econômicos (GUEVARA, 2004).

A formulação linear de custo mínimo permite uma análise rápida do custo econômico e nutricional da inclusão de um ingrediente na ração, assumindo que cada ingrediente fornece o mesmo retorno econômico marginal, e que os retornos biológicos de produção são constantes (OVIEDO, 2005). Esta limitação promoveu o desenvolvimento de novos conceitos, os quais buscavam maiores lucros, todavia, mantendo-se as dietas de custo mínimo para o atendimento das exigências nutricionais e que fornece crescimento tecnicamente eficiente (LANNA et al., 1999; PESTI; MILLER, 1997).

Assim, Guevara (2004) relata que a programação não linear pode ser mais apropriada que a convencional linear, uma vez que otimiza o desempenho de peso através da possibilidade de ajustes na densidade energética da dieta para frangos de corte, e ainda, que modelos para máximo lucro deveriam oferecer uma condição semelhante ou melhor, mas nunca pior, quando comparado com o tradicional modelo de formulação linear. Razão pela qual o NRC (1994) fomenta esse conceito ao afirmar "que é desejável ter modelos matemáticos que possibilitem a seleção da combinação econômica da dieta de nutrientes (proteína/aminoácidos, energia e outros nutrientes) que permitam os objetivos da produção".

Tal procedimento, por atender a lei dos retornos decrescentes (ALMQUIST, 1953), permite obter pela programação não linear a condição mais favorável para a densidade energética, o que não é possível pela formulação linear (AFROUZIYEH et al., 2010; MILLER et al., 1986).

De acordo com Pesti et al. (2009), os polinômios de segundo grau descrevem os retornos decrescentes para a formulação de dietas. A densidade energética é um parâmetro dos retornos decrescentes e sua avaliação econômica torna-se viável para estimar o ganho de peso e aplicar modelos não lineares, a fim de se encontrar o melhor momento de comercialização. Esse fenômeno ocorre da seguinte maneira: à medida que se aumenta a densidade energética sucessivamente, a produção aumenta a taxas crescentes, para depois iniciar uma diminuição da resposta de forma não linear.

Devido à necessidade da aplicabilidade e desenvolvimento desses modelos, várias pesquisas direcionadas para modelagem matemática aplicada nas formulações de rações idealizam um menor impacto econômico da produção animal, com a otimização do ambiente produtivo (RENZ, 2005), com vários modelos já disponíveis ([BPHL<sup>®</sup> King, 2001; Câmera<sup>®</sup>, EFG<sup>®</sup> Software; FORTEC<sup>®</sup>; Guevara, 2004; IGM<sup>TM</sup>; OmniPro<sup>®</sup>II e Pesti/Brill] OVIEDO, 2005).

Como a maioria dos programas mencionados são comerciais, e, portanto "fechados", essa condição de "caixa preta" restringe as pesquisas, pelo custo do programa ou pelas limitações nas possibilidades de manipulação dos recursos internos para ajustes dos modelos matemáticos desejados/estudados.

Todavia, são também oferecidos programas abertos, evidenciando crescentes pesquisas sobre o assunto (PESTI; SEILA, 1999; ROUSH et al., 2007; 2009), aplicados à pesquisa, ensino e com possibilidades de uso na indústria avícola, sendo disponibilizados gratuitamente na web-site, como o UFFDA (PESTI; MILLER, 1992), o UNEFORM (THOMSON; NOLAN, 2001), o WUFFDA (PESTI, 2002), e alguns nacionais, como o SAEG-RCM (2007) e o PFR (GARCIA-NETO, 2009).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Tratamentos e delineamento experimental

O objetivo dos experimentos I (fêmeas) e II (machos) foi definir as equações quadráticas para consumo e ganho de peso, como base de modelagem, a ser aplicada na programação não linear, conforme proposto por Guevara (2004) e Cerrate e Waldroup (2009a; 2009b), tendo como recomendação as Tabelas Brasileiras (ROSTAGNO et al., 2005), conforme o sexo e fase de criação (Inicial, Crescimento e Terminação). O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso, totalizando 6 tratamentos (níveis energéticos), com 4 repetições e 10 aves por parcela experimental (Tabelas 1 e 2).

Os resultados foram submetidos à análise de variância para verificar efeitos de tratamentos e visando obter informações sobre a robustez do binômio idade/densidade nutricional. Para se verificar e quantificar efeitos sinérgicos e antagônicos entre os fatores estudados foi utilizada a análise de superfície de respostas (RODRIGUES; IEMMA, 2009), segundo os procedimentos do PROC GLM do sistema SAS (2009).

Tabela 1 - Distribuição dos Tratamentos nos experimentos I e II, conforme o teor energético da ração.

Tratamento	Experimento I (Fêmeas)	Experimento II (Machos)
	Teor Energético (kcal/kg)	Teor Energético (kcal/kg)
1	2800	2800
2	2900	2900
3	3000	3000
4	3100	3100
5	3200	3200
6	3300	3300

Tabela 2 - Modelo de análise de variância do experimento I e II.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade
Total	23
Tratamentos	5
Erro	18

Como há diferenças entre as taxas de crescimento para machos e fêmeas, com distintas recomendações nutricionais, e ainda, devido às diferentes formulações impostas pela programação não linear, foi desconsiderada a possibilidade de se usar um esquema fatorial (PENZ- JUNIOR et al., 2009).

### 3.2 Condução do experimento

Os experimentos I e II foram realizados simultaneamente, no Setor Experimental de Zootecnia do Curso de Medicina Veterinária da UNESP, Campus de Araçatuba. Foram utilizados um total de 480 pintos de corte, sendo 240 machos e 240 fêmeas, de mesma linhagem comercial (Cobb 500), no período de 1 a 56 dias de idade (realizado de 18/10/2010 a 13/12/2010).

No alojamento das aves, foi utilizado um galpão de alvenaria (7,85 x 45,70m), com orientação Leste-Oeste, climatizado com sistema de resfriamento evaporativo adiabático com ventilação de pressão negativa, coberto com telhas especiais, constituídas de material isolante (poliestireno expandido) disposto entre chapas metálicas refletivas. Em seu interior, as aves foram dispostas em boxes adjacentes, possuindo um bebedouro e um comedouro/cada, com dimensões de 1,4 x 3,0m, que se constituíram nas parcelas experimentais, tendo como piso cama de maravalha.

Os pintinhos com um dia de idade foram pesados e distribuídos ao acaso nos 48 boxes, que alojaram 10 aves cada. Como fontes de aquecimento inicial foram usadas campânulas com resistência cônica de 400W, uma em cada compartimento, durante os 15 primeiros dias de criação.

As rações experimentais foram formuladas à base de milho, farelo de soja, óleo de soja, suplemento vitamínico, suplemento mineral, calcário e

fosfato bicálcico, utilizando as recomendações de Rostagno et al. (2005), sendo formuladas pelo programa PPFR (Tabelas 3 e 4). A mistura da ração foi realizada na fábrica de rações do, já citado, Setor Experimental de Zootecnia.

### **3.3 Avaliações**

#### **3.3.1 Desempenho das aves**

As aves foram avaliadas através de seu peso corporal, consumo de ração, consumo de energia e índice de conversão alimentar, verificados aos 21°, 35°, 42° e 49° e 56° dias de idade para o Experimento I e II, sendo que o consumo de ração foi obtido pela diferença de pesagem da ração da parcela no início e final de cada fase. A partir desses dados, calculou-se o índice de conversão alimentar, como o quociente do consumo de ração pelo peso corporal da parcela e o consumo energético através da relação entre o consumo de ração por ave pelo teor energético da parcela.

#### **3.3.2 Avaliação do peso de carcaça e da deposição de gordura cavitária**

Um dia antes do abate, as aves foram pesadas e identificadas nos pés com pulseiras plásticas, tendo permanecido por um período de 9 a 11 horas em jejum e dieta hídrica antes do abate. Para o abate, as aves foram colocadas em caixas plásticas de transporte, sendo o procedimento de apanha realizado pelo dorso.

As aves foram abatidas de acordo com as normas e procedimentos oficiais (BRASIL, 1997; 1998). As mesmas, após o abate, foram depenadas, evisceradas e, ao final, retirada a porção da gordura cavitária.

Foram sacrificadas uma ave de cada parcela experimental, com peso semelhante ao peso médio de cada repetição, num total de 4 aves por tratamento, no 35°, 42°, 49° e 56° dia de idade. Posteriormente foi determinado o

peso de carcaça, bem como o peso de gordura cavitária, em gramas. A gordura analisada incluiu toda aquela que pôde ser manualmente retirada da cavidade abdominal, inclusive a gordura aderida à moela, envolvida próxima a bursa de Fabrícus, à cloaca e adjacente à musculatura, mas não a mesentérica ou a gordura perineal, conforme critérios propostos por Esteve-Garcia & Mack (2000).

### **3.3.3 Modelo matemático**

O programa PPFR atende às exigências nutricionais dos frangos de corte, segundo as recomendações das Tabelas Brasileiras (ROSTAGNO et al., 2005 e 2011) e os requisitos de cada fase de crescimento, por considerar a cotação do preço pago do kg do frango vivo e o custo de cada ingrediente da ração. Assim, o modelo adotado na planilha de formulação do PPFR combina os ingredientes da ração, mantendo os nutrientes proporcionais à energia, os quais são estimados pelas iterações da ferramenta Solver (FRONTLINE SYSTEMS, 1999) da planilha eletrônica de cálculo Excel®, maximizando o lucro.

O programa PPFR apresenta tanto a opção de formulação não linear (Lucro Máximo e de Custo Mínimo), totalizando três tipos distintos de formulação em um único programa, como a tradicional linear. Em relação ao método não linear, foram estipuladas as seguintes opções: Iterações = 32.000; Precisão= 0,0001; Convergência= 0,1; Estimativa= Tangente; Derivadas= Adiante; e Pesquisar= Newton, segundo Moore e Weatherford, 2008, para a versão Excel 2007, entretanto não sendo mais requisitadas essas opções para a versão do Excel 2010.



Tabela 3 - Composição percentual das rações fornecidas, segundo as fases e as exigências das fêmeas

Ingredientes	Inicial (1-21 dias)					Crescimento (22 a 42 dias)					Terminação (43 a 56 dias)							
	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	6,53	3,22	0,00	0,00	0,00	8,76	5,52	2,27	0,00	0,00			
Inerte (cauilim)	60,93	62,54	57,57	52,59	47,61	42,64	66,92	69,31	71,48	66,89	62,30	57,71	70,53	73,05	75,57	76,03	71,73	67,43
Milho	0,00	0,19	2,61	5,04	7,46	9,89	0,00	0,00	0,07	2,43	4,78	7,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	2,99
Óleo de Soja	32,01	33,25	35,69	38,13	40,57	43,01	23,22	24,05	24,92	27,07	29,22	31,36	18,15	18,80	19,44	20,48	22,41	24,34
Soja Farelo -45%	1,61	1,67	1,74	1,82	1,89	1,97	1,32	1,37	1,42	1,48	1,54	1,61	1,07	1,11	1,15	1,19	1,25	1,31
Fosfato Bicálcico	0,44	0,46	0,47	0,49	0,51	0,53	0,39	0,40	0,41	0,43	0,45	0,46	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39	0,41
Sal Comum	0,22	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,20	0,20	0,21	0,19	0,17	0,15	0,10	0,11	0,11	0,11	0,09	0,06
L-Lisina HCl	0,24	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,16	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09
DL-Metionina	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L Treonina	0,82	0,85	0,86	0,88	0,89	0,91	0,73	0,75	0,78	0,79	0,80	0,82	0,65	0,67	0,70	0,72	0,73	0,73
Calcário Calcítico	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Premix Minerais e Vitaminas <sup>A</sup>																		
Composição calculada																		
Energia Met. Aves (kcal/kg)	2800	2900	3000	3100	3200	3300	2800	2900	3000	3100	3200	3300	2800	2900	3000	3100	3200	3300
Proteína Bruta (PB)	19,92	20,63	21,32	22,01	22,70	23,39	16,35	16,93	17,52	18,10	18,68	19,27	14,18	14,69	15,20	15,70	16,21	16,72
Cálcio	0,80	0,83	0,86	0,89	0,92	0,95	0,68	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68
P Disponível	0,40	0,42	0,43	0,45	0,46	0,48	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39	0,40	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34
Potássio	0,76	0,78	0,81	0,85	0,88	0,91	0,61	0,63	0,66	0,68	0,71	0,74	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63
Sódio	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18
Cloro	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,31	0,32	0,34	0,34	0,35	0,35	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30
Ácido Linoléico	1,33	1,47	2,70	3,94	5,17	6,40	1,38	1,43	1,52	2,71	3,91	5,11	1,41	1,46	1,51	1,90	3,08	4,25
Lisina Dig.	1,11	1,15	1,19	1,23	1,27	1,31	0,88	0,91	0,94	0,97	1,00	1,04	0,69	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81
Metionina Dig.	0,51	0,53	0,56	0,58	0,60	0,63	0,40	0,41	0,42	0,44	0,46	0,48	0,28	0,29	0,30	0,31	0,33	0,34
Metionina + Cistina Dig.	0,79	0,81	0,84	0,87	0,90	0,93	0,63	0,66	0,68	0,70	0,72	0,75	0,50	0,51	0,53	0,55	0,57	0,58
Triptofano Dig.	0,22	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18
Treonina Dig.	0,72	0,75	0,77	0,80	0,82	0,85	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,48	0,49	0,51	0,53	0,55	0,56
Arginina Dig.	1,24	1,29	1,35	1,41	1,47	1,53	0,98	1,02	1,05	1,11	1,16	1,21	0,83	0,86	0,89	0,93	0,98	1,02
Valina Dig.	0,83	0,86	0,89	0,92	0,95	0,98	0,68	0,71	0,73	0,76	0,78	0,81	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,71
Isoleucina Dig.	0,77	0,80	0,83	0,87	0,90	0,94	0,62	0,64	0,66	0,69	0,72	0,75	0,53	0,55	0,57	0,59	0,62	0,64
Leucina Dig.	1,62	1,68	1,71	1,74	1,77	1,80	1,40	1,45	1,50	1,52	1,55	1,57	1,27	1,31	1,36	1,40	1,42	1,44
Histidina Dig.	0,50	0,52	0,53	0,55	0,56	0,58	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,49	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43
Fenilalanina Dig.	0,91	0,94	0,97	1,01	1,04	1,07	0,74	0,77	0,80	0,82	0,85	0,88	0,65	0,67	0,69	0,72	0,74	0,77
Fenilalanina + Tirosina Dig.	1,53	1,58	1,64	1,70	1,75	1,81	1,25	1,30	1,34	1,39	1,44	1,49	1,09	1,13	1,17	1,21	1,25	1,30
Relação Energia:Proteína	140,5	140,6	140,7	140,8	140,9	141,1	171,3	171,3	171,3	171,3	171,3	171,3	197,4	197,4	197,4	197,4	197,4	197,4

<sup>A</sup> Suplementos vitamínico-minerais utilizados nas rações em três fases de criação (quantidade/kg do produto) incluem: Inicial: vit. A - 1.670.000 U.I.; vit. D3 - 335.000 U.I.; vit. E - 2.500 mg; vit. K3 - 417 mg; vit. B1 - 250 mg; vit. B2 - 835 mg; vit. B6 - 250 mg; vit. B12 - 2.000 mcg; ácido fólico - 100 mg; biotina - 9 mg; niacina - 5.835 mg; pantotênato de cálcio - 1.870 mg; Cu - 1.000 mg; Co - 17 mg; I - 170 mg; Fe - 8.335 mg; Mn - 10.835 mg; Zn - 7.500 mg; Se - 35 mg; Cloreto de Colina 50% - 116.670 mg; Metionina - 250.000 mg; Cloreto de Colina 50% - 13.335 mg; Promotor de Crescimento - 13.335 mg; Antioxidante - 2.000 mg; Crescimento: vit. A - 1.335.000 U.I.; vit. D3 - 300.000 U.I.; vit. E - 2.000 mg; vit. K3 - 335 mg; vit. B1 - 167 mg; vit. B2 - 670 mg; vit. B6 - 170 mg; vit. B12 - 1.670 mcg; ácido fólico - 67 mg; biotina - 7 mg; niacina - 4.670 mg; pantotênato de cálcio - 1.870 mg; Cu - 1.000 mg; Co - 17 mg; I - 170 mg; Fe - 8.335 mg; Mn - 10.835 mg; Zn - 7.500 mg; Se - 35 mg; Cloreto de Colina 50% - 83.340 mg; Metionina - 235.000 mg; Cloreto de Colina 50% - 10.000 mg; Promotor de Crescimento - 10.000 mg; Antioxidante - 2.000 mg. Terminação: vit. A - 1.670.000 U.I.; vit. D3 - 335.000 U.I.; vit. E - 2.335 mg; vit. K3 - 400 mg; vit. B1 - 100 mg; vit. B2 - 800 mg; vit. B6 - 200 mg; vit. B12 - 2.000 mcg; ácido fólico - 67 mg; niacina - 5.670 mg; pantotênato de cálcio - 2.000 mg; Cu - 2.000 mg; Co - 27 mg; I - 270 mg; Fe - 16.670 mg; Mn - 17.335 mg; Zn - 12.000 mg; Se - 70 mg; Cloreto de Colina 50% - 100.000 mg; Metionina - 235.000 mg; Antioxidante - 2.000 mg.

Tabela 4 - Composição percentual das rações fornecidas, segundo as fases e as exigências dos machos

Ingredientes	Inicial (1-21 dias)					Crescimento (22 a 42 dias)					Terminação (43 a 56 dias)							
	2800	2900	3000	3100	3200	3300	2800	2900	3000	3100	3200	3300	2800	2900	3000	3100	3200	3300
Inerte (caulim)	2,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,30	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	8,12	4,85	1,59	0,00	0,00	0,00
Milho	60,79	61,89	56,89	51,89	46,89	41,89	64,65	66,96	66,30	61,62	56,93	52,25	69,24	71,71	74,19	73,16	68,83	64,51
Óleo de Soja	0,00	0,37	2,80	5,23	7,66	10,09	0,00	0,00	1,01	3,38	5,75	8,12	0,00	0,00	0,00	1,19	3,49	5,80
Soja Farelo ~45%	32,20	33,55	36,00	38,45	40,90	43,35	26,56	27,51	29,00	31,21	33,43	35,65	19,74	20,44	21,15	22,49	24,43	26,36
Fosfato Bicálcico	1,71	1,78	1,86	1,94	2,02	2,10	1,39	1,44	1,50	1,57	1,63	1,70	1,15	1,19	1,23	1,28	1,34	1,40
Sal Comum	0,47	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,41	0,42	0,44	0,45	0,47	0,49	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,43
L-Lisina HCl	0,22	0,22	0,21	0,19	0,17	0,16	0,20	0,20	0,20	0,18	0,17	0,15	0,22	0,22	0,23	0,23	0,21	0,20
DL-Metionina	0,24	0,25	0,26	0,28	0,30	0,32	0,19	0,19	0,20	0,22	0,24	0,25	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19
L Treonina	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Calcário Calcítico	0,87	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,76	0,79	0,81	0,82	0,83	0,85	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	0,76
Premix Minerais e Vitaminas <sup>A</sup>	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Composição calculada																		
Energia Met. Aves (kcal/kg)	2800	2900	3000	3100	3200	3300	2800	2900	3000	3100	3200	3300	2800	2900	3000	3100	3200	3300
Proteína Bruta (PB)	20,00	20,71	21,41	22,10	22,79	23,48	17,70	18,33	18,95	19,56	20,17	20,79	14,97	15,51	16,04	16,56	17,08	17,59
Cálcio	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1,00	0,72	0,74	0,77	0,79	0,82	0,84	0,61	0,63	0,65	0,67	0,70	0,72
P Disponível	0,42	0,44	0,45	0,47	0,48	0,50	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36
Potássio	0,76	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,67	0,69	0,72	0,74	0,77	0,80	0,56	0,57	0,59	0,62	0,64	0,66
Sódio	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19
Cloro	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,41	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,30	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34
Ácido Linoléico	1,33	1,55	2,79	4,03	5,26	6,50	1,36	1,41	1,95	3,16	4,37	5,57	1,40	1,45	1,50	2,13	3,31	4,48
Lisina Dig.	1,11	1,15	1,19	1,23	1,27	1,31	0,96	0,99	1,03	1,06	1,10	1,13	0,81	0,84	0,87	0,90	0,93	0,95
Metionina Dig.	0,52	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,44	0,46	0,47	0,49	0,52	0,54	0,36	0,37	0,39	0,40	0,42	0,44
Metionina + Cistina Dig.	0,79	0,82	0,85	0,87	0,90	0,93	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,81	0,58	0,60	0,62	0,65	0,67	0,69
Triptofano Dig.	0,22	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19
Treonina Dig.	0,72	0,75	0,77	0,80	0,83	0,85	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,53	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62
Arginina Dig.	1,25	1,30	1,36	1,42	1,48	1,54	1,08	1,12	1,17	1,22	1,27	1,33	0,88	0,91	0,94	0,98	1,03	1,08
Valina Dig.	0,83	0,86	0,89	0,92	0,95	0,98	0,74	0,77	0,79	0,82	0,84	0,87	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73
Isoleucina Dig.	0,78	0,81	0,84	0,87	0,91	0,94	0,68	0,70	0,73	0,76	0,79	0,82	0,56	0,58	0,60	0,62	0,65	0,67
Leucina Dig.	1,63	1,68	1,71	1,74	1,77	1,80	1,48	1,54	1,58	1,60	1,63	1,65	1,31	1,35	1,40	1,43	1,45	1,47
Histidina Dig.	0,50	0,52	0,54	0,55	0,57	0,58	0,45	0,47	0,48	0,49	0,51	0,52	0,39	0,40	0,41	0,43	0,44	0,45
Fenilalanina Dig.	0,91	0,94	0,98	1,01	1,04	1,08	0,80	0,83	0,86	0,89	0,92	0,95	0,68	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80
Fenilalanina + Tirosina Dig.	1,54	1,59	1,65	1,70	1,76	1,82	1,36	1,41	1,46	1,51	1,56	1,61	1,14	1,18	1,22	1,27	1,31	1,35
Relação Energia:Proteína	140,0	140,0	140,2	140,3	140,4	140,5	158,2	158,2	158,3	158,5	158,6	158,8	187,0	187,0	187,0	187,1	187,4	187,6

<sup>A</sup> Suplementos vitamínico-minerais utilizados nas rações em três fases de criação (quantidade/kg do produto) Inicial: vit. A - 1.670.000 U.I.; vit. D3 - 335.000 U.I.; vit. E - 2.500 mg; vit. K3 - 417 mg; vit. B1 - 250 mg; vit. B2 - 835 mg; vit. B6 - 250 mg; vit. B12 - 2.000 mcg; ácido fólico - 100 mg; biotina - 9 mg; niacina - 5.835 mg; pantotenato de cálcio - 1.870 mg; Cu - 1.000 mg; Co - 17 mg; I - 170 mg; Fe - 8.335 mg; Mn - 10.835mg; Zn - 7.500 mg; Se - 35 mg; Cloreto de Colina 50% - 116.670 mg; Metionina - 250.000 mg; Coccidiostático - 13.335 mg; Promotor de Crescimento - 13.335 mg; niacina - 5.835 mg; pantotenato de cálcio - 1.870 mg; Cu - 1.000 U.I.; vit. D3 - 300.000 U.I.; vit. E - 2.000 mg; vit. K3 - 335 mg; vit. B2 - 670 mg; vit. B6 - 170 mg; vit. B12 - 1.670 mcg; ácido fólico - 67 mg; biotina - 7 mg; niacina - 4.670 mg; pantotenato de cálcio - 1.870 mg; Cu - 1.000 mg; Co - 17 mg; I - 170 mg; Fe - 8.335 mg; Mn - 10.835 mg; Zn - 7.500 mg; Se - 35 mg; Cloreto de Colina 50% - 83.340mg; Metionina - 235.000mg; Coccidiostático - 10.000 mg; Promotor de Crescimento - 10.000mg; Antioxidante - 2.000mg. Terminação: vit. A - 1.670.000 U.I.; vit. D3 - 335.000 U.I.; vit. E - 2.000 mcg; ácido fólico - 67 mg; vit. B1 - 100 mg; vit. B2 - 200 mg; vit. B6 - 200 mg; vit. B12 - 2.000 mcg; niacina - 100.000mg; Antioxidante - 5.670 mg; pantotenato de cálcio - 2.000 mg; Cu - 2.000 mg; Co - 27 mg; I - 270 mg; Fe - 16.670 mg; Mn - 17.335 mg; Zn - 12.000 mg; Se - 70 mg; Cloreto de Colina 50% - 100.000mg; Metionina - 235.000mg; Antioxidante - 2.000 mg.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados para as análises estatísticas de superfície de respostas, sua descrição gráfica do modelo completo ajustado, conhecida como superfície de respostas, assim como sua projeção de seus cortes sobre o plano dos fatores (curvas de contornos), para todas as variáveis estudadas no presente experimento (peso corporal, consumo de ração, conversão alimentar, peso de gordura cavitária e peso de carcaça), para fêmeas e machos, segundo a variação da densidade nutricional da dieta e da idade das aves dos experimentos I e II são apresentados nas Tabelas 5 e 6 e Figuras 1 a 12.

Verificou-se através da análise estatística de superfície de resposta, que o peso vivo (machos), o consumo de ração e consumo energético, a conversão alimentar (machos) e a gordura cavitária (fêmeas) apresentaram interações significativas para os parâmetros Energia metabolizável vs Idade (EM  $\times$  I). Desta forma, fica desabonada a discussão para idade e densidade nutricional isoladamente. Assim sendo, não há como determinar ou definir qual a melhor idade para o abate das aves, visando o melhor lucro, sem discutir a densidade nutricional, ou qual seria a melhor densidade nutricional, objetivando maximizar o lucro da criação dos frangos, uma vez que este também é dependente da idade das aves.

Ainda, quanto à idade (I  $\times$  I), a resposta foi quadrática ( $P < 0,0001$ ), para o peso vivo, consumo de ração e consumo energético, para ambos os sexos. Também foi constatado efeito significativo para resposta quadrática (I  $\times$  I) para o peso da carcaça de machos ( $p = 0,0066$ ).

Através desse procedimento foi possível explorar e determinar os efeitos sinérgicos entre idade e densidade nutricional, resultando na condição otimizada para o lucro máximo, que foram aplicadas na planilha PFR para frangos de corte.

Desta forma, analisando as superfícies de respostas e as curvas de contornos, foi possível definir a existência de uma região ótima para densidade nutricional da dieta para cada um dos parâmetros estudados, segundo a idade

e o sexo das aves. Portanto há uma resposta robusta, ou seja, o peso corporal e da carcaça, consumo de ração, conversão alimentar, peso da carcaça e a gordura corporal se mantêm estáveis dentro de uma faixa de densidade nutricional para cada idade, segundo o sexo.

Assim, este resultado de "faixa ótima" das variáveis permite obter uma condição otimizada dentro de uma faixa de densidade nutricional, sem necessidade da definição de um valor pontual ótimo, como seria o caso da formulação linear. Como aplicação prática para o peso corporal, consumo de ração ou para a conversão alimentar é possível minimizar a densidade nutricional de uma dieta sem prejudicar o desempenho das aves, sendo isso exatamente o que favorece a viabilidade econômica do princípio não linear.

E ainda, segundo os resultados obtidos na ANOVA (Tabelas 5 e 6), em função das variáveis idade e energia metabolizável (representando a densidade nutricional da dieta), constatou-se que os modelos matemáticos foram altamente significativos ( $p < 0,0001$ ) para todas as variáveis estudadas, o que evidencia que há pleno ajuste dos dados experimentais do presente trabalho. Também a variação explicativa demonstrou um altíssimo ajuste para o  $R^2$  (coeficiente de determinação), demonstrando que os resultados foram muito bem explicados pelas regressões. Entretanto, para a gordura cavitária, a porcentagem de variação explicada pela regressão foi baixa, para ambos os sexos ( $R^2 = 0,6903$  para fêmeas e  $R^2 = 0,5235$  para machos), o que demonstra que não houve um bom ajuste dos valores experimentais ao modelo (RODRIGUES; IEMMA, 2009).

Para a energia metabolizável (EM x EM), foi constatado efeito quadrático significativo para ambos os sexos, em todos os parâmetros analisados, com exceção da conversão alimentar para fêmeas ( $p = 0,1053$ ), para a gordura cavitária de fêmeas ( $p = 0,5787$ ) e machos ( $p = 0,1673$ ) e peso da carcaça dos machos ( $p = 0,1078$ ). Contudo, para seleção de variáveis, é recomendado aceitar o valor  $p < 0,1$  do que desprezar algum fator importante (RODRIGUES; IEMMA, 2009). Desta forma, o comportamento da densidade nutricional mostrou-se não linear, seguindo a lei dos rendimentos decrescentes.

Tabela 5 - Probabilidade, coeficientes de regressão e análise de variância para as respostas de peso vivo e consumo de ração de frangos de corte, machos e fêmeas

Parâmetros	Aves de 1 a 20 dias de idade			
	Peso vivo		Consumo ração	
	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
Pr> t  valor				
Intercepto	0,0948	0,0979	0,2333	0,2036
EM	0,0845	0,0879	0,2357	0,2059
idade	0,1263	0,0476	0,0444	0,0897
EM*EM	0,0793	0,0822	0,247	0,2159
idade*EM	0,0052	0,0039	0,0712	0,0756
idade*idade	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
R <sup>2</sup>	0,9943	0,9921	0,9947	0,9938
CV (%)	7,7559	9,3033	9,4586	10,6080

Parâmetros	Aves de 21 a 56 dias de idade			
	Peso vivo		Consumo ração	
	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
Pr> t  valor				
Intercepto	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
EM	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
idade	<,0001	0,0067	<,0001	<,0001
EM*EM	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
idade*EM	0,4862	0,0341	0,0033	<,0001
idade*idade	0,0095	0,0497	0,0001	<,0001
R <sup>2</sup>	0,9968	0,9966	0,9973	0,999
CV (%)	2,6408	2,8283	2,8130	1,6739

Coeficientes do Modelo	Consumo ração			
	Peso vivo		Consumo ração	
	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
Intercepto	-31935	-25781	-49998	-39547
EM	20,016453	15,988609	31,196913	24,056064
idade	83,445201	64,70638	219,350257	257,506049
EM*EM	-0,003237	-0,002608	-0,004999	-0,00381
idade*EM	0,003767	0,015006	-0,034783	-0,042241
idade*idade	-0,232548	-0,213817	0,749763	0,792996

Análise de Variância  
 Causas de variação (Pr>F)  
 Regressão  
 Linear <,0001 <,0001 <,0001 <,0001  
 Quadrático <,0001 0,0001 <,0001 <,0001  
 Interação 0,4862 0,0341 0,0033 <,0001  
 Total do Modelo <,0001 <,0001 <,0001 <,0001

$$\text{Peso vivo fêmea} = -31935 + 20,016453 \cdot \text{EM} + 83,445201 \cdot \text{idade} - 0,003237 \cdot \text{EM}^2 + 0,003767 \cdot \text{idade} \cdot \text{EM} - 0,232548 \cdot \text{idade}^2$$

$$\text{Peso vivo macho} = -25781 + 15,988609 \cdot \text{EM} + 64,70638 \cdot \text{idade} - 0,002608 \cdot \text{EM}^2 + 0,015006 \cdot \text{idade} \cdot \text{EM} - 0,213817 \cdot \text{idade}^2$$

$$\text{Consumo de ração fêmea} = -49998 + 31,196913 \cdot \text{EM} + 219,350257 \cdot \text{idade} - 0,004999 \cdot \text{EM}^2 - 0,034783 \cdot \text{idade} \cdot \text{EM} + 0,749763 \cdot \text{idade}^2$$

$$\text{Consumo ração macho} = -39547 + 24,056064 \cdot \text{EM} + 257,506049 \cdot \text{idade} - 0,00381 \cdot \text{EM}^2 - 0,042241 \cdot \text{idade} \cdot \text{EM} + 0,792996 \cdot \text{idade}^2$$

Os modelos completos ajustados para as equações quadráticas:

$$\text{Peso vivo fêmea} = -2629,392616 + 1,786173 \cdot \text{EM} - 15,325394 \cdot \text{idade} - 0,000298 \cdot \text{EM}^2 + 0,009547 \cdot \text{idade} \cdot \text{EM} + 1,03314 \cdot \text{idade}^2$$

$$\text{Peso vivo macho} = -3354,330916 + 2,275183 \cdot \text{EM} - 26,024964 \cdot \text{idade} - 0,00038 \cdot \text{EM}^2 + 0,012768 \cdot \text{idade} \cdot \text{EM} + 1,238741 \cdot \text{idade}^2$$

$$\text{Consumo de ração fêmea} = -2141,109982 + 1,396249 \cdot \text{EM} + 26,434941 \cdot \text{idade} - 0,000223 \cdot \text{EM}^2 - 0,007556 \cdot \text{idade} \cdot \text{EM} + 2,376905 \cdot \text{idade}^2$$

$$\text{Consumo ração macho} = -2733,306358 + 1,782576 \cdot \text{EM} + 26,410652 \cdot \text{idade} - 0,000285 \cdot \text{EM}^2 - 0,008886 \cdot \text{idade} \cdot \text{EM} + 2,819171 \cdot \text{idade}^2$$

Tabela 6 - Probabilidade, coeficientes de regressão e análise de variância para as respostas de consumo energético, conversão alimentar, peso da gordura cavitária e peso da carcaça de frangos de corte, machos e fêmeas

P Valor	Parâmetros	Consumo Energético		Conversão alimentar		Peso da Gordura cavitária		Peso da Carcaça	
		Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
	Pr> t  valor								
	Intercepto	<0,0001	<0,0001	0,0014	<0,0001	0,8831	0,3019	0,0095	0,1232
	EM	<0,0001	<0,0001	0,0278	0,0008	0,7151	0,2235	0,0100	0,0965
	idade	0,0647	0,1624	0,3561	0,4390	0,1189	0,4565	0,5121	0,4938
	EM*EM	<0,0001	<0,0001	0,1053	0,0057	0,5787	0,1673	0,0126	0,1078
	idade*EM	0,0244	0,0177	0,2410	0,0500	0,0951	0,3034	0,7017	0,9290
	idade*idade	<0,0001	<0,0001	0,7995	0,2009	0,1721	0,4511	0,1621	0,0066
	R <sup>2</sup>	0,9915	0,9898	0,9896	0,9860	0,6903	0,5235	0,9036	0,8873
	CV (%)	4,5415	5,0530	1,4666	1,5728	28,7591	36,8360	8,9750	10,7504
<b>Coefficientes do Modelo</b>									
	Parâmetros	Consumo Energético		Conversão alimentar		Peso da Gordura cavitária		Peso da Carcaça	
		Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
	Intercepto	-150,824125	-136,270399	6,624339	9,986302	-111,492469	793,854485	-18775	-15961
	EM	0,09629	0,086742	-0,002799	-0,00472	0,175944	-0,595673	11,851574	10,95017
	idade	0,160252	0,149816	0,007298	-0,006293	-9,020877	4,333626	35,354485	-53,409093
	EM*EM	-0,000015838	-0,000014356	0,000000329	0,000000611	-0,0000043471	0,00011	-0,001862	-0,001719
	idade*EM	0,000059796	0,000078763	0,000002846	0,000005036	0,002455	-0,001524	-0,005244	0,001764
	idade*idade	0,002251	0,002337	0,000009418	0,000049718	0,054658	0,030389	0,52473	1,498465
<b>Análise de Variância</b>									
<b>Causas de variação (Pr&gt;F)</b>									
	Regressão								
	Linear	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Quadrático	<0,0001	<0,0001	0,2544	0,0110	0,3364	0,2899	0,0174	0,0074
	Interação	0,0244	0,0177	0,2410	0,0500	0,0951	0,3034	0,7017	0,9290
	Total do Modelo	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Os modelos completos ajustados para as equações quadráticas:

Consumo Energético fêmea= -150,824125 + 0,09629\*EM + 0,160252\*idade -0,000015838\*EM^2 + 0,000059796\*idade\*EM + 0,002251\*idade^2

Consumo Energético macho= -136,270399 + 0,086742\*EM + 0,149816\*idade -0,000014356\*EM^2 + 0,000078763\*idade\*EM + 0,002337\*idade^2

Conversão alimentar fêmea= +6,624339 -0,002799\*EM + 0,007298\*idade +0,000000329\*EM^2 + 0,000002846\*idade\*EM + 0,000009418\*idade^2

Conversão alimentar macho= +9,986302 -0,00472\*EM -0,006293\*idade +0,000000611\*EM^2 + 0,000005036\*idade\*EM + 0,000049718\*idade^2

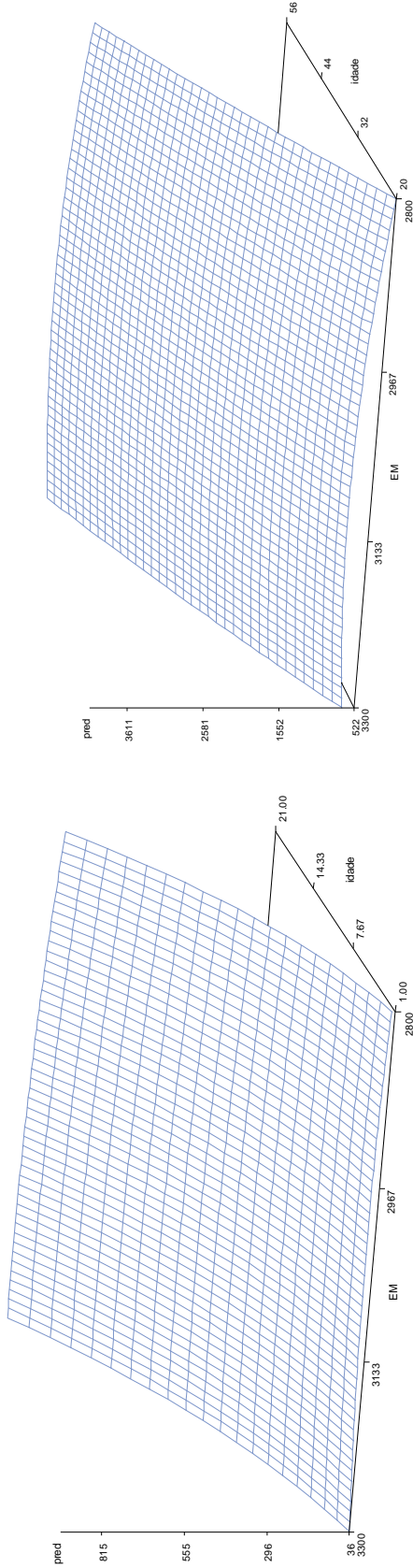
Peso Gordura cavitária fêmea= -111,492469 + 0,175944\*EM -9,020877\*idade -0,000043471\*EM^2 + 0,002455\*idade\*EM + 0,054658\*idade^2

Peso Gordura cavitária macho= +793,854485 -0,595673\*EM + 4,333626\*idade + 0,00011\*EM^2 -0,001524\*idade\*EM + 0,030389\*idade^2

Peso carcaça fêmea= -18775 + 11,851574\*EM + 35,354485\*idade -0,001862\*EM^2 -0,005244\*idade\*EM + 0,52473\*idade^2

Peso carcaça macho= -15961 + 10,95017\*EM -53,409093\*idade -0,001719\*EM^2 + 0,001764\*idade\*EM + 1,498465\*idade^2

a



b

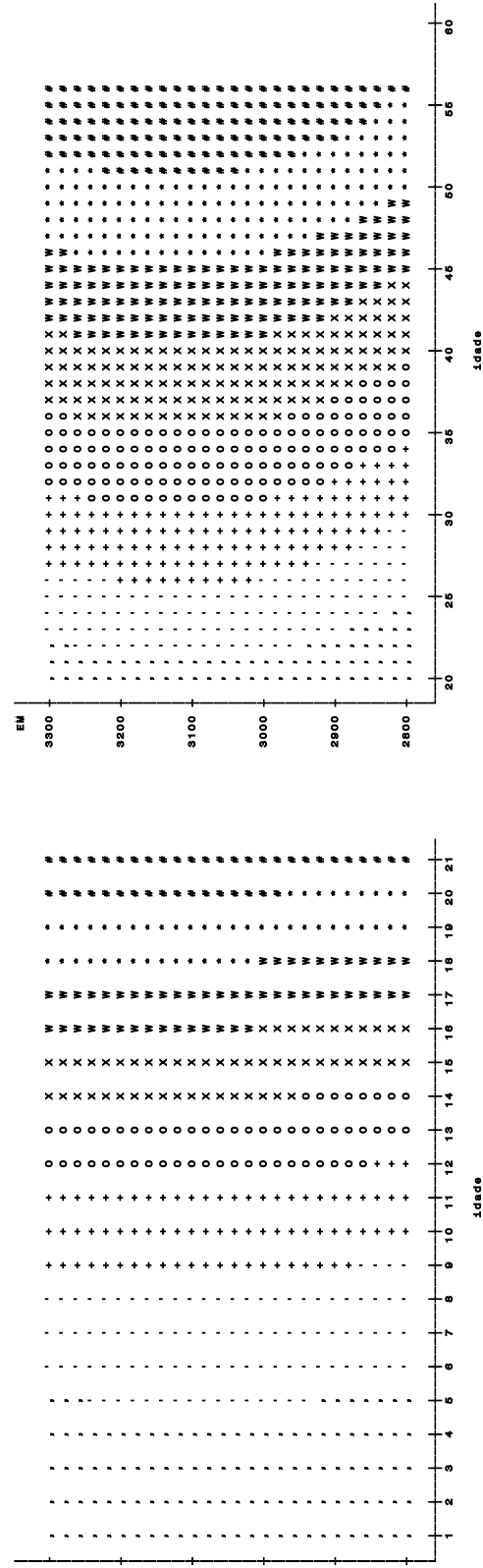
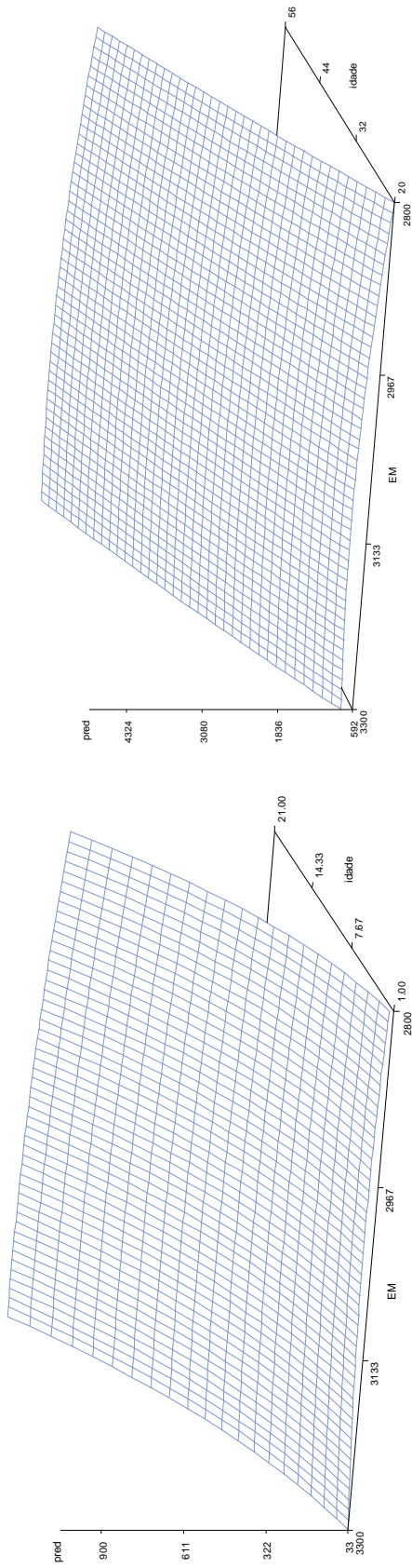


Figura 1 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o peso vivo de fêmeas (gramas), segundo a variação da idade (1 a 20 dias e de 21 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).

a



b

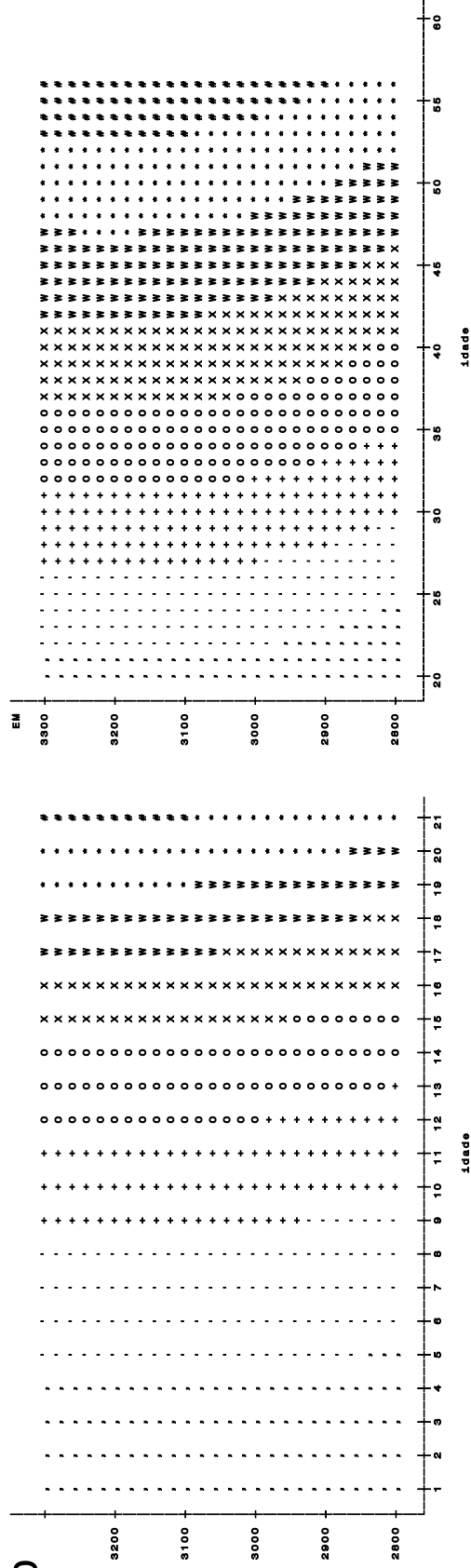
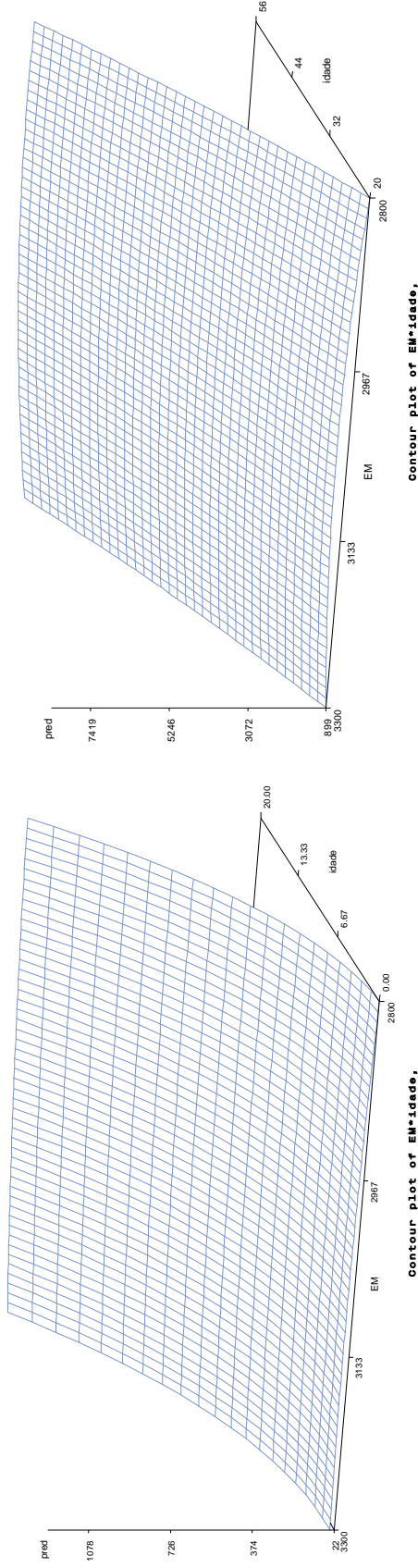


Figura 2 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o peso vivo de machos (gramas), segundo a variação da idade (1 a 20 dias e de 21 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).



a



b

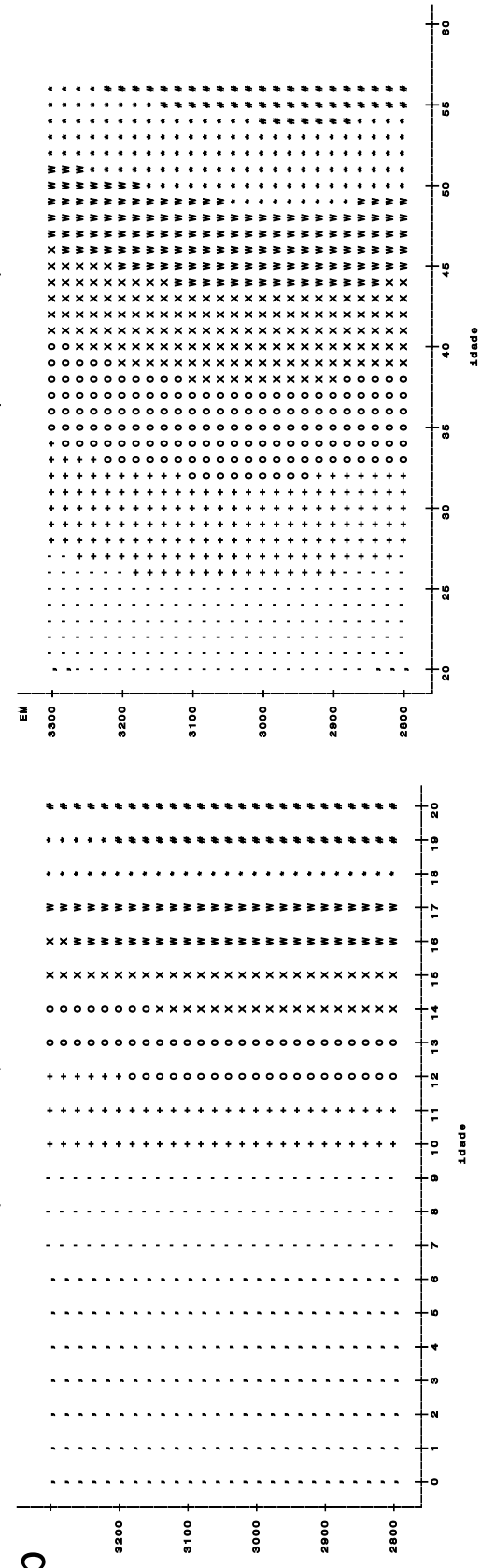


Figura 3 - Superfície de repostas (a) e gráficos de contornos (b) para o consumo de ração de fêmeas (gramas), segundo a variação da idade (1 a 20 dias e de 21 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).



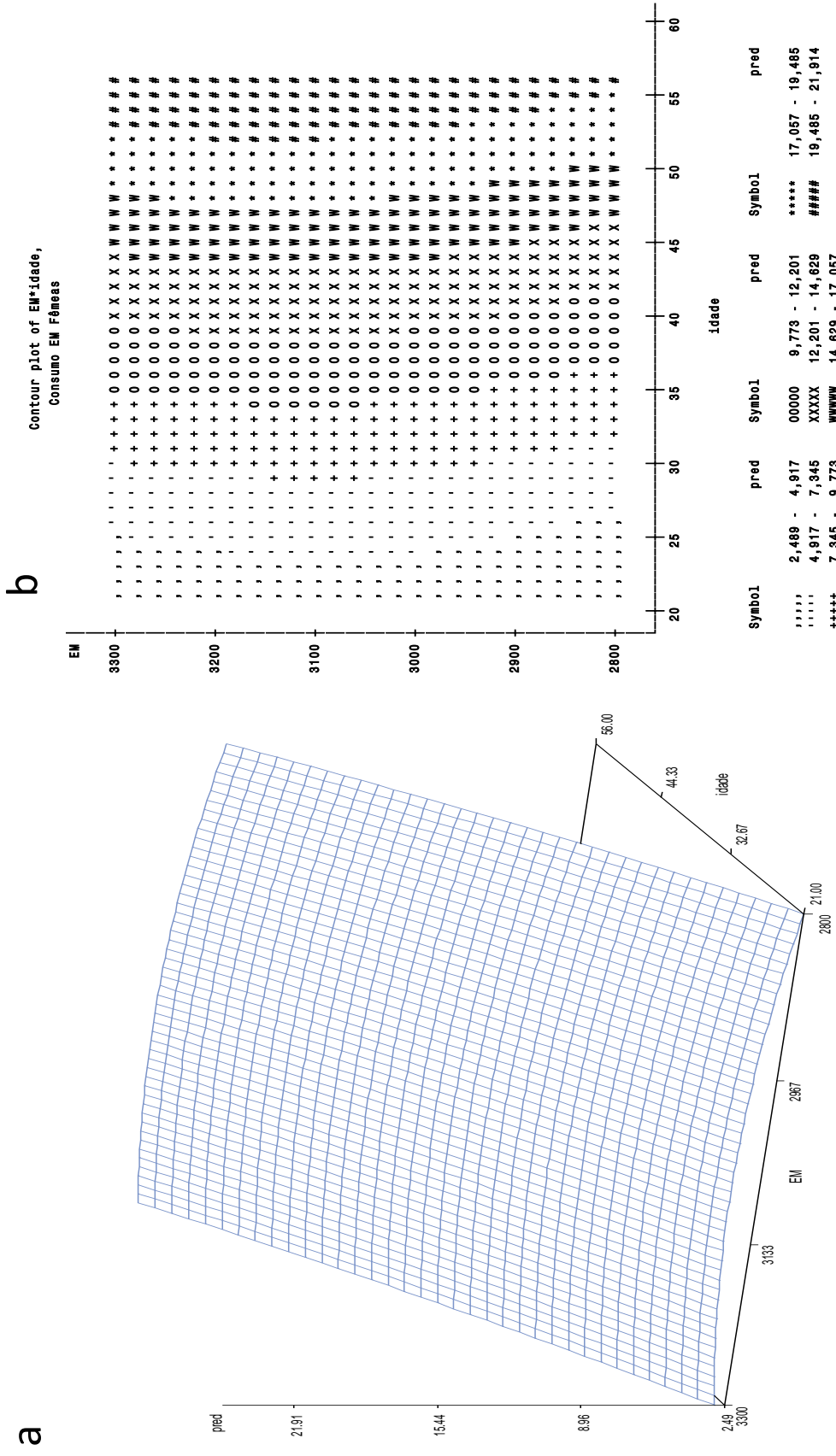


Figura 5 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o consumo de energia metabolizável de fêmeas (Mcal), segundo a variação da idade (21 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).

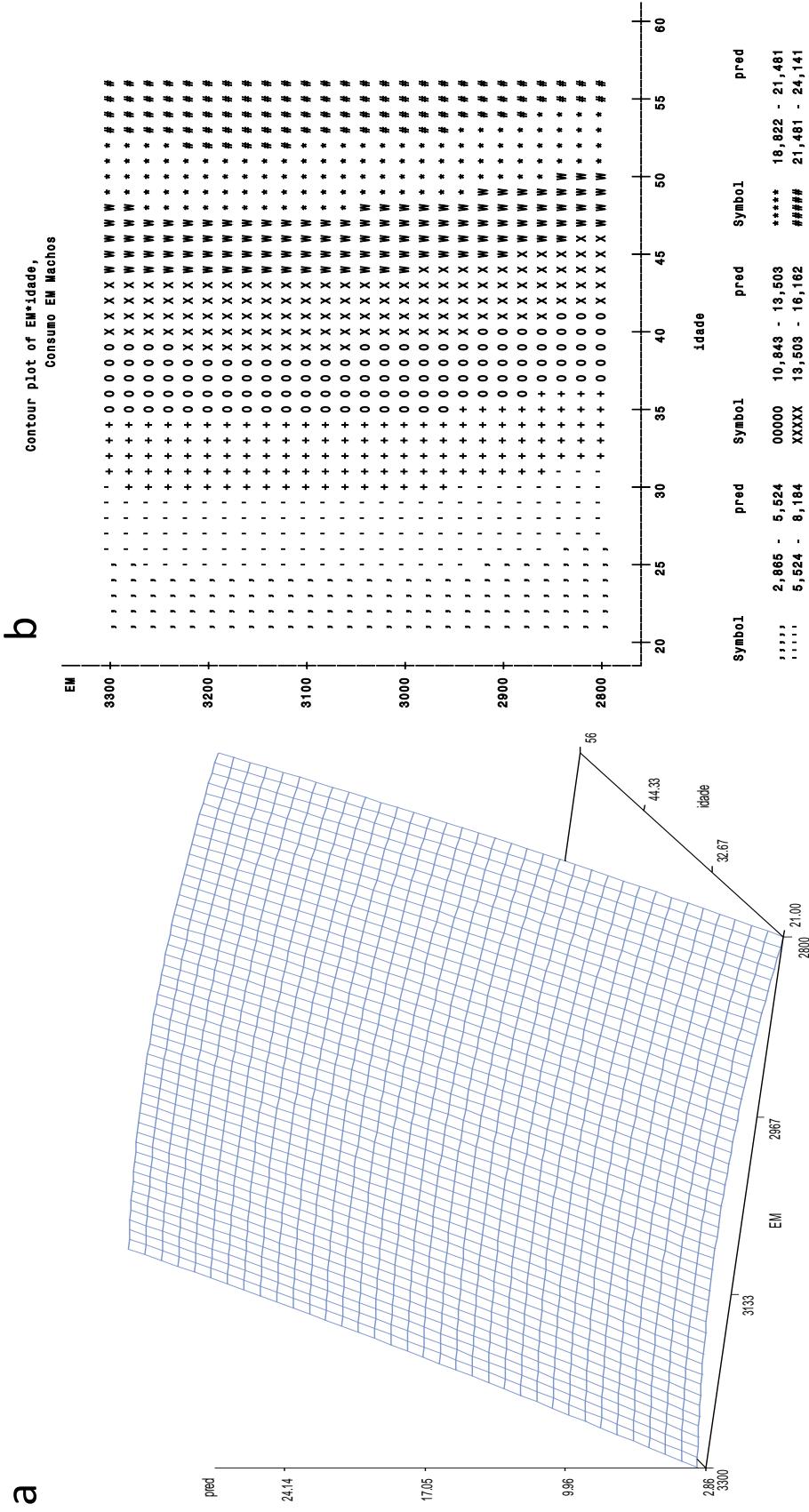


Figura 6 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para o consumo de energia metabolizável de machos (Mcal), segundo a variação da idade (21 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).

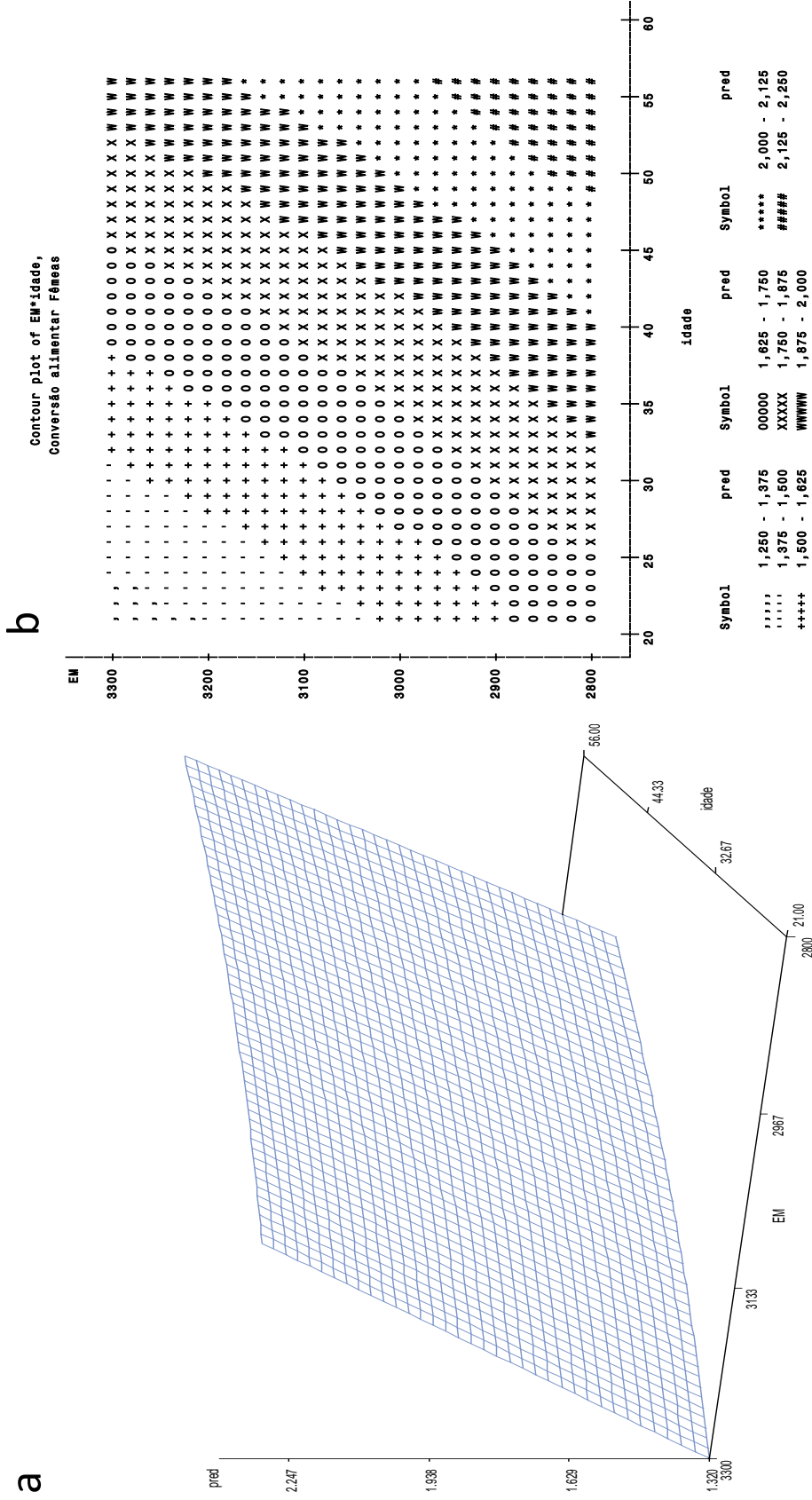


Figura 7 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para conversão alimentar de fêmeas (g/g), segundo a variação da idade (21 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).



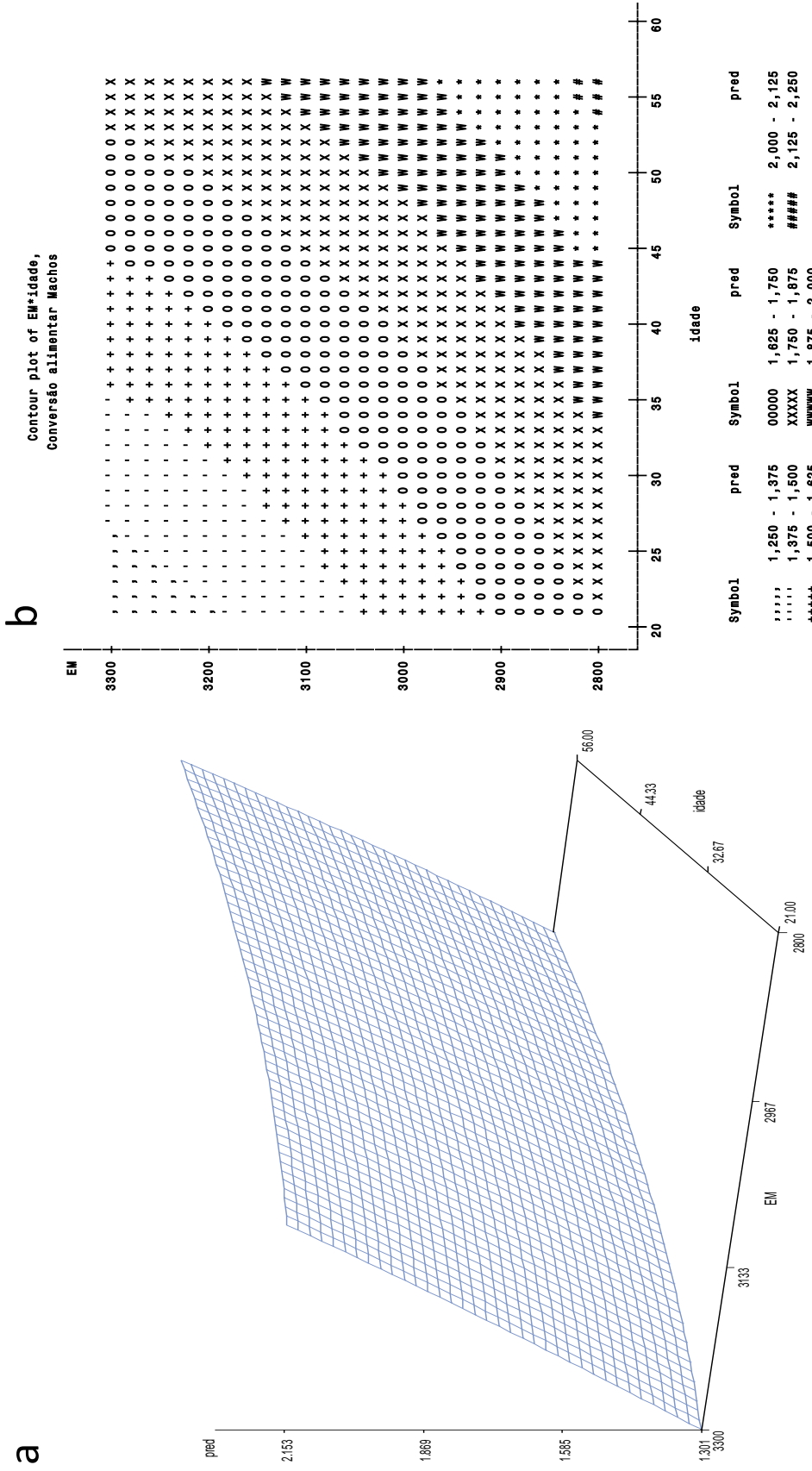


Figura 8 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para conversão alimentar de machos (g/g), segundo a variação da idade (21 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).

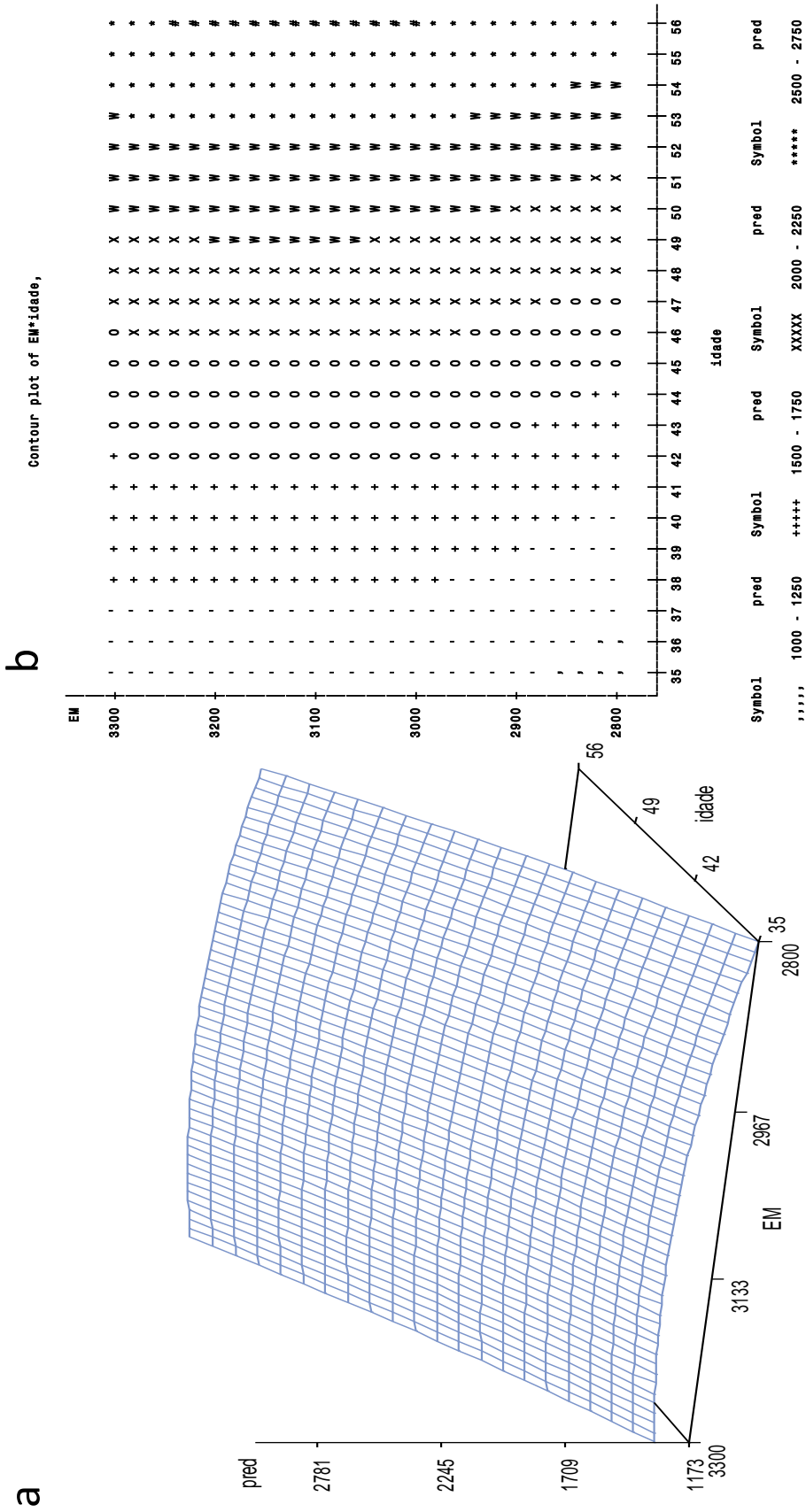


Figura 9 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para carcaça de fêmeas (gramas), segundo a variação da idade (35 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).

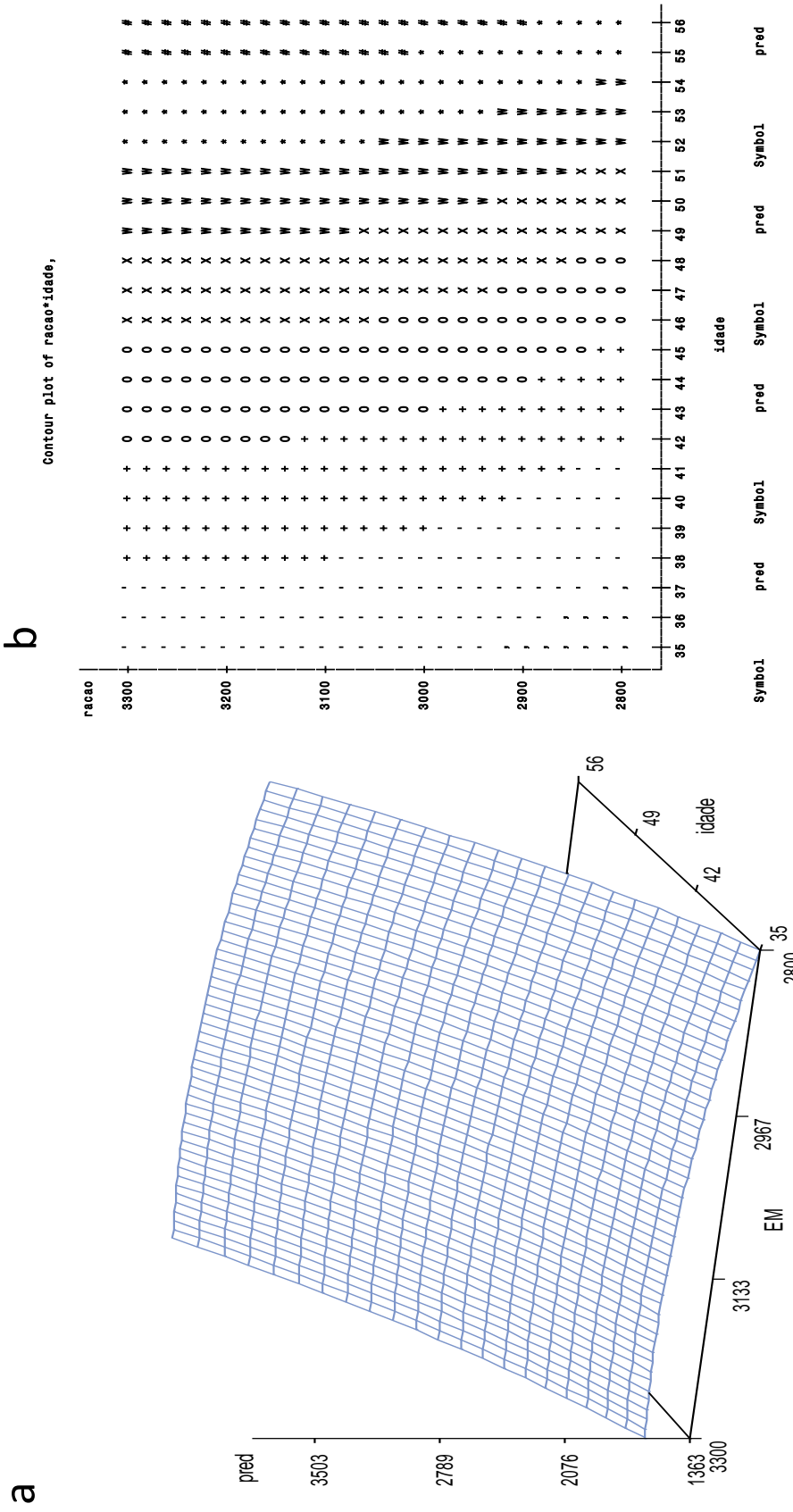


Figura 10 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para carcaça de machos (gramas), segundo a variação da idade (35 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).



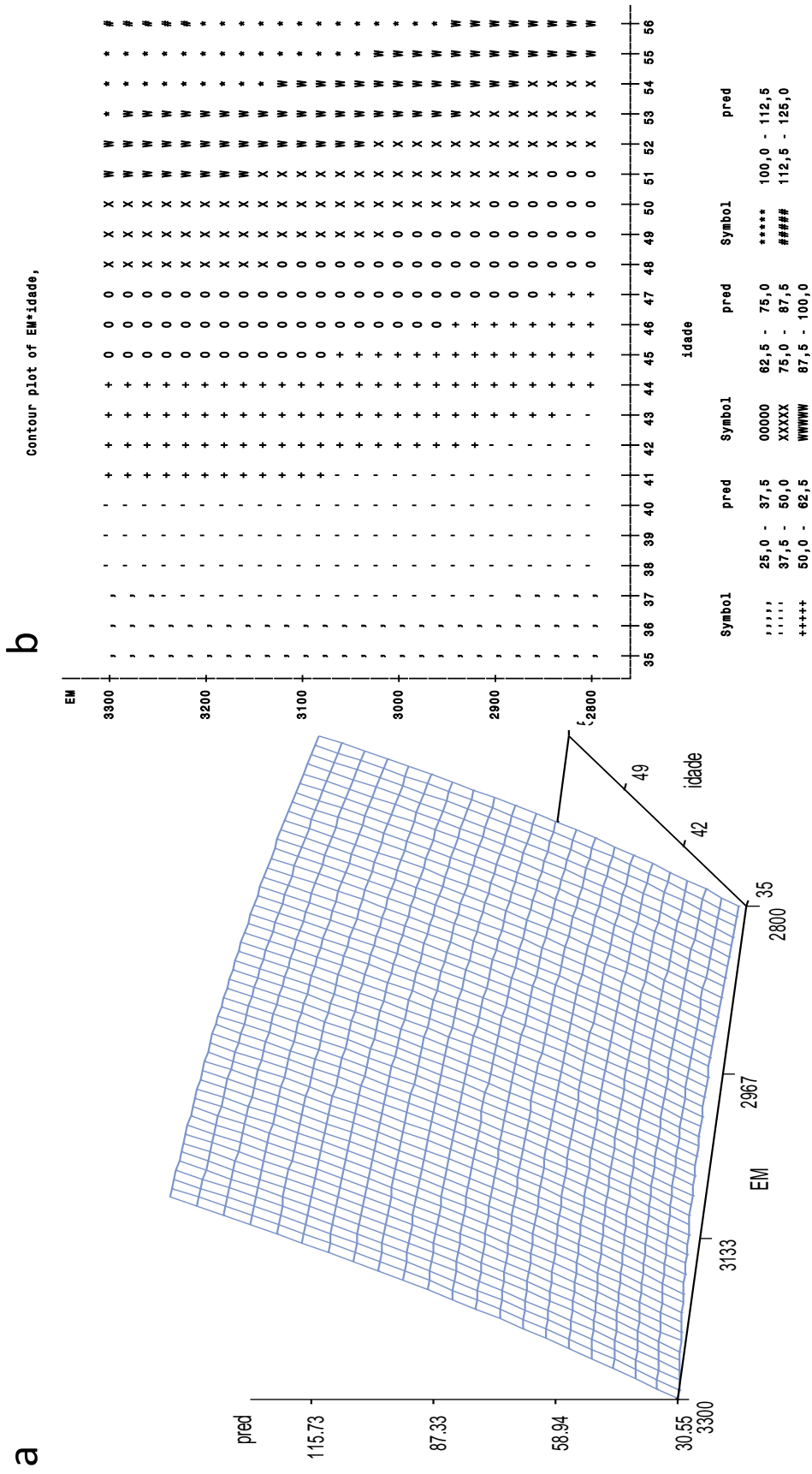


Figura 11 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para gordura cavitária de fêmeas (gramas), segundo a variação da idade (35 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).

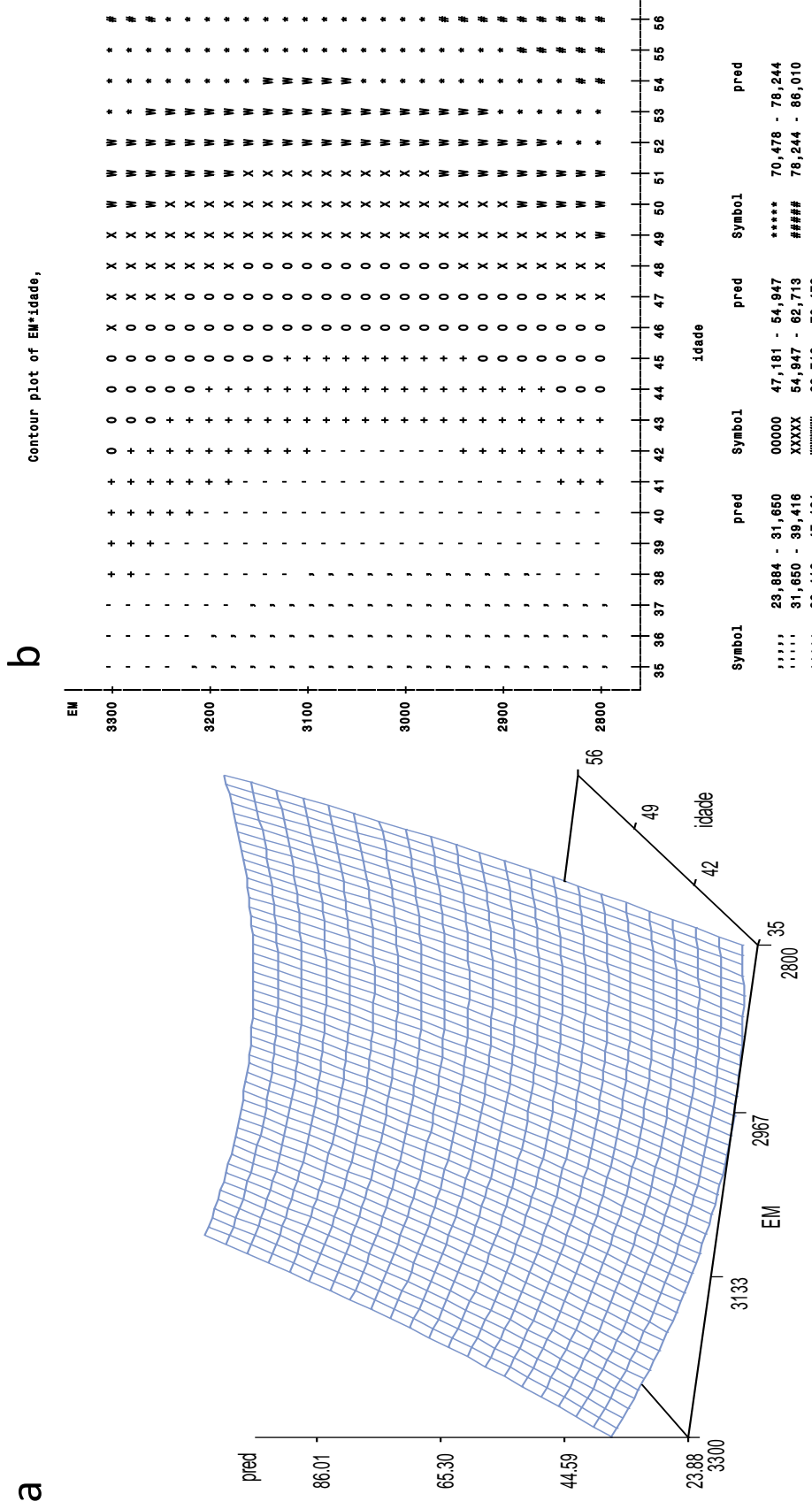


Figura 12 - Superfície de respostas (a) e gráficos de contornos (b) para gordura cavitária de machos (gramas), segundo a variação da idade (35 a 56 dias) e do teor energético da ração (2800 a 3300 kcal EM/kg).

As fêmeas, que sabidamente apresentam pior potencial genético para desenvolvimento corporal, como era esperado, apresentaram um maior teor de gordura cavitária, que quase dobrou entre os períodos estudados (1-42 e 1-56 dias de idade). Isto mostra que houve um grande desperdício energético em função da deposição excessiva de gordura cavitária. Assim, a eficiência de desempenho das fêmeas é desfavorável depois dos 40 dias de idade, com prejuízos significativos para o rendimento de carcaça e para uma maior deposição de gordura cavitária para as fêmeas. Razão da recomendação do seu abate ser indicado mais cedo, por questões de retornos econômicos.

Pode ser constatado que a influência da densidade nutricional da dieta é minimizada com o passar da idade em relação ao peso vivo das aves, razão das faixas/bandas serem mais largas com inclinações das retas mais intensas para a variação do peso das aves mais novas, e vice-versa.

Desta forma, o peso vivo mais favorável para o abate mostra-se dependente do sexo (lucros maiores para os machos), justificando o abate mais precoce para as fêmeas. E também da interação idade e densidade nutricional, demonstra haver um alto custo por visar somente o ganho de peso como objetivo da formulação (formulação de custo mínimo), o que contraria a lei dos rendimentos decrescentes, sendo muito empírico recorrer à formulação linear para o objetivo de lucro máximo. Assim, para minimizar os custos e tempos, visando maximizar os rendimentos econômicos, é fundamental a aplicação do princípio não linear como ferramenta de formulação.

Uma ração de alta densidade é definida como aquela que apresenta o seu conteúdo energético da dieta com todos os nutrientes essenciais mantidas na mesma proporção do aumento energético (SALEH et al., 2004).

Portanto, consistentemente pode ser afirmado que se os nutrientes dietéticos essenciais são mantidos em proporção à densidade energética da dieta, segundo as adequadas necessidades (macho/fêmea) dos frangos de corte, tanto o peso e a conversão alimentar são favorecidos com o aumento da densidade energética da dieta (LEESON et al., 1996; SALEH et al., 2004).

Assim, com a aplicação desse princípio, uma dieta de alta densidade energética por permitir uma rápida taxa de ganho, viabiliza um melhor retorno econômico, justificando a aplicação de modelos não lineares para formulação.

Dessa forma, esse fascinante desafio de aliar as questões econômicas (lucro máximo) com a produção animal (ganho máximo) permitiu a evolução de formulações de custo mínimo (conceito linear) para a modelagem econômica e nutricional (modelos não lineares) e suas interações, principalmente porque, não necessariamente, o melhor ganho de peso implica em um lucro máximo.

E assim sendo, faz-se necessário a atualização e calibração das curvas de crescimento dos modernos frangos de corte, que através da elevada capacidade de produção combinada à uma densidade nutricional adequada, permite uma melhor rentabilidade.

Surge então, a ampliação do conceito da proteína ideal, para densidade energética ideal, no qual o perfeito balanceamento entre energia: nutrientes essenciais melhora o desempenho das aves (CERRATE; WALDROUP, 2009a; 2009b) para uma máxima rentabilidade, mas sem necessariamente permitir a completa expressão do potencial genético da ave, daí a afirmação de Penz, (2010) em relatar que "nutrição de precisão é romper paradigmas", e não só com frango de corte, mas também com formulação não linear para poedeiras (AFROUZIYEH et al., 2010).

A calibração do atual modelo, feito através da Planilha PFR, por ser distinto para machos e fêmeas, expressa simulações coerentes quando comparado com as propostas anteriores (GUEVARA 2004; MILLER et al., 1986), evitando que as fêmeas sejam alimentadas com dietas para machos, que apesar de não manifestar perda no desempenho, favorece perdas econômicas, não sendo o inverso verdadeiro, ou seja, machos arraçados com dietas de fêmeas, apresentam queda no desempenho e perdas econômicas.

O teor energético de uma ração é o item que mais onera uma dieta. Assim busca-se neste trabalho conhecer e determinar qual o ponto ideal para acelerar o crescimento das aves, contudo, sem comprometer o máximo retorno econômico. Portanto, na presente discussão não cabe ou teria muito sentido abordar sobre o maior ou menor consumo, ou o melhor ou pior peso corporal

ou conversão alimentar, pois a questão fundamental é definir em qual condição de peso e consumo há uma melhor opção de margem de lucro.

O conceito de formulação de lucro máximo se apoia na lei dos retornos decrescentes (ALMQUIST, 1953). Por ser a densidade energética um parâmetro dos retornos decrescentes, é viável sua avaliação econômica para estimar a resposta biológica máxima para o ganho de peso. Tal procedimento viabiliza o arraçamento distinto para cada sexo, conforme recomendações de Rostagno et al. (2005, 2011), e ainda, justificando o porquê do teor energético da dieta ser provavelmente o item mais relevante de uma formulação para frangos de corte, que responde em 70% do custo total da dieta ( GUEVARA, 2004; SALEH et al., 2004; SKINNER et al., 1992).

Acompanhando o procedimento de Guevara (2004), a planilha PFR versão não linear utiliza as equações quadráticas que avaliam o ganho de peso, com a adição de dados econômicos (preço do kg do frango) e os custos dos ingredientes da ração e permitindo o cálculo da densidade energética da dieta que maximiza o lucro.

Como princípio, a formulação de lucro máximo considera os requisitos nutricionais, a variação dos preços dos ingredientes e o valor do preço de kg de frango, desta forma a dieta formulada é o resultado de cálculos baseados no peso corporal, no consumo de ração em função da densidade energética da dieta (CERRATE; WALDROUP, 2009a; 2009b; GUEVARA, 2004).

Assim, a flexibilidade desse princípio de formulação, proporciona um melhor desempenho aos animais, com a otimização dos resultados econômicos, fazendo com que as aves recebam os nutrientes e a energia em quantidades adequadas para o seu melhor desempenho, com vistas ao conceito da nutrição de precisão, que abrange tanto a relação entre os aminoácidos e a lisina digestível, as relações entre nutrientes e as necessidades energéticas, bem como as relações entre minerais.

Diferenciando de propostas anteriores o presente trabalho, não considera apenas uma dieta única (GUEVARA, 2004; MILLER et al., 1986), mas sim as exigências conforme as fases (inicial, crescimento e terminação) e

o sexo (machos/fêmeas) e ainda, visando uma melhor qualidade da carcaça foi mantida uma relação constante entre caloria/nutrientes da dieta (CERRATE; WALDROUP, 2009a; 2009b). De acordo com Kessler (2000) a grande capacidade de consumo das atuais linhagens de frangos de corte associado ao desequilíbrio dietético favorece a deposição de gordura corporal.

Uma vez que, se a proporção de energia e o restante dos nutrientes são mantidos constantes, o aumento do peso corporal não implica na alteração da qualidade da carcaça (CERRATE; WALDROUP, 2009a; 2009b; SALEH et al., 2004). Razão da sugestão do modelo "energia:nutrientes" ser considerado o melhor método para formulação não linear (CERRATE; WALDROUP, 2009a; 2009b) e ainda, pela energia metabolizável ser o principal fator a afetar a ingestão de ração, e assim, induzir num aumento de ingestão de outros nutrientes (LEESON et al., 1996).

Portanto, ao aplicar os modelos obtidos no presente experimento em uma planilha não linear (PPFR), atenderam-se os quesitos anteriormente citados, validando para ser confiável dentro da faixa de valores em que as equações foram geradas (21-56 dias de idade). Além disso, quando os preços dos ingredientes são alterados, o modelo busca manter a densidade energética mais favorável para o máximo lucro através de realocação de outros ingredientes disponíveis, na qual a oscilação de preço do frango também interfere na densidade calórica (GUEVARA, 2004; RENZ, 2005).

Com o desenvolvimento da planilha PPFR (versão não linear) para otimização de lucro desenvolvida em Microsoft Excel® mostra-se abrangente e eficiente como ferramenta de formulação, que com a utilização de macros e automatização de funções ficou mais ágil e prática.

Para otimizar a dieta, basta agora, selecionar na planilha "nutrientes" a fase (inicial, crescimento ou terminação) e a categoria (macho ou fêmea), conforme às recomendações nutricionais de Rostagno et al. (2005, 2011). E posteriormente, na planilha "Formular", segundo os modelos das funções objetivos obtidos pelo presente experimento (Tabelas 5 e 6), deve-se: definir o tipo de lote, atualizar o preço do kg do frango, especificar a idade prevista para a fase desejada, e por fim, utilizar a ferramenta Solver de otimização do Excel (Figura 13).





O resultado obtido será a densidade energética mais favorável, entre 2,8 e 3,3 Mcal/kg de Energia Metabolizável, para permitir o máximo lucro ("margem bruta"), segundo o preço do frango (kg) e custos dos ingredientes, pela utilização do suplemento Solver com opções pré-selecionadas e definidas, o que demonstra o diferencial do sistema rígido da programação linear para a flexibilidade da não linear, demonstrando que não é o máximo ganho (formulação linear) que permite o maior lucro (não linear) (Figura 14).



Figura 14 - Densidade energética mais favorável, entre 2,8 e 3,3 Mcal/kg de Energia Metabolizável



O PPFR é uma planilha para formulação e otimização de ração, que estima as exigências nutricionais (com base do teor da energia da dieta), o peso corporal ao final de cada período (de 1 a 56 dias) o consumo de ração e a conversão, com base nas equações obtidas no presente experimento e exigências de Rostagno et al. (2005, 2011), sendo oferecido sem custo e aberto.

Visando um melhor ajuste do modelo matemático para o peso corporal e o consumo de ração, e também para permitir total mobilidade entre 1 a 56 dias de idade, foi incorporado curvas distintas para 1 a 20 dias de idade e para 21 a 56 dias de idade. Com esse cuidado há um ajuste perfeito para caracterizar o crescimento das aves, que se mostra sigmoide (VARGAS et al., 2006)

Devido às recentes alterações, o programa PPFR tornou-se mais robusto e vem sendo aprimorado, com uma versão completamente nacional através das tabelas de Rostagno et al. (2005, 2011) e equações para funções objetivo do presente projeto. Com uma nova interface (macros e botões), permitindo maior facilidade de uso, praticidade e precisão.

Como contribuição prática do atual experimento, ao fornecer à planilha PPFR modelos de crescimento das aves e consumo de ração nas condições nacionais, são geradas agora informações importantes para a tomada de decisão, a saber:

1 - Qual o teor energético mais apropriado, economicamente, segundo o cenário determinado pelo mercado e as exigências nutricionais definidas pelo formulador (Figura 15)?

FORMULAR

# SOLVER

Desempenho Superior / Terminação  
Idade: 43-46 dias

Preço, R\$/kg frango  
**2,31**

Nutriente	Exigência	Excedente	Máx.	Unid.	Fornecido	R\$ Lucro/1000 aves
Custo		0,6289		R\$	3,1475	4.103,44
Energia Met. Aves	0,00	0,00	10	Mcal/kg	3,1475	
Proteína Bruta (PB)	0,00	2,01	100	%	19,06	
Cálcio	0,00	0,00	100	%	0,59	
P Disponível	0,00	0,00	100	%	0,25	
Relação Ca/P disponível	2,13	2,15	100	%	2,15	
Potássio	0,00	0,12	100	%	0,69	

Idade ao final de cada fase  
**45**

Figura 15 - Teor energético mais apropriado economicamente.

2- Qual o peso da ave previsto nessa condição (Figura 16)?

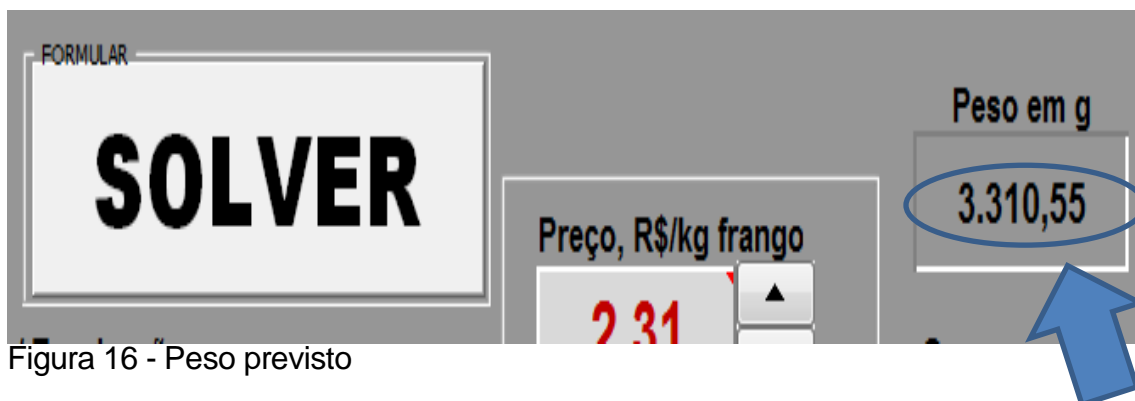


Figura 16 - Peso previsto

3- Qual o consumo de ração e conversão alimentar de ração esperados (Figura 17)?

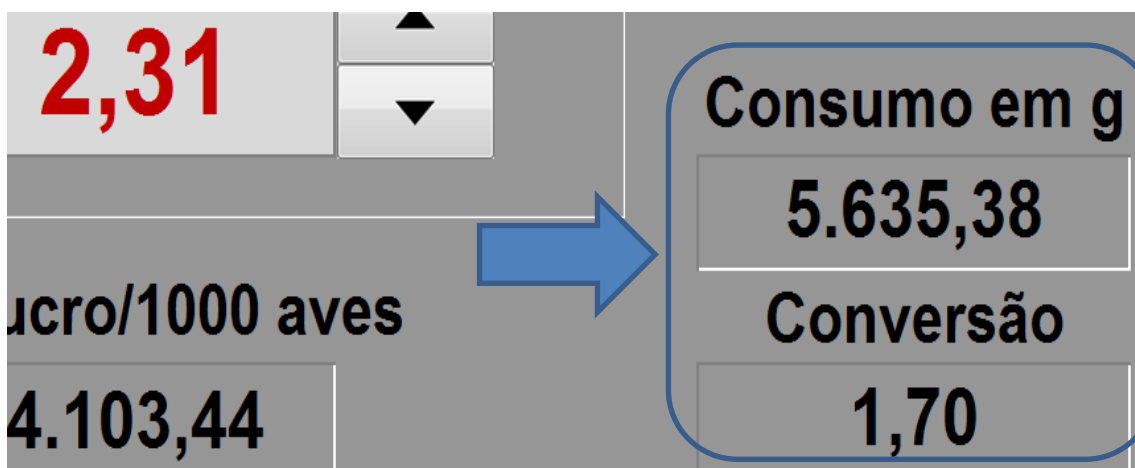


Figura 17 - Consumo e índice de conversão alimentar.

4- Qual a estimativa para a gordura cavitária e o rendimento de carcaça (Figura 18)?



Figura 18 - Estimativa da gordura cavitária e o rendimento de carcaça

5- Finalmente, qual a previsão de margem bruta ("Lucro máximo") (Figura 19)?

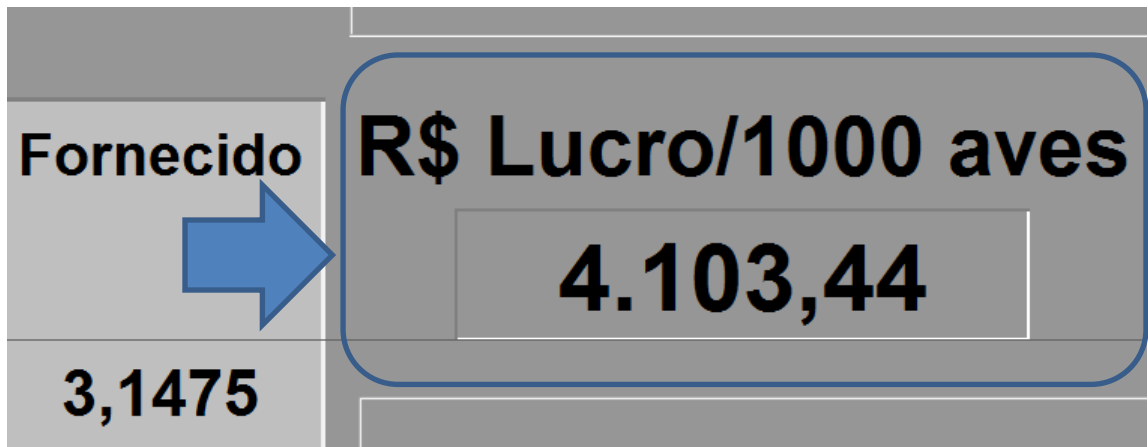


Figura 19 - Previsão da margem bruta.

Portanto, a planilha de formulação PPFr é flexível e mostra-se eficaz para balancear rações, solucionando com precisão problemas de formulação de dietas, cujas combinações de ingredientes e nutrientes são exigidas, interagindo de modo complexo, permitindo abstrações de situações reais, através da análise de sensibilidade. Em assim sendo, proporciona decisões acertadas, com embasamento econômico, o que facilita a visualização e a compreensão dos modelos formulados, com a aplicação da técnica da programação não linear (Figura 20).

Figura 20 - Novas macros incorporadas no programa PPFr. A interface do software PPFr para Frangos de Corte, mostrando a aba 'SOLVER' e 'FORMULAR'. O 'SOLVER' está configurado para maximizar o lucro por 1000 aves, com o preço do frango ajustado para R\$ 2,31/kg e a idade final definida para 45 dias. O 'FORMULAR' oferece opções de resposta, sensibilidade e limites.

[https://sites.google.com/site/ppfrparaexcel2007ousuperior/PPFr\\_FrangoPNLLucroM%C3%A1ximoExcel2007Up.zip?attredirects=0&d=1](https://sites.google.com/site/ppfrparaexcel2007ousuperior/PPFr_FrangoPNLLucroM%C3%A1ximoExcel2007Up.zip?attredirects=0&d=1)

Figura 20 - Novas macros incorporadas no programa PPFr

Assim, é pressuposto que, ao se aplicar a análise de sensibilidade em um modelo, deve-se levar em consideração que todos os valores dos parâmetros em análise são mantidos fixos/constantos, sendo avaliado apenas um dado por vez, também sendo denominado em economia como análise marginal (MOORE; WEATHERFORD, 2008). Há necessidade de lembrar que essas estimativas são para uma situação atual (preços e exigências) e que podem diferir caso haja alterações futuras (Figura 21).

Segundo a formulação de custo mínimo, pelo critério da programação linear, apesar de favorecer os níveis de exigências mínimas ou de máximas de cada nutriente, favorece a ocorrência de imbalanços entre nutrientes na solução final. Entretanto, ao ser utilizada a programação não linear, a mesma atende os seguintes objetivos:

- 1- Atender os requisitos nutricionais;
- 2- Atender as restrições dos ingredientes;
- 3- Atender as taxas entre nutrientes, incluindo, por exemplo, o cálcio e o fósforo, as relações entre aminoácidos e as relações entre eletrólitos (número de Mongin).

Os dois primeiros objetivos (1 e 2) são viáveis na formulação linear, mas somente a programação não linear apresenta flexibilidade suficiente para atender o terceiro objetivo (taxa entre nutrientes) (ZHANG; ROUSH, 2002). Provavelmente esta é uma das razões da programação não linear ser bem discutida atualmente.

Há vários softwares comerciais disponíveis para a formulação de rações, com propostas de gerenciamentos complexos, além da formulação de ração propriamente dita. Todavia, tais pacotes de gerenciamento não são necessários na pesquisa e ensino, principalmente devido seu custo e complexidade (PESTI; SEILA, 1999). Por essa razão, e visando atender essa lacuna, disponibiliza-se livremente o programa PFR, com a opção linear e não linear de balanceamento, viabilizando formulações para várias categorias de animais (<http://www.fmva.unesp.br/ppfr> ; <https://sites.google.com/site/ppfrparaexcel2007ousuperior/> ).

Entretanto, há necessidade de se expandir a visão do nutricionista formulador, principalmente do recém-formado, para que não fique apenas focado na formulação da ração, mas sim na avaliação e interpretação econômica da mesma, sendo este o maior desafio a ser enfrentado. Poucos são os textos que abordam tal assunto. A literatura apresenta pouca discussão sobre a análise de sensibilidade econômica, a despeito do fato da formulação da ração ser o objetivo primário da nutrição animal, e ainda, pela ração representar o maior custo da produção animal (PESTI; SEILA, 1999).





#### 4.1 Planilha PPFR: aplicação prática

Desde 1983 as Tabelas Brasileiras para aves e suínos de composição de alimentos e exigências nutricionais (ROSTAGNO et al., 2011) são disponibilizadas, sendo em 2011 lançada a edição mais recente, e ainda, o que é melhor, disponibilizada integralmente pela internet ([http://www.lisina.com.br/publicacoes\\_detalhes.aspx?id=2183](http://www.lisina.com.br/publicacoes_detalhes.aspx?id=2183)).

Outro grande mérito das Tabelas Brasileiras refere-se à sua aceitação internacional, principalmente na América Latina, razão de sua publicação também em espanhol e inglês. Assim, aproveitando tal condição, também incorporamos na planilha PPFR a internacionalização, tanto em espanhol como em inglês (<https://sites.google.com/site/ppfrprogramforfeedformulation/>) (Figura 22).



Figura 22 - Programa prático de formulação de ração (PPFR).

Esses conhecimentos sobre o valor nutricional dos alimentos e das exigências dos animais permitem e representam uma condição de aplicabilidade imediata na formulação de rações pelos modelos obtidos no presente experimento. Mas um elo faltava, ou seja, uma ferramenta/planilha que incorporasse todas essas informações às novas tecnologias de informática, aplicando diretamente ao balanceamento de rações.

A formulação de ração, segundo o princípio linear, ainda predomina como opção para balanceamento de dietas, contudo, devido o aumento dos custos dos ingredientes e a necessidade da redução da contaminação ambiental, tem direcionado os nutricionistas à formulações com acurácia, sem recorrer a amplas margens de segurança. E ainda, devido ao aumento dos preços do milho e também de outras fontes energéticas, é fundamental revisar os níveis energéticos das dietas (PENZ-JUNIOR; BRUNO, 2012; ROSTAGNO et al., 2011).

Na prática, para atender essas condições, ao utilizar os modelos do presente projeto é possível estimar o crescimento do frango de corte, segundo o sexo, a idade e o teor de energia da ração. E assim, tendo como objetivo final, otimizar a margem bruta ("Ração de Lucro máximo") da criação de frangos de corte, e não apenas formular uma ração de custo mínimo.

Desta forma, através do modelo proposto no presente experimento, tanto a ingestão de ração como a estimativa do peso corporal, em diferentes densidades nutricionais, definem o melhor nível energético da dieta, viabilizando a mais favorável condição para otimizar a margem bruta.

Temos então, pela aplicação da formulação não linear, uma ferramenta que favorece a tomada de decisão, com maximização do desempenho econômico dos frangos de corte em diferentes cenários energéticos da dieta. Ou seja, maximizando a receita ( $\text{Peso do frango} \times \text{Preço/kg em R\$}$ ) e, no presente caso, minimizando os custos de produção (Custo da ração consumida).

A armadilha, ou problema nutricional está em apenas objetivar encontrar o menor custo da ração por kg, o que é muito limitante para se obter um eficiente resultado econômico. Portanto, minimizar o custo por kg de ganho do



frango deveria ser o objetivo principal da produção de frangos (MILLER et al., 1986). Desta forma, a visão não será mais uma razão de custo mínimo, mas uma produção com margem bruta máxima.

Tradicionalmente, o milho e o farelo de soja são os dois principais ingredientes das rações avícolas, representando em torno de 70 a 80% da dieta. Devido as recentes altas em curto espaço de tempo, faz-se necessário rever os princípios de formulação para garantir uma produção de frangos mais eficiente e econômica. Desta forma, o princípio não linear não visa produzir o “maior frango de corte” ao atingir o limite máximo de seu potencial genético, mas sim um frango mais adequado para diferentes cenários econômicos, com o menor custo por unidade de peso vivo (Figura 23).

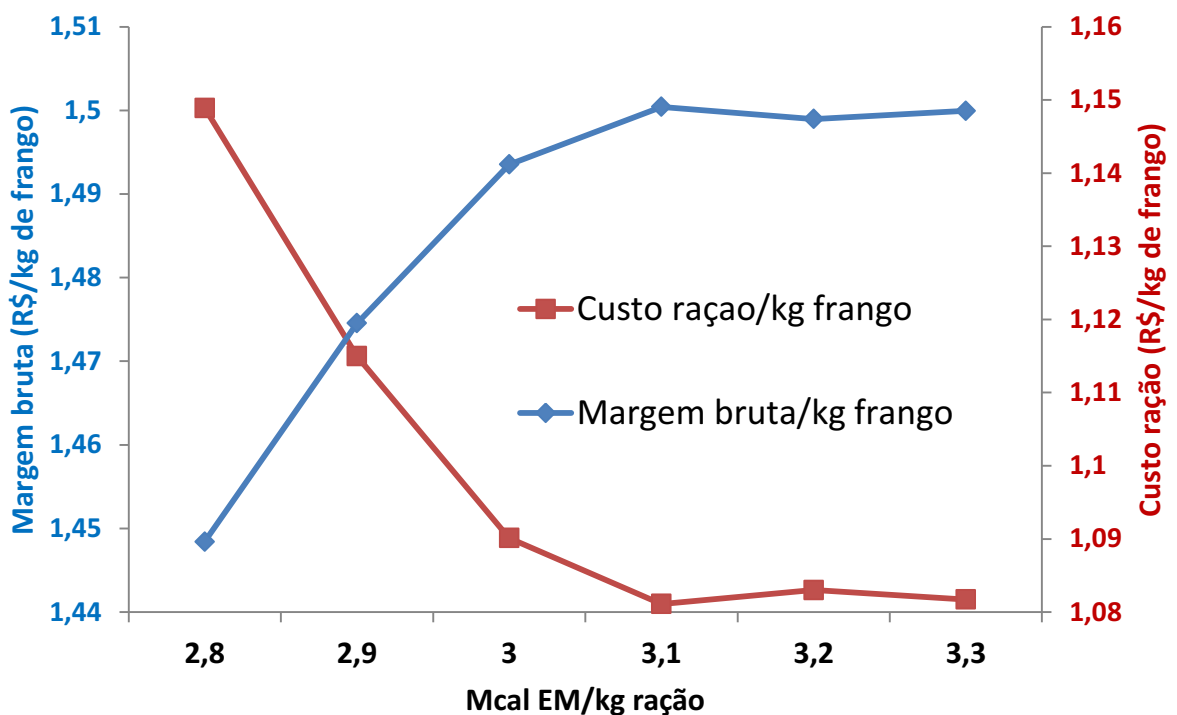


Figura 23 - Margem bruta e Custo da ração segundo teor energético de dietas formuladas pelo programa PPRF.

Para obter o modelo mais apropriado foi utilizada a metodologia da superfície de resposta. Assim, foram obtidas equações quadráticas segundo a idade, o sexo e a densidade nutricional mais apropriada para maximizar a margem bruta, durante o processo de formulação.

Desta forma, diferiu-se completamente dos trabalhos de Guevara (2004) e Afrouziyeh et al. (2010), que se limitaram somente a uma equação, o que gerou uma única faixa de opção. Entretanto, no presente trabalho foi possível ajustar os dados a uma malha de possíveis respostas, viabilizando, segundo Barros-Neto et al. (2010), "andar" nessa superfície de resposta.

Após a finalização do experimento, ao iniciar os ajustes dos modelos, num primeiro momento, utilizou-se o "habitual", pois nas primeiras tentativas foram geradas equações conforme os trabalhos revisados de otimização não linear (Tabela 7).

Tabela 7 - Funções objetivo para margem de custo, obtidas das equações quadráticas para peso corporal e para consumo de ração, segundo o sexo e a idade das aves

Sexo\idade	
<b>21 dias</b>	
Fêmeas =	$PF^*(-1,4903x^2 + 9,3318x - 13,833) - CR^*(-1,6157x^2 + 9,6946x - 13,424)$
Machos =	$PF^*(-1,8999x^2 + 11,912x - 17,814) - CR^*(-2,0406x^2 + 12,258x - 17,174)$
Mistos =	$PF^*(-1,6951x^2 + 10,622x - 15,824) - CR^*(-1,8282x^2 + 10,976x - 15,299)$
<b>35 dias</b>	
Fêmeas =	$PF^*(-3,0424x^2 + 19,027x - 27,788) - CR^*(-4,6068x^2 + 27,72x - 38,325)$
Machos =	$PF^*(-2,8103x^2 + 17,924x - 26,328) - CR^*(-3,3248x^2 + 19,789x - 25,777)$
Mistos =	$PF^*(-2,9263x^2 + 18,476x - 27,058) - CR^*(-3,9658x^2 + 23,754x - 32,051)$
<b>42 dias</b>	
Fêmeas =	$PF^*(-3,7857x^2 + 23,672x - 34,469) - CR^*(-5,5866x^2 + 33,602x - 45,98)$
Machos =	$PF^*(-2,747x^2 + 17,568x - 25,169) - CR^*(-5,4118x^2 + 32,507x - 43,815)$
Mistos =	$PF^*(-3,2664x^2 + 20,62x - 29,819) - CR^*(-5,4992x^2 + 33,054x - 44,897)$
<b>49 dias</b>	
Fêmeas =	$PF^*(-3,7196x^2 + 23,164x - 32,97) - CR^*(-6,2446x^2 + 37,168x - 49,39)$
Machos =	$PF^*(-3,6894x^2 + 23,406x - 33,448) - CR^*(-6,355x^2 + 37,812x - 49,715)$
Mistos =	$PF^*(-3,7045x^2 + 23,285x - 33,209) - CR^*(-6,2998x^2 + 37,49x - 49,553)$
<b>56 dias</b>	
Fêmeas =	$PF^*(-4,1458x^2 + 25,633x - 36,083) - CR^*(-6,9436x^2 + 40,921x - 53,026)$
Machos =	$PF^*(-2,8818x^2 + 18,536x - 25,602) - CR^*(-6,5895x^2 + 38,807x - 49,184)$
Mistos =	$PF^*(-3,5138x^2 + 22,085x - 30,843) - CR^*(-6,7665x^2 + 39,864x - 51,105)$

PF=Preço do frango (R\$/kg), EM= Energia Metabolizável (Mcal/kg), CR= Custo da ração (R\$/kg)

Decorrente disso, 15 equações foram obtidas, as quais permitiram 15 faixas de opções (ex: 0-21 dias ou 0-31 dias). Isto representou um enorme diferencial, mas desencadeou um grande inconveniente, ou seja, a necessidade de "muitos ajustes e manuseios" pelo usuário na planilha.

Buscando manter o foco com simplicidade, alterou-se radicalmente a proposta ao se adotar a metodologia da análise de superfície. Desta forma, reavaliando os dados, o óbvio (muitas vezes de difícil identificação e percepção) ficou evidente, ao se aplicar as equações geradas pela análise de superfície, que além de minimizar o número de equações (15 para 2), viabilizou o programa PFR caminhar nessa malha gerada pelos dados (BARROS-NETO et al., 2010).

Tal procedimento incrementou as opções de respostas de otimização da planilha, permitindo uma melhor interpretação dos efeitos dos fatores envolvidos. Isso também possibilitou melhores subsídios para a análise econômica, ao indicar o mais favorável teor energético, ao final de períodos de criação definidos pelo usuário, numa condição de lucro máximo.

Em assim sendo, as respostas para a produção dos frangos de corte, segundo a idade e o teor energético da dieta, entendido como sendo "densidade nutricional", terá sempre duas entradas para definir a função quadrática, segundo a equação:

$$Y = f(I,E) = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 E + \beta_3 I^2 + \beta_4 E^2 + \beta_5 I * E$$

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 cavitária e peso de carcaça), sendo I e E a idade (dias) e o teor energético da dieta (Mcal/kg de EM), respectivamente.

As partes lineares ( $\beta_1 I$  e  $\beta_2 E$ ), quadráticas ( $\beta_3 I^2$  e  $\beta_4 E^2$ ) e os possíveis efeitos de interações ( $\beta_5 I * E$ ) dessas respostas de produção seguem à lei dos rendimentos decrescentes para a idade e para o teor energético ("Input").

Cabe a ressalva que as respostas quadráticas obtidas para os diferentes fatores avaliados no presente estudo, todas foram extremamente significativas ( $P < 0,0001$ ) para os modelos estudados (Tabelas 5 e 6).

O efeito causativo (variável independente representada pela idade e pelo teor energético), por atuar sobre as variáveis dependentes (ex: peso corporal) demonstrou que todas elas são funções mais complexas do que uma simples função linear, ou seja, os modelos obtidos são realísticos biologicamente, justificando, e muito bem, os resultados encontrados, segundo os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), que foram extremamente altos ( $>0,95$ ), demonstrando confiáveis estimativas.

Também ficou demonstrado pelo coeficiente de variação (CV) que a instabilidade das respostas estudadas foram muito baixas. Entretanto, como exceção, para o CV do peso da gordura cavitária (28,7% e 36,8%, respectivamente para fêmeas e machos), por ser uma variável reconhecidamente muito instável, mesmo assim ainda permitiu um  $R^2$  com capacidade razoável de precisão (69,03% para as fêmeas e 52,35% para os machos), segundo Sampaio (2007).

A contribuição da ferramenta Solver do Excel, na otimização da função objetivo, será encontrar, quando acionada, qual o melhor desempenho do animal (fonte de renda), sem necessariamente maximizar seu potencial de ganho de peso, levando em consideração o preço do produto (preço do kg do frango de corte pago pelo mercado) e a densidade energética mais apropriada para cada cenário de combinações. Assim, a margem bruta será a renda menos o custo (despesa com a ração consumida).

Pode-se ainda ser constatado que a resposta da densidade foi curvilínea (EM\*EM) para o consumo total energético. Portanto, para uma eficiente otimização, o modelo deverá obrigatoriamente ser não linear (CERRATE; WALDROUP, 2009a; EILA et al., 2012; GUEVARA, 2004), para garantir a maximização da eficiência econômica.

Com essa obrigatoriedade e através do princípio não linear de formulação do PFR, a proporção de nutrientes, em relação ao teor energético, se mantém o mesmo em todas as dietas.

Desta forma a otimização promovida pela ferramenta Solver do Excel definirá qual a combinação de energia/nutrientes será a mais econômica, o que contraria as recomendações dos manuais das linhagens e tabelas de exigências, que orientam para a maximização do ganho de peso, o que não necessariamente garante uma máxima eficiência econômica.

Assim, de acordo com o presente trabalho, o mais favorável teor energético será aquele definido pelos modelos matemáticos, otimizados pela ferramenta Solver, através das comparações de custo/benefício, segundo cada fase da criação (inicial, crescimento, terminação).

Esse ajuste econômico é muito dependente de quanto estreito ou largo for a relação entre energia/nutrientes. Ou seja, para rações pré-iniciais e iniciais, por serem naturalmente muito estreitas as relações (ex: energia:proteína 140:1; Tabelas 3 e 4), não permite grandes manobras na otimização, contudo por ser o consumo ainda baixo nessas fases, não acarreta grandes prejuízos tal limitação.

Todavia, com o passar da idade, e com o aumento das relações (ração fase crescimento 171:1; ração fase terminação 197:1; Tabelas 3 e 4), permite ajustes muito mais "folgados", por não serem engessados pela relação, no momento da otimização da ferramenta Solver, e felizmente e oportunamente no momento em que o consumo de ração se torna cada vez mais crítico, com impacto direto no custo. Assim, essa é a maior ou principal razão pela qual há pouca flexibilidade para o ajuste da formulação para rações iniciais, frente a alterações significativas dos custos dos ingredientes.

Do exposto, fica evidenciado a importância do estudo de modelos matemáticos e de novos princípios de formulação que integrem os atuais conhecimentos da utilização e deposição dos nutrientes nos tecidos corporais do moderno frango de corte, principalmente em proteína e gordura, visando à otimização de sua deposição na carcaça (LOPEZ et al., 2007). E desta forma, produzir carcaças de melhor qualidade, para clientes cada vez mais exigentes, que desejam um menor teor em gordura nos produtos consumidos (MEINERZ et al., 2001).

## 5 CONCLUSÕES

1 - O conceito de formulação não linear (ração de lucro máximo) mostra-se mais apropriado para atender o conceito da nutrição de precisão para frangos de corte;

2 - Se todos os nutrientes essenciais são mantidos em proporção adequada com a densidade energética da dieta, o peso corporal e a conversão alimentar são favorecidos com o aumento da densidade energética da ração. Esta condição viabiliza a aplicação de modelos para máximo lucro (formulação não linear), visando estimar a proporção de ganho de peso mais apropriada segundo o preço pago pelo mercado;

3 - A formulação de rações, baseada no conceito não linear, corrige as distorções do sistema tradicional (ração de custo mínimo/linear), resultando numa solução ótima em termos de teor energético da dieta. Uma vez que, segundo a metodologia proposta, as exigências de todos os nutrientes são automaticamente ajustadas pelo modelo matemático, relacionados ao teor energético estimado, conforme as recomendações nutricionais distintas para fases e idades de frangos de corte;

4 - O projeto viabilizou um conceito nutricional atual e prático (nutrição de precisão) e que agora poderá ser aplicado com o uso da planilha PFR, que por ser livre (sistema aberto e democrático) e acessível (uso do software Excel, da Microsoft), permite ajustes, com acurácia, nos modelos matemáticos adotados como suporte à decisão.

## 6 REFERÊNCIAS

AFROUZIYEH, M.; SHIVAZAD, M.; CHAMANI, M; DASHTI, G. Use of nonlinear programming to determine the economically optimal energy density in laying hens diet during phase 1. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, p. 2770 - 2777, 2010. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/ajar/PDF/pdf%202010/18%20Oct/Afrouziyeh%20et%20al.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2012.

ALMQUIST, H. J. Interpretation of amino acid requirement data according to the law of diminishing returns. **Arch. Biochem. Biophys.** v.44, p.245-247, 1953.

BARROS-NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**: aplicações na ciência e na indústria. 4 ed. Bookman, 2010. 414 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n°. 210, de 10/11/1998. Aprova o regulamento técnico da inspeção tecnológica e higiênico-sanitária de carne de aves. Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, poder Executivo, Brasília, DF, 26 de nov. 1998. Seção I, p. 226.

BRASIL. Decreto n°. 2244, de 5 de junho de 1997. Estabelece regulamentação da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, poder Executivo, Brasília, DF, 4 de jun.1997. Seção I, p. 204.

CERRATE, S.; WALDROUP, P. Maximum Profit Feed Formulation of Broilers: 2. Comparison among Different Nutritional Models. **International Journal of Poultry Science**, v. 8, p. 216-228, 2009a.

CERRATE, S.; WALDROUP, P. Maximum Profit Feed Formulation of Broilers: 1. Development of a Feeding Program Model to Predict Profitability Using non Linear Programming. **International Journal of Poultry Science**, v.8, p. 205- 215, 2009b.

EILA, N.; LAVVAF, A.; FARAHVASH, T. A model for obtaining more economic diets for laying hen. **African Journal of Agricultural Research**. v 7, n. 8, p. 1302-1306, 2012.

ESTEVE-GARCIA, E.; MACK, S. The effect of -methionine and betaine on growth performance and carcass characteristics in broilers. *Animal Feed Sci. tech.*, v.87, p. 85-93, 2000.

FRONTLINE SYSTEMS. **Solver User's Guide**. Incline Village, 1999. Disponível em: <http://www.solver.com/press199901.htm> . Acesso em: 16 jul. 2012.

GARCIA-NETO, M. **PPFR**: 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.

GARCIA-NETO, M., FARIA-JUNIOR, M.J.A. **PPFR**: Eficaz programa não-linear para lucro máximo In: Anais da Conferência FACTA 2009 de Ciência e Tecnologia Avícolas. Porto Alegre, 2009. **Anais...** Porto Alegre, RS, 2009. v. 1CDROM.

GUEVARA, V.R. Use of Nonlinear Programming to Optimize Performance Response to Energy Density in Broiler Feed Formulation. **Poultry Science**, v. 83, p.147-151, 2004.

KESSLER, A. M.; SNIZEK JÚNIOR, P. N.; BRUGALLI, I. Manipulação da quantidade de gordura na carcaça de frango. In: Anais da Conferência APINCO 2000 de Ciência e Tecnologia avícolas, 2000. **Anais...** 2000. v. 1. p. 107-134.

LANNA, D. P. D.; TEDESCHI, L.O.; BELTRAME-FILHO, J. A.. Modelos lineares e não-lineares de uso de nutrientes para formulação de dietas de ruminantes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, 1999. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90161999000200031&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161999000200031&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 10 jun. 2012.

LEESON, S.; CASTON, L.; SUMMERS, J.D. Broiler response to energy diet. **Poultry Science**, v.75, p.529-535, 1996.

LOPEZ, G.; LANGE, K.; LEESON, S. Partitioning of retained energy in broilers and birds with intermediate growth rate. **Poultry Science**, v.86, p. 2162-2171, 2007.

MEINERZ, C.; RIBEIRO, A.M.L.; PENZ-JUNIOR, A.M.; KESSLER, A.M. Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.2026-2032, 2001.

MICROSOFT OFFICE EXCEL. **Microsoft corporation**, Redmond, WA. 98052.

MILLER, B. R.; ARRAES, R. A.; PESTI, G. M. Formulation of broiler finishing ratios by quadratic programming. **Southern Journal of Agricultural Economics**, v. 18, n. 1, p. 141-150, 1986.



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

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

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

OVIEDO-RONDÓN, E. O.; FRITTS, C. A; WALDROUP, P. W. Accuracy of Omnipro II estimations for amino acid requirements of broilers. **International Journal of Poultry Science**, v. 1, n. 5, p. 119-126, 2002. Disponível em: <<http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ijps/2002/119-126.pdf>>. Acesso em 12 jun. 2012.

PENZ-JUNIOR, A. M. Nutrição de precisão em avicultura de corte. **Nutrition for tomorrow alliance**. 2010. Disponível em : <<http://www.nftalliance.com.br/nutricao-de-precisao-em-avicultura-de-corte>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

PENZ-JUNIOR, A. M.; BRUNO, D. G. **The future of broiler production in the Americas**. 2012. Disponível em : <[http://www.thepoultryfederation.com/public/userfiles/files/Penz\\_The%20Future%20of%20Broiler%20Production%20in%20the%20Americas\\_abstract.pdf](http://www.thepoultryfederation.com/public/userfiles/files/Penz_The%20Future%20of%20Broiler%20Production%20in%20the%20Americas_abstract.pdf)>. Acesso em 18 dez. 2012.

PENZ-JUNIOR, A. M.; BRUNO, D.; FIGUEIREDO, A. Nutrição de frangos- Mudanças de paradigmas para o futuro. In: Anais da Conferência FACTA 2009 de Ciência e Tecnologia Avícolas. Porto Alegre, 2009. **Anais...** Porto Alegre, RS, 2009.

PESTI, G. M.; MILLER, B. R. **Animal feed formulation**: Economic and computer applications. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

PESTI, G. M.; MILLER, B. R. Modelling for precision nutrition. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 6, n. 4, p. 483-494, 1997. Disponível em: <<http://japr.fass.org/content/6/4/483.full.pdf+html>>. Acesso em: 18 dez. 2012.

PESTI, G. M.; THOMSON, E. ; BAKALLI, R. I. ; LECLERCQ, B. ; MENTEN, J. F. M. ; SHAN, A. **WUFFDA** - Windows-Based User Friendly Feed Formulation. 2002. Disponível em: <<http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/ES-pubs/WUFFDA.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

PESTI, G. M.; VEDENOV, D.; CASON, J. A.; BILLARD, L. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. **British Poultry Science**, v. 50, n. 1, p. 16-32, 2009. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00071660802530639>>. Acesso em: 25 jun. 2012.

PESTI, G.M.; SEILA, A.F. The Use of an electronic spreadsheet to solve linear and non-linear stochastic feed formulation problems **J. Applied Poult. Res.**, v.8, p. 110-112, 1999.

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. Disponível em : <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13761/000644979.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 jun.2012.

RODRIGUES, M. S., IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2. ed. Campinas: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2009. 358p.

RONDÓN, E. O. O.; MURAKAMI, A. E.; SAKAGUTI, E. S. Modelagem Computacional para Produção e Pesquisa em Avicultura. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.4, n. 1, 2002. Disponível em : <<http://www.scielo.br/pdf/rbca/v4n1/11421.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C. OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2. ed. Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2005. 186p.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; EUCLIDES, R. F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252p.

ROUSH, W. B.; PURSWELL, J.; BRANTON, S. L. An adjustable nutrient margin of safety comparison using linear and stochastic programming in an excel spreadsheet. **Journal of Applied Poultry Research**, v.16, p. 514-520, 2007.

ROUSH, W.B.; PURSWELL, J.; BRANTON, S. L. Microsoft excel sensitivity analysis for linear and stochastic program feed formulation. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 18, p. 85-89, 2009.

SAEG-RMC. **Programa SAEG versão Ração de Mínimo Custo**, 2007 (Versão 2.0 freeware- 3mb). Fundação Arthur Bernardes, UFV. Disponível em: <<http://www.ufv.br/saeg/download.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

SAKOMURA, N. K. ; HAUSCHILD, L. ; SILVA, E. P. ; ARAUJO, J. A. . Modelo fatorial para estimar exigências nutricionais de aves. In: Luiz Fernando Teixeira Albino; Horácio Santiago Rostagno. (Org.). Anais do III Simpósio internacional sobre exigências nutricionais de aves e suínos. 3ed.Viçosa: UFV, 2011, v. , p. 267-296.

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. Disponível em: <<http://www.pjbs.org/ijps/fin149.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2012.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 3 ed. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2007. 264 p.

SAS Institute. **SAS user's guide: statistics**. version five edition. Cary, NC: SAS Institute, Inc., 2009.

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

THOMSON, E.; NOLAN, J. UNEForm: a powerful feed formulation spreadsheet suitable for teaching or on-farm formulation. **Animal Feed Science and Technology**. v. 91, n. 3, p. 233- 240, 2001.

VARGAS, G.D'A.; DIONELLO, N.L.; BRUM, P.A.R. de; RUTZ, F.; FIALHO, F.B. Modelagem do crescimento e do desenvolvimento de frangos de corte: validação. *Ciência Rural*, v.36, p.1664-1669, 2006.

ZHANG, F.; ROUSH, W.B. Multiple-objective (goal) programming model for feed formulation: A example for reducing nutrient variation. **Poultry Science**, v. 81, p. 182-192, 2002.