SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ INSTITUTO DE ESTUDOS EM DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO E REGIONAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DE MARABÁ

JUCIENE DA SILVA DE SOUZA

FORMULAÇÃO DE DIETAS PARA AVES POEDEIRAS CAIPIRAS UTILIZANDO A TÉCNICA DA PROGAMAÇÃO LINEAR, COM MODELAGEM MATEMÁTICA E APLICAÇÃO PRÁTICA DO SOLVER

Marabá – PA
Outubro/ 2021

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ INSTITUTO DE ESTUDOS EM DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO E REGIONAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DE MARABÁ

JUCIENE DA SILVA DE SOUZA

FORMULAÇÃO DE DIETAS PARA AVES POEDEIRAS CAIPIRAS UTILIZANDO A TÉCNICA DA PROGAMAÇÃO LINEAR, COM MODELAGEM MATEMÁTICA E APLICAÇÃO PRÁTICA DO SOLVER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Marabá, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. José Anchieta de Araujo.

Marabá – PA
Outubro/ 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Biblioteca Setorial Campus do Tauarizinho

S729f Souza, Juciene da Silva de

Formulação de dietas para aves poedeiras caipiras utilizando a técnica da programação linear, com modelagem matemática e aplicação prática do solver / Juciene da Silva de Souza. — 2021.

67 f.

Orientador(a): José Anchieta de Araujo.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Estudos em Desenvolvimento Agrário e Regional, Faculdade de Ciências Agrárias de Marabá, Curso de Agronomia, Marabá, 2021

1. Nutrição animal. 2. Aves - Alimentação e rações. 3. Programação linear. 4. Rações - Indústria - Modelos matemáticos I. Araujo, José Anchieta de, orient. II.Título.

CDD: 22. ed.: 636.0852

Elaborado por Adriana Costa – CRB-2/994

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ INSTITUTO DE ESTUDOS EM DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO E REGIONAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DE MARABÁ

Juciene da Silva de Souza

FORMULAÇÃO DE DIETAS PARA AVES POEDEIRAS CAIPIRAS UTILIZANDO A TÉCNICA DE PROGAMAÇÃO LINEAR, COM MODELAGEM MATEMÁTICA E APLICAÇÃO PRÁTICA DO SOLVER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Marabá, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. José Anchieta de Araujo.

Data de defesa: 18 de dezembro de 2021. Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Anchieta de Araujo (**Orientador**) – Curso de Agronomia – Unifesspa/ Campus Universitário de Marabá/PA.

Prof. Dr. David Cardoso Dourado – Curso de Agronomia – Unifesspa/ Campus Universitário de Marabá/PA.(Examinador I)

Eng. Agrônomo Carlos Larry Santos Marinho – Unifesspa / Gestor em Agronegócio – Uniasselvi. (Examinador II)

Marabá – PA
Outubro/ 2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a você, meu amado esposo Elton Costa, meu coração é repleto de gratidão por você sempre ser o meu maior incentivador, sem você eu não teria dado início a esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por seu infinito amor, por ter me dado força e sabedoria durante todas as fases vivenciadas na faculdade.

A minha amada mãe Jucileyde, meu pai Carlos Alberto, meu irmão Jucinei, minha avó Silene, meu padrinho Rubens, minha sogra Ivanilde e a minha linda cunhada Eltiane, que sempre acreditaram em mim.

Ao meu querido orientador José Anchieta Araujo, por ter me acolhido desde o início do curso, por seu auxílio, sua amizade, suas palavras de incentivo e sugestões de melhoria.

As minhas queridas amigas-irmãs Rebeca, Luelma, Vanessa e Cristiele, pela ajuda, motivação e por partilharem de cada vitória. Sem essa união seria mais difícil chegar até aqui. E a todos os colegas que em algum momento realizaram atividades acadêmicas comigo.

Ao querido professor David Dourado e ao meu amigo Carlos Larry, pela disponibilidade para compor a banca examinadora, dando suas contribuições valiosas para este trabalho. Meu muitíssimo obrigada!

A Unifesspa pela oportunidade e a todos os professores por partilharem seus conhecimentos, com dedicação, paciência e profissionalismo.

Com certeza irei guardar cada um de vocês no coração, pois contribuíram para uma grande realização na minha vida.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
2. REVISÃO DA LITERATURA 15
2.1 Galinha caipira e sistemas de produção 15
2.1.2 Linhagens de aves para o sistema caipira 17
2.2 Panorama da produção e consumo de ovos 19
3. Nutrição animal, classificação dos nutrientes e dos alimentos 21
3.1 Alimentos que compõem a dieta das aves e seus fatores limitantes 24
3.1.2 Exigência nutricional de aves caipiras poedeiras 27
4. Técnicas de formulação de rações 28
4.1 Ferramenta Solver do Excel na resolução de um problema de programação linear pelo método Simplex 31
3. MATERIAL E MÉTODOS 34
3.1 Modelagem matemática 38
3.1.2 Aplicação prática do modelo no Solver 41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 45
4.1 Formulações de rações para poedeiras caipiras 45
4.1.2 Formulações de rações de baixo custo para poedeiras caipiras 53
5. CONCLUSÂO 61
6. REFERÊNCIAS 62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Participação dos estados na produção de ovos em 2020.....19

Figura 2- Participação das mesorregiões paraenses na produção de ovos em 2019.....20

Figura 3- Esquema de composição química dos alimentos.....23

Figura 4- Fluxograma do algoritmo Simplex.....32

Figura 5- Planilha finalizada.....33

Figura 6- Fluxograma da descrição metodológica deste trabalho.....34

Figura 7- Planilha eletrônica finalizada.....42

Figura 8- Planilha finalizada.....44

Figura 9- Resposta do Solver ao problema.....44

Figura 10- Inserindo nova coluna.....44

Figura 11- Variação percentual das rações nas diferentes fases de aves poedeiras caipiras de uma forma geral, sendo os preços das rações da cria, recria e produção respectivamente os pontos 2, 4 e 6 do gráfico.....48

Figura 12- Variação percentual dos preços das rações de poedeiras caipiras Embrapa 051, nas fases de cria, recria e produção.....49

Figura 13- Síntese de preços das rações obtidas pelo mercado e pelo modelo matemático para as fases de cria, recria e produção.....60

Figura 14- Síntese de preços das rações obtidas pelo mercado e pelo modelo matemático para as fases de cria, recria e produção de poedeiras caipiras gerais….60

Figura 15- Síntese de preços das rações obtidas pelo mercado e pelo modelo matemático para as fases de cria, recria e produção de poedeiras Embrapa 051.....61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Exigência nutricional de galinhas poedeiras caipiras descritas pelos autores.....27

Tabela 2- Exigência nutricional média de aves poedeiras caipiras de acordo com a idade.....35

Tabela 3- Preços dos insumos que comporão a ração.....36

Tabela 4- Composição dos alimentos disponíveis em Marabá e Nova Ipixuna.....37

Tabela 5- Composição dos alimentos em relação aos 12 aminoácidos essenciais mencionados neste trabalho.....37

Tabela 6- Cálculo da % de Ca, P e Na dos três núcleos.....38

Tabela 7- Cálculo da % de metionina e lisina dos três núcleos.....38

Tabela 8- Restrições da necessidade nutricional das aves.....40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Recomendações de raças de aves para os sistemas alternativos.....18

Quadro 2- Índices de desempenho zootécnico de poedeiras nacionais e importadas.....18

Quadro 3- Balanceamento da dieta de poedeiras caipiras gerais para a fase de cria.....45

Quadro 4- Balanceamento da dieta de poedeiras caipiras gerais para a fase de recria.....46

Quadro 5- Balanceamento da dieta de poedeiras caipiras gerais para a fase de produção.....46

Quadro 6- Síntese de preços e variação percentual das rações para poedeiras caipiras gerais para as fases de cria, recria e produção.....47

Quadro 7- Balanceamento da dieta para a fase de cria de poedeiras caipiras Embrapa 051.....50

Quadro 8- Balanceamento da dieta para a fase de recria de poedeiras caipiras Embrapa 051.....51

Quadro 9- Balanceamento da dieta para a fase de produção de poedeiras caipiras Embrapa 051.....52

Quadro 10- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de recria de poedeiras caipiras de uma forma geral.....54

Quadro 11- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de produção de poedeiras caipiras de uma forma geral.....55

Quadro 12- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de recria de poedeiras caipiras após o ajuste da EMA.....56

Quadro 13- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de recria de poedeiras caipiras Embrapa 051.....57

Quadro 14- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de produção de poedeiras caipiras Embrapa 051.....58

RESUMO

Na indústria de ração animal o emprego da Programação Linear por meio de computadores facilita e muito na obtenção de dietas para os diferentes animais, porém os custos inerentes da produção acabam muitas vezes tornando os valores das rações muito elevados para o consumidor final. Quando se trata da avicultura, é crucial buscar mecanismos que reduzam os custos com a alimentação, por representar 70% do custo desta atividade. Objetivou-se com este trabalho utilizar a técnica da PL, por meio da ferramenta Solver do Excel, visando obter dietas para poedeiras caipiras gerais e da Embrapa 051 nas fases de cria, recria e produção, formuladas com alimentos tradicionais e alternativos disponíveis nos municípios de Marabá e Nova Ipixuna. O trabalho consistiu em três etapas, a primeira foi a coleta de dados referente às necessidades nutricionais das aves, à composição nutricional dos alimentos e a identificação das restrições inerentes a este tipo de problema. A segunda etapa foi destinada ao entendimento da PL para a construção da modelagem matemática e para a construção da planilha eletrônica, a terceira etapa consistiu na aplicação prática do Solver com simulações e testes do modelo. Como resultados da primeira análise do modelo, obteve-se os valores por kg da ração para galinhas caipiras gerais de R$2,72 na cria, R$2,53 na recria e R$ 2,28 na fase de produção e com o atendimento das necessidades nutricionais**.** Para as aves Embrapa 051 os valores foram de R$2,56 na cria, R$2,56 na recria e R$2,35 na produção, não sendo atendido 100% da restrição metioni+cistina com utilização dos alimentos propostos. Na segunda análise foi possível reduzir todos os preços, porém sem considerar os limites máximos dos alimentos. O modelo matemático sugerido para a formulação de dietas de aves poedeiras foi capaz de atender ao objetivo central deste trabalho, com preços inferiores à média do mercado analisado.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização, Nutrição Animal, Avicultura na Amazônia.

ABSTRACT

In the animal feed industry, the use of Linear Programming through computers makes it much easier to obtain diets for different animals, but the inherent costs of production often end up making feed prices too high for the final consumer. When it comes to poultry farming, it is crucial to seek mechanisms that reduce food costs, as it represents 70% of the cost of this activity. The objective of this work was to use the PL technique, through the Excel Solver tool, in order to obtain diets for general and Embrapa 051 laying hens in the rearing, rearing and production phases, formulated with traditional and alternative foods available in the municipalities of Marabá and Nova Ipixuna. The work consisted of three stages, the first was the collection of data regarding the nutritional needs of the birds, the nutritional composition of the foods and the identification of restrictions inherent to this type of problem. The second stage was aimed at understanding PL for the construction of the mathematical modeling and for the construction of the electronic spreadsheet, the third stage consisted of the practical application of Solver with simulations and tests of the model. As a result of the first analysis of the model, the values per kg of feed for general free-range chickens were obtained of R$2.72 in the brood, R$2.53 in the rearing and R$2.28 in the production phase and with the care of the nutritional needs. For Embrapa 051 birds, the values were R$2.56 for brooding, R$2.56 for rearing and R$2.35 for production, 100% of the restriction methioni+cystine not being met with the use of the proposed feed. In the second analysis, it was possible to reduce all prices, but without considering the maximum food limits. The mathematical model suggested for the formulation of diets for laying birds was able to meet the main objective of this work, with prices below the average of the analyzed market.

KEYWORDS: Optimization, Animal Nutrition, Poultry in the Amazon.

1. INTRODUÇÃO

A programação linear tem grande destaque entre os avanços científicos do século XX, passando a ser uma ferramenta-padrão muito empregada no setor empresarial, proporcionando a economia de milhões de dólares (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). É uma ferramenta desenvolvida para resolver problemas nos quais se almeja a melhor distribuição de recursos, de modo a alcançar determinado objetivo de otimização (SANTOS; QUINTAL, 2016).

Ela consiste em um modelo matemático capaz de descrever um problema, bastando que se possa modelá-lo através da combinação de variáveis expressas por equações e inequações, lineares e não lineares, também chamadas de função objetivo (ALMEIDA, 2016).

Geralmente, o modelo de programação linear apresenta uma necessidade de recursos que são limitados e um conjunto de restrições que precisam ser obedecidos, ao mesmo tempo que, se maximiza ou minimiza os resultados da combinação destas variáveis (MOREIRA, 2012). E justamente por otimizar recursos, que estão cada vez mais escassos, que a programação linear vem sendo utilizada na resolução de problemas reais de diversos setores como, planejamento urbano, transporte, controle da poluição ambiental, em logística de serviços, de pessoal, de seleção de mídia, de misturas nas indústrias químicas e de produtos alimentícios, dentre muitos outros, (MOREIRA, 2012; NATH; TALUKDAR, 2014).

Nas indústrias de alimentos para animais, a técnica da programação linear é muito importante, uma vez que existe no mercado muitas opções de matéria-prima, com diferentes porcentagens de nutrientes e preços variados, além de diferentes exigências nutricionais dos animais, sendo as dietas formuladas por meio de computadores de forma dinâmica e rápida, agilizando o processo de tomada de decisão (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2016). A adequada formulação representa parte do sucesso da produção, pois o desenvolvimento do animal está diretamente ligado à sua dieta (TONIN; LIMA; ASSIS, 2018).

Porém, nem sempre as rações que estão disponíveis no mercado possuem valores acessíveis, principalmente no cenário atual em que o preço dos insumos estão

cada vez mais dispendiosos, encarecendo o processo de produção em todos os setores, e esses incrementos somados a agregação de valor do produto final, como a embalagem, mão de obra, impostos, dentre outros, são repassados para o consumidor final.

Na avicultura, o reflexo desses incrementos no valor da ração é um fator limitante na produção, pois como se sabe, a alimentação representa cerca de 70% dos gastos desta atividade, sendo imprescindível a busca por alimentos mais acessíveis, principalmente quando se fala de sistemas caipiras que são compostos na maioria por pequenos e médios avicultores (VIOLA et al., 2018b), sendo estes mais vulneráveis no mercado.

O presente trabalho objetivou desenvolver um modelo matemático utilizando a Programação Linear, por meio da ferramenta Solver do Excel, especificamente utilizando o método simplex, visando obter dietas de poedeiras caipiras de uma forma geral e poedeiras caipiras de alto desempenho da linhagem Embrapa 051, nas fases de cria, recria e produção, formuladas com alimentos tradicionais e alternativos disponíveis nos municípios de Marabá e Nova Ipixuna, visando assim, promover a autonomia de avicultores locais que trabalham em sistemas de pequena e média escala de produção.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Galinha caipira e sistemas de produção

As galinhas domésticas, pertencentes a espécie *Gallus Galus domesticus* e ao grupo de aves galiformes e fasianídeas, foram introduzidas no Brasil pelos portugueses, sendo originárias dos EUA, Europa Mediterrânea, Inglaterra e Ásia, a galinha se adaptou ao clima tropical e adquiriu resistência a algumas doenças devido ao pouco manejo que recebiam naquela época, sendo criadas soltas e por isso denominadas de galinha caipira, do Tupi-Guarani (Caaipura) que significa " de dentro do mato" (BARBOSA et al., 2007; SAGRILO et al., 2007), passando a ser conhecida nas diferentes regiões brasileiras como galinha caipira, pé duro, colonial, da capoeira e da roça (FIGUEIREDO; AVILA; SAATKAMP, 2015; REVISTA RURAL, 2006).

A galinha caipira "tradicional" é aquela que não apresenta raça definida, não é boa produtora de carne e não põe mais do que 70 ovos por ano (LIMA FILHO et al., 2005), é criada de forma extensiva, ou seja, solta no quintal, sem ou com abrigos rústicos, sem manejo alimentar e sanitário (GALVÃO JUNIOR; BENTO; SOUZA, 2009), quando gorda encerra-se seu ciclo de postura, sendo destinada ao consumo familiar e para a venda nas feiras ou na própria localidade onde foi criada (CAVALCANTI, 2019; FIGUEIREDO; AVILA; SAATKAMP, 2015).

A carne e ovos da galinha caipira apresentam sabor marcante, na carne há maior deposição de gorduras, coloração mais escura e textura mais firme, os ovos apresentam gema de cor amarelo intenso, sendo essas características influenciadas pela alimentação, por isso, mesmo sendo mais caras que os produtos do sistema convencional, possuem a preferência de muitos consumidores (SAGRILO et al., 2007; VIOLA et al., 2018b).

Atualmente, o frango ou ovo caipira não estão relacionados a raça ou linhagem dos mesmos, para ser caipira devem ser produzidos em sistemas alternativos, ou seja, em sistemas livres de gaiolas. Sales (2020) e Silva (2019) descrevem as principais características dos cinco modelos de produção de ovos no Brasil:

I. **Convencional:** sistema de confinamento intensivo em gaiolas com 350 cm² a 450 cm²/ave, em ambiente controlado, com maior rigidez no manejo, utilização

de melhoradores de desempenho e antibióticos profiláticos, as aves passam por muda forçada e debicagem e os plantéis são mais uniformes, sendo compostos de linhagens de ovos brancos ou marrons de alta produtividade

II. **Caipira ou Colonial:** o sistema de produção caipira é regulamentado pela ABNT NBR 16437: 2016, que dispõe sobre (Avicultura – Produção, classificação e identificação do ovo caipira, colonial ou capoeira), e define como criação caipira o sistema de produção de ovos comerciais oriundos de galinhas (espécie *Gallus gallus domesticus*), com acesso as áreas de pastejo em sistema semi-extensivo e que não recebam aditivos zootécnicos, melhoradores de desempenho e anticoccidianos profilaticamente (ABNT, 2016). A densidade interna no galpão é de 7 aves/m² e externa de 2 aves/m², com acesso ao pasto desde o início da manhã até o fim da tarde.

III. **Cage-Free:** sistema de confinamento intensivo sem gaiola, as aves ficam livres apenas dentro do galpão, com acesso a ninhos, poleiros e a áreas com areia, a densidade do galpão é de 11 aves/m² (fileiras verticais), 9 aves/m² (slat) ou 7 aves/m² (piso único), devendo ter cama no mínimo em 15% do piso e 1 ninho/5 aves.

IV. **Free-Range:** sistema de confinamento semi-extensivo, similar ao anterior, que só se diferencia quanto ao acesso ao pasto, que deve ter densidade de no máximo 5 aves/m².

V. **Modelo Orgânico:** sistema de confinamento semi-extensivo, com densidade interna de 6 aves/m² e densidade externa de 1 ave/m² (rotativo) ou 0,34 ave/m² (extensivo), com uso obrigatório mínimo de 80% da ração com alimentos orgânicos. Este sistema difere-se dos sistemas alternativos anteriores, que atendem a um nicho de mercado voltado para a produção de carne e ovos do tipo caipira, no sistema orgânico o nicho de mercado é mais exigente, com pessoas mais preocupadas com o bem-estar animal e que estão dispostas a pagar bem mais caro no animal e nos ovos.

Seja qual for o sistema alternativo adotado, não basta apenas que as aves estejam livres de gaiolas, é necessário fornecer condições de uma vida saudável e de bem-estar, adaptando-se às realidades dos sistemas produtivos ao clima regional e

ao animal, para que as aves possam expressar o seu comportamento natural, como ciscar, abrir as asas, voar, limpar as penas, tomar banho de areia e de sol, se empoleirar e realizar a postura em ninhos, garantindo assim, a produção de proteína de qualidade com agregação de valor ao produto (SILVA, 2019).

2.1.2 Linhagens de aves para o sistema caipira

As raças de aves mais utilizadas na produção caipira são as de plumagem vermelha, preta e carijó, que possuírem a pele amarelada e os ovos marrons ou castanhos, características estas que as tornam mais semelhantes a galinha caipira tradicional (CAVALCANTI, 2019).

Existem muitas raças puras e linhagens híbridas de aves no mercado, porém as híbridas são mais produtivas que as puras, as caipiras híbridas por exemplo, passaram por um processo de melhoramento genético, o qual selecionou-se características produtivas desejadas, como adaptação ao clima quente, redução da idade ao abate, aumento do peso e do tamanho ao abate, melhora na conversão alimentar, potencial de postura de 270 a 300 ovos/ave/ciclo, ausência do choco e maior uniformidade dos lotes (SALES; SOLER; GUZMÁN, 2013; PASIAN; GAMEIRO, 2007; GALVÃO JUNIOR; BENTO; SOUZA, 2009; RAIMUNDO, et al., 2018).

A utilização de aves caipiras melhoradas, associado as práticas adequadas de manejo, alimentação e prevenção das principais doenças, têm proporcionado um considerável acréscimo na produção e na produtividade, garantindo a segurança alimentar e melhorando a qualidade de vida das famílias de baixa renda (SOUZA et al., 2014).

Dependendo da finalidade é crucial fazer a escolha correta da ave, pois esse também é um dos fatores que irá determinar o sucesso ou não do empreendimento. Pensando nisso, Figueiredo et al. (2003), fazem recomendações técnicas (Quadro 1) sobre a escolha correta das raças para os sistemas alternativos, sendo também utilizado como referência por outros autores como, Cavalcanti (2019) e Macêdo (2020).

Quadro 1- Recomendações de raças de aves para os sistemas alternativos

Recomendação	Raças Puras e híbridas	Origem
Para criações de subsistência (Raças puras de dupla aptidão)	Rhode Island Red	EUA
	New Hampshire (vermelha)	EUA
	Plymouth Rock Barrada (carijós)	EUA
	Shamo	Tailândia
	Asil	Índia
Híbridos comerciais de postura (Importados)	Hisex Brown e White	Holanda
	Lohmann Brown e White	Europa
	Isa Brown e White	França
	Hy-Line Brown e White	EUA
	Shaver Brown e White	Holanda
	H&N Nick Chick Brown e White	EUA
	Tetra Brown	Americana
	Harco	Hungria
Híbridos comerciais de postura (Nacionais)	Embrapa 011 (branca)	Brasil
	Embrapa 031	Brasil
	Embrapa 051	Brasil
Híbridos alternativos de frango de corte	Caipira Pescoço Pelado, Pesadão Vermelho, Paraíso Pedrez, Carijó Pesado, Carijó Pescoço Pelado, Acoblack, Gigante Negro, Embrapa 041, Master Griss e Frango Gaúcho.	

Fonte: adaptado de Figueiredo et al. (2003).

No quadro (2) são apresentados os índices produtivos das poedeiras nacionais e importadas citadas, segundo os guias de manejo e desempenho de cada linhagem.

Quadro 2- Índices de desempenho zootécnico de poedeiras nacionais e importadas

Linhagem	Início da postura (semanas)	Período de postura (semanas)	Média de ovos/ave (unidades)	Peso médio do ovo (g)	Consumo médio de ração até o início da postura (kg)	Consumo médio de ração na postura (g/dia)	Índice médio de conversão alimentar (kg/kg)	Peso médio corporal final (kg)
Hisex Brown	18	100	471	62.7	6,748	111	2,14	2,005
Lohmann Brown	20	95	434,5	63,4	7,6	115	2,05	2
Isa Brown	18	90	420	62,9	6,749	111	2,1	2
Hy-Line Brown	18	100	460	62	5,94	108,5	2,04	1,98
Shaver Brown	18	100	462	62,2	6,746	110	2,16	1,955
H&N Nick Chick Brown	18	100	456	63,5	7,6	115,5	2,13	2
Tetra Brown	18	80	364	63,5	6,4	114,3	2,2	1,88
Embrapa 011 (branca)	19	80	326	59,5	6,447	116	-	1900
Embrapa 031	19	80	317,5	59	6,783	102,5	-	2350
Embrapa 051	20	90	343,5	57	7,367	100 - 115	-	2385

Fonte: Manuais de cada linhagem.

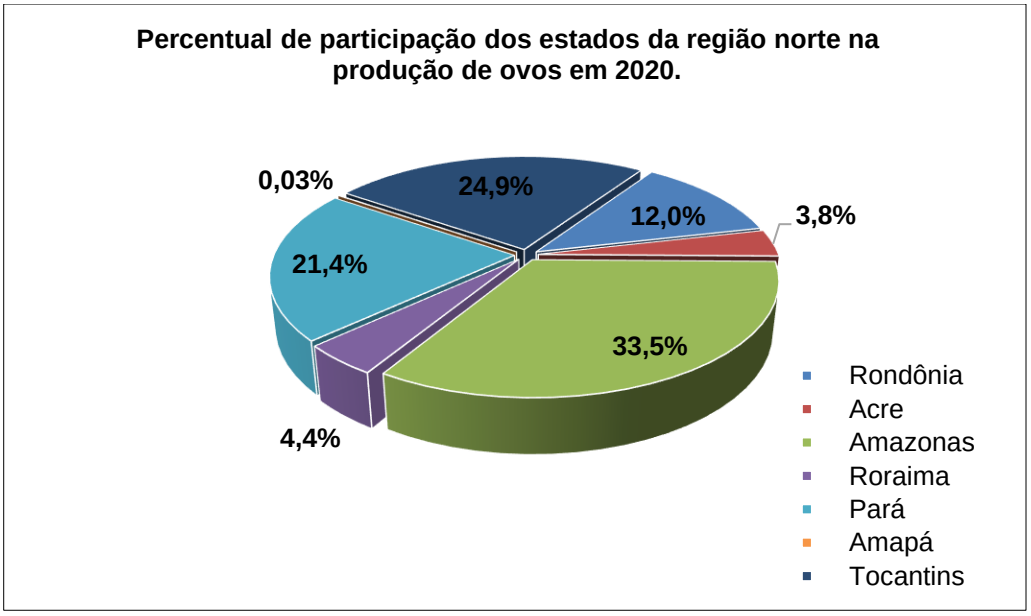
2.2 Panorama da produção e consumo de ovos

A avicultura de postura no Brasil merece destaque, com cerca de 1.441.548 alojamentos de matrizes de postura, 124.317.339 alojamentos de comerciais de postura e mais de 53,5 bilhões de ovos produzidos no ano de 2020, com aumento de 9,13% na produção em relação a 2019, o qual foram destinados 99,69% para o consumo interno e 0,31% para a exportação, atingindo o consumo recorde *per capta* de 251 ovos (ABPA, 2021).

As regiões com maior participação na produção de ovos em 2020 foram o sudeste (43%), sul (23%), nordeste (18%) e centro-oeste (13%), o norte aparece em último lugar com apenas com 4% (187.268 mil dúzias). Na região norte, o Pará deteve a terceira maior participação (Figura 1) com 21,4% ou 40.045 mil dúzias (IBGE, 2021).

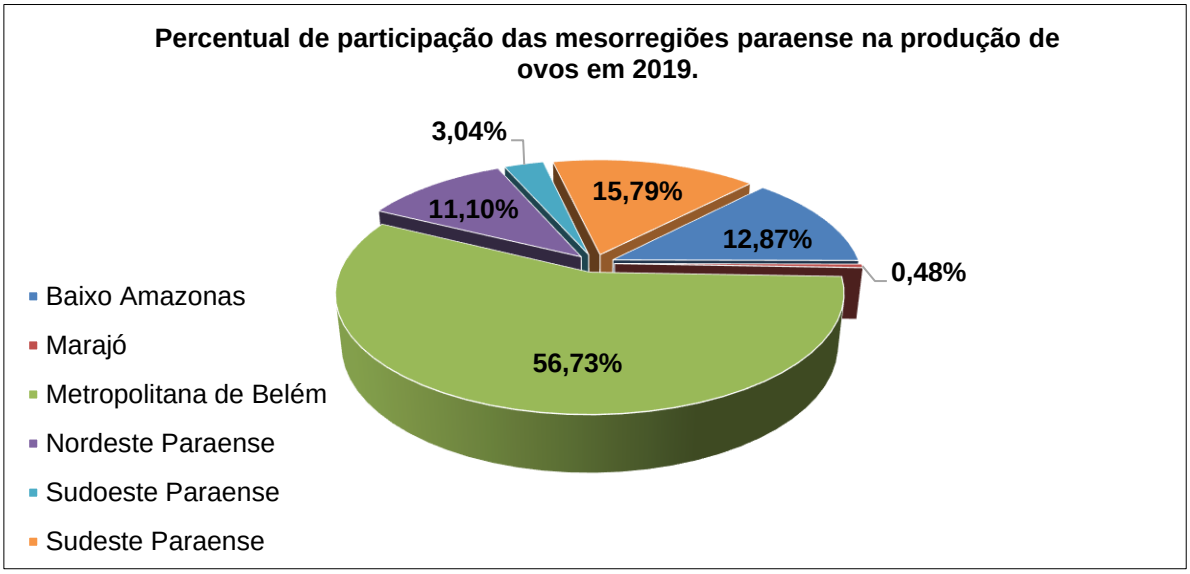
Em 2019, os dados levantados pelo IBGE apontam que a produção paraense foi um pouco superior, com aproximadamente 40.677 mil dúzias e a mesorregião com maior expressividade no setor neste ano foi a Metropolitana de Belém (Figura 2) com mais de 50 % de participação, o sudeste paraense aparece na segunda posição com 15,79% (6.421 mil dúzias ou 77.052 ovos).

Figura 1- Participação dos estados na produção de ovos em 2020



Fonte: IBGE, (2021).

Figura 2- Participação das mesorregiões paraenses na produção de ovos em 2019



Fonte: IBGE, (2020).

Os ovos são um alimento de grande importância socioeconômica, assumindo uma posição estratégica para a segurança alimentar no país, dos 98,5% de lares brasileiros que consomem algum tipo de proteína animal de maneira regular, 96% destes consomem ovos e, metade desta população, quase todos os dias. Sendo o ovo identificado como um alimento rico em nutrientes e um dos mais completos na natureza, depois do leite materno (ABPA, 2021).

A alta demanda deste produto vem sendo impulsionado dentre outros fatores pela crise desencadeada pela pandemia do Covid-19, por se tratar de uma fonte de proteína mais acessível em comparação às carnes, principalmente com o acelerado aumento do preço dos insumos da produção (BELANDI, 2021; CEPEA, 2021).

Apesar de todas as pesquisas relacionadas ao setor de ovos, não há informações oficiais sobre a quantificação dos produzidos em sistemas alternativos, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Associação Brasileira de Avicultura Alternativa (AVAL), a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) e o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), não detém de informações precisas, o que se tem, são dados e índices históricos de vendas de algumas empresas e a partir deste tipo de informação estima-se que 5% da produção são oriundos de sistemas alternativos e 95% de sistemas convencionais (SALES, 2020; SILVA, 2019).

3. Nutrição animal, classificação dos nutrientes e dos alimentos

A exploração dos animais domésticos é realizada na sua maioria com foco econômico, baseada nas condições favoráveis do mercado para a venda da produção e para a aquisição dos insumos necessários para a mesma, somente com técnica é possível produzir economicamente em quantidade e qualidade dentro da ampla possibilidade de mercado, sendo necessário atender a três aspectos principais, que são: a genética, o manejo e a nutrição (ADRIGUETTO et al., 1981).

A nutrição animal se preocupa com o fornecimento da quantidade adequada de nutrientes necessários para as várias funções corporais, como o crescimento, reprodução, produção, bem como influencia na manutenção da saúde do animal melhorando sua defesa e resistência a doenças (SMITS et al., 2021).

Cruz e Rufino (2017), descrevem que, do ponto de vista da nutrição, os nutrientes são formados por seis grupos:

I. **Água:** atua no controle da temperatura corporal, no funcionamento do metabolismo e na maior eficiência digestiva do animal e, compõe a cerca de 55% a 75% do peso da galinha e 65% do peso do ovo.

II. **Carboidratos:** são classificados em dois grupos, os solúveis (amido e açúcares) e insolúveis (também chamados de fibra, que conforme Sales (2005) são os polissacarídeos estruturais: celulose, hemicelulose e pectina; os polissacarídeos não estruturais: goma e mucilagem e; os não polissacarídeos estruturais: lignina), os carboidratos compreendem a aproximadamente 75% da matéria seca dos vegetais, principalmente de grãos e seus derivados, atuando como fonte energética primária dos animais e estando em maior quantidade nas rações de aves, juntamente com os lipídios formam as maiores fontes energéticas utilizadas pelos animais.

III. **Lipídios:** são compostos orgânicos formados por moléculas de ácidos graxo saturados ou insaturados, ricos em carbonos e hidrogênio e pobres em oxigênio. Pessoa (2014), complementa descrevendo que os lipídios podem ser classificados em lipídios simples (gorduras, óleos e ceras), lipídios compostos (fosfolipídeos, glicolipídeos, lipoproteínas etc.) e lipídios derivados

(derivam dos grupos citados anteriormente). Os lipídios atuam no metabolismo do animal, na reserva energética (superior 2,25 vezes em relação ao carboidrato), na proteção e isolamento térmico, na síntese e absorção de vitaminas, na regulação hormonal, dentre outras.

IV. **Proteínas:** são compostos orgânicos formados por moléculas de aminoácidos (constituídos por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e ferro) sendo classificados em essenciais e não essenciais e, atuam em funções como a formação estrutural de órgãos e tecidos, no metabolismo, na composição do material genético, dentre outras. Os aminoácidos essenciais são aqueles não sintetizados pelo organismo do animal em quantidades adequadas, sendo considerados para as aves doze tipos: metionina, lisina, fenilalalina, triptofano, treonina, valina, leucina, isoleucina, histidina, arginina, glicina e prolina.

As proteínas são o principal componente dos órgãos e tecidos moles, principalmente o muscular, por isso os animais requerem alto e contínuo suprimento proteico (PESSOA, 2014).

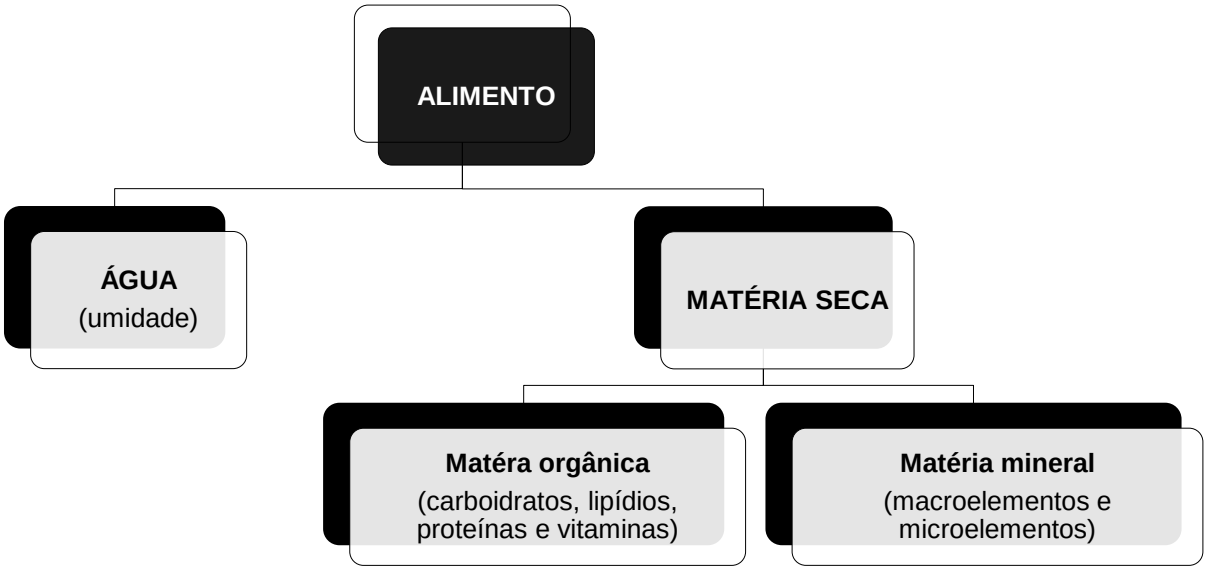
V. **Vitaminas:** são compostos orgânicos classificadas em lipossolúveis (A, D, E e K) que podem ser armazenadas no organismo e os hidrossolúveis (B1, B2, B3, B6, B12, niacina, biotina, folacina, colina e vitamina C), que não são armazenados no organismos, exceto a colina. As vitaminas são fornecidas como suplementação em pequenas quantidades nas rações, sendo de grande importância nas atividades metabólicas e no sistema imunológico. Geralmente são fornecidas por meio do núcleo mineral e vitamínico, com inclusão de 4% do produto na ração (PRADO, 2019).

VI. **Minerais:** são elementos inorgânicos classificados, segundo as suas necessidades pelos animais, em macrominerais (cálcio, fósforo, sódio, cloro, potássio, magnésio e enxofre) e microminerais (iodo, selênio, cobalto, cobre, manganês, molibdênio, zinco, ferro, flúor e cromo), os minerais atuam na formação e manutenção do esqueleto, no transporte de oxigênio, na formação de proteínas, lipídios, tecidos, participam das reações químicas, dentre outros.

Com exceção da água, os demais nutrientes citados correspondem à matéria seca (MS) de um alimento, neste sentido, o valor nutritivo de um alimento é

dependente de seu teor de matéria seca, que pode variar de 5 a 95%, sendo a MS subdivida em matéria seca orgânica (porção que se volatiliza quando submetida a 550 ºC) e matéria seca mineral (ou cinzas, resultante da queima anteriormente citada), conforme demonstrado no esquema da figura (3) a seguir (ADRIGUETTO et al.,1981).

Figura 3- Esquema de composição química dos alimentos



Fonte: adaptado pelo Autor.

Nesta abordagem, o alimento pode ser definido como uma substância capaz de fornecer nutrientes e outros elementos essenciais para assegurar o ciclo regular da vida dos animais, podendo ser classificado em nutrição animal em alimentos volumosos e alimentos concentrados (PESSOA, 2014).

Conforme o autor citado anteriormente, os alimentos volumosos são aqueles de baixo valor energético e baixa digestibilidade, possuem em sua composição valores de fibra em detergente neutro (FDN) superiores a 50%, como é o caso das forragens secas (fenos, palhas, etc.) e forragens aquosas (silagens, pastagens, raízes e tubérculos). Já os alimentos concentrados possuem alto teor de energia utilizável, sendo subdivididos em concentrados energéticos (com menos de 20% de PB na MS) e em concentrados proteicos (com mais de 20% de PB na MS).

Há ainda, outros tipos de alimentos que não estão incluídos nestas classificações, que são os aditivos alimentares e, consistem em substâncias ou microrganismos adicionados na ração, com ou sem valor nutritivo, com finalidades distintas como modificar as características sensoriais das rações, aumentar o desempenho do animal ou modificar as características do produto final (LEMOS, 2015).

3.1 Alimentos que compõem a dieta das aves e seus fatores limitantes

Na avicultura industrial ou convencional, as dietas são frequentemente compostas por alimentos como o milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*), farinha de carne, gordura, aditivos nutricionais como vitaminas, minerais, aminoácidos e os aditivos melhoradores de desempenho como antibióticos, probióticos e prebióticos, que acabam encarecendo o preço das rações (CAVALCANTI, 2019).

Também são utilizados o farelo de trigo (*Triticum*), calcário, óleo de soja, cloreto de potássio dentre outros, já na avicultura alternativa, cita-se a inclusão de alimentos não convencionais, como o sorgo (*Sorghum bicolor*), farelo de arroz (*Oryza sativa*), farelo de girassol (*Helianthus annuus*), farinha de gérmen integral de milho, farelo de coco (*Cocos nucifera*), farelo de tomate (*Solanum lycopersicon*), farelo de goiaba (*Psidium guajava*), dentre outros (CRUZ; RUFINO, 2017).

Os subprodutos da mandioca (*Manihot escutenta*), como a raspa integral de mandioca, silagem da massa fresca da raiz, feno e silagem dos ramos, também são recomendados como alimentos alternativos para aves e suínos, apesar de serem comumente fornecidos para animais ruminantes, sendo descritos seus processos de produção na literatura de (ALMEIDA; FERREIRA FILHO, 2005; CRUZ; RUFINO, 2017; FIALHO; VIEIRA, 2011; SOUZA; FIALHO 2003). A recomendação máxima da raspa para a fase de cria é de 10%, para a recria 15% e produção 20%, do feno é de 10% na recria e 15% na produção, não sendo indicado para a cria (ALMEIDA; FERREIRA FILHO, 2005).

Estes subprodutos não são facilmente encontrados no mercado, no entanto, apresentam grande potencial para produção, pois, tanto o cultivo da mandioca como

da macaxeira são muito explorados na agricultura, principalmente na familiar, sendo a matéria prima de fácil aquisição. Além do mais, por ser simples o processo de produção, o próprio avicultor pode produzir em sua propriedade, com o uso de equipamentos apropriados.

A melhor parte da mandioca ou macaxeira é as folhas, que pode chegar a 22% de PB, as folhas das leguminosas leucena (*Leucaena leucocephala*) e gliricídia (*Gliricidia sepium*) apresentam mais de 20% de PB e a moringa (*Moringa oleifera*) mais de 28% de PB, sendo recomendada até 20% destas leguminosas na alimentação das aves (NAKABAYASHI, 2018).

Prado (2019), cita ainda como alimentos alternativos, as pastagens, silagens de outros vegetais, restos de hortaliças, frutas e verduras, destacando a importância de se considerar os elementos antinutricionais encontrados nos alimentos, como:

- Inibidores de proteases: inibem a tripsina e outras enzimas, reduzindo a digestibilidade e absorção de proteína, encontradas no grão de soja e feijão guandu crus (*Cajanus cajan*).

- Tanino: composto fenólico presente no sorgo que modifica o sabor da ração e diminui sua palatabilidade, sua digestão e absorção de proteína e carboidratos.

No entanto apenas 4% do sorgo semeado é do tipo com tanino, sendo restrito ao Rio grande do Sul, o mercado interno de grãos de sorgo é representado na sua totalidade pelas indústrias de rações, que demandam de grãos sem tanino, por tanto é fácil de ser encontrado (PEREIRA FILHO; RODRIGUES, 2015).

- Aflatoxina: substância tóxica e cancerígena produzida por fungos do gênero *Aspergillos*, que podem ocasionar a morte das aves, encontrados em rações armazenadas incorretamente, com maior ocorrência no farelo de amendoim (*Arachis hypogaea*), mas também ocorre em alimentos como o milho, sorgo, trigo, soja e no feijão guandu.

- Gossipol: pigmento polifenólico de cor amarela, produzido pelo algodão (*Gossypium*), em quantidade elevada é tóxico, gera queda no consumo de ração, problemas reprodutivo, pulmonar, hepático e cor esverdeada na clara e gema do ovo.

- Ácidos graxos ciclopropenos: é uma substância produzida pelo algodão modificando a cor da gema e clara do ovo para um tom rosado.

-Ácido cianídrico: está presente nas folhas e raiz da mandioca, no entanto é de fácil eliminação com a desidratação do vegetal.

Na torta de mamona também há substâncias tóxicas, como a ricina, a ricinina e complexos alergênicos, podendo ser destoxificada da seguinte forma: adicionando-se 60g de óxido de cálcio diluído em 10 partes de água para cada 1 kg de torta de mamona e, após 8 horas, coloca-se a mamona para secar em temperatura ambiente, podendo ser incluída na ração de poedeiras sem prejuízos no desempenho das aves e na qualidade dos ovos (BUENO et al., 2014).

Outro fator limitante nos alimentos é a fibra bruta (FB), pois as aves possuem reduzida capacidade de digerir alimentos fibrosos e pequena capacidade de síntese gastrointestinal, seu teor elevado reduz a absorção adequada de nutrientes, que por sua vez, levará à deficiências nas aves (PESSOA, 2014), por isso, na alimentação de aves deve-se utilizar as partes mais tenras do vegetal (ALMEIDA; FERREIRA FILHO, 2005), quanto maior for a proporção de amido e menor o grau de lignificação, melhor será a sua digestibilidade (SALES, 2005), sendo estabelecido um limite de até 6% de FB na ração de poedeiras, segundo (BARBOSA et al., 2007).

Em linhagens caipiras melhoradas, como é o caso da poedeira Embrapa 051 por exemplo, os valores máximos recomendados são de até 5% de FB para todas as fases de desenvolvimento (AVILA et al., 2017).

Também é necessária a atenção quanto as fontes minerais utilizadas, em relação ao cálcio por exemplo, Cruz e Rufino (2017) recomendam o calcário calcítico (com 37% de Ca e 1% de mg) que é resultante da moagem de cálcio desidratado, não recomendando o calcário dolomítico, por prejudicar as aves enfraquecendo seus ossos e a casca dos ovos e causar diarreia, também recomendam o fosfato bicálcico (23% de Ca, 18% de P e 1% de F) e a farinha de ostra (36% a 38% de Ca), no entanto, conforme Silva (2019), nenhum alimento de origem animal pode ser incluso na alimentação de aves caipiras criadas no sistema Cage-Free.

3.1.2 Exigência nutricional de aves caipiras poedeiras

As necessidades nutricionais das aves poedeiras são determinadas pelo tamanho, fase de desenvolvimento e nível de produção, as principais diferenças serão observadas nas quantidades de energia, proteína e cálcio de cada fase, na fase de postura por exemplo, há menor concentração energética (2.800 kcal EM), uma concentração média de 18% de proteína (VIOLA et al., 2018a) e, alta concentração de cálcio (4 %) que será necessário para a formação da casca dos ovos e outras funções metabólicas (CRUZ; RUFINO, 2017; VIOLA et al., 2018a).

Prado (2019) e Viola et al. (2018b) citam concentrações de proteína com 16 % e 17% consecutivamente, bem como apontam outros componentes que deverão ser atendidos no balanceamento das rações para galinhas poedeiras caipiras (Tabela 1), como a energia metabolizável aparente (EM), cálcio (Ca), fósforo disponível (P. disp.) e sódio (Na). Prado menciona ainda valores de cloro (Cl).

Tabela 1- Exigência nutricional de galinhas poedeiras caipiras descritas pelos autores

	Idade em semanas	Exigências nutricionais					
		PB [1] (%)	EMA[2] (Kcal/kg de ração)	CA[3] (%)	P disp.[4] (%)	Na [5] (%)	Cl[6] (%)
Prado (2019)	**Cria**	21,4	3.000	0,95	0,45	0,22	0,19
	Recria	19,1	3.100	0,87	0,40	0,19	0,17
	Produção	16,0	2.778	4,00	0,36	0,22	0,20
Viola et al. (2018b)	**Cria**	20,8	2.900	0,88	0,44	0,21	-
	Recria	18,0	3.050	0,77	0,39	0,19	-
	Produção	17,0	2.800	4,00	0,39	0,23	-

PB[1] - proteína bruta; EMA[2] - energia metabolizável aparente; Ca[3] - cálcio; P disp. [4] - fósforo disponível; Na[5] - sódio; Cl[6] - cloro.

Os valores de consumo diário de ração balanceada exigidos pelas galinhas caipiras podem variar de 15 g a 40 g na fase de cria, 60 g a 75 g na fase de recria e cerca de 6% do peso do animal na fase de produção, que dependendo do tamanho e

do peso pode variar de 100 g a 150g (SAGRILO et al., 2007; VIOLA et al., 2018b).

4. Técnicas de formulação de rações

Sakomura e Rostagno (2016) e Pessoa (2014), apresentam quatro técnicas para formulação de rações. São elas:

I - Método da tentativa: segundo os autores, neste método não se utiliza nenhum esquema matemático. Sendo necessário apenas conhecer as necessidades nutricionais dos animais e a composição nutricional dos alimentos, a formulação é feita de forma intuitiva, buscando-se atingir a necessidade nutricional aumentando ou diminuindo um determinado ingrediente. O sucesso desta técnica depende principalmente da experiência prática.

II - Quadrado de Pearson: esta técnica possui esquema matemático tornando-se mais fácil de se usar no processo de formulação de rações. Nela as necessidades nutricionais são tratadas individualmente, sendo as necessidades atendidas através da composição percentual de cada nutriente contido em dois ou mais ingredientes e, a quantidade final de cada ingrediente na ração deve ser expressa em porcentagem. É necessário realizar ajustes sucessivos nas pré-formulações visando atender de forma ampla todas às necessidades nutricionais dos animais.

De forma resumida, as etapas são:

- Monta-se um quadrado e coloca-se ao centro a % de um nutriente que corresponde a necessidade nutricional do animal, geralmente inicia-se pela proteína bruta, o valor deve ser corrigindo para 95%;

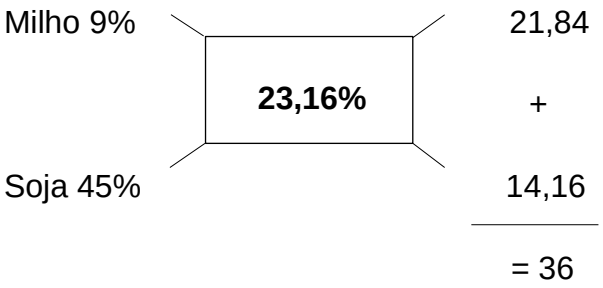
- Pode ser utilizado dois alimentos ou dois grupos de alimentos previamente misturados, obedecendo suas restrições;

- Ao lado esquerdo do quadrado é colocada em cada ângulo um alimento com seu respectivo teor de PB em percentagem;

- Ao lado direito do quadrado é colocado em cada ângulo de forma transversal o resultado da subtração do valor desejado da proteína com o valor disponível no

alimento, subtraindo sempre o maior número pelo menor e, em seguida soma-se os resultados. Abaixo segue o exemplo:

Correção da PB: 22% de PB x 100 % / 95 % = 23,16



A quantidade percentual de cada alimento na pré-formulação pode ser obtida com a seguinte equação:

[(21,84 / 36) x 95] (fator de correção) = **57,63%** de milho na mistura

[(14,16 / 36) x 95] = **37,37 %** de soja na mistura

Os 5% que faltam é a margem de segurança para a inclusão das fontes de minerais, vitaminas e aditivos na ração.

III - Equações algébricas: o método tem características semelhantes ao Quadrado de Pearson. Assim como no método do Quadrado de Pearson, a técnica tem sua complexidade aumentada à medida que a diversidade de nutrientes é ampliada, podendo-se determinar simultaneamente as quantidades de dois nutrientes, como a proteína e a energia.

Neste método montam-se duas equações com duas incógnitas, uma para ajustar o total de alimentos e outra para ajustar o nível de proteína, em que X = kg de milho, Y= kg de farelo de soja e Z= 4% de margem de segurança. Assim, usando os valores do exemplo anterior, as equações algébricas são montadas da seguinte forma:

Equação I = X + Y + Z = **100**

Equação II = [(X x (9% proteína do milho/100) + (Y x (45% proteína da soja /100)] = **22%** (proteína desejada)

X + Y = 96 ---- X = 96 – Y **(I)**

(X x 0,09) + (Y x 0,45) = 22 **(II)**

Substituindo I em II, temos:

(96 - Y) x 0,09 + (0,45 Y) = 22

8,64 – 0,09 Y + 0,45 Y = 22

0,36 Y = 22 - 8,64

0,36Y = 13,36 ------Y = **37,1 %** de soja na mistura

X = 96 - 37,1 = **58,9 %** de milho na mistura

IV - Programação Linear

Diferente dos métodos anteriores, esta técnica é empregada quando se utiliza um grande número de alimentos, com *m* restrições e *n* variáveis de decisões, e por isso, é usualmente utilizada em programas de computadores, haja vista que, demanda maior tempo na modelagem matemática do problema.

Moreira (2012), descreve a formulação genérica do problema de Programação Linear, onde se enquadram as formas pela qual a função objetivo pode ser escrita:

Maximizar ou minimizar

$Z = c_1x^1 + c_2x^2 + ... + c_nx^n$

Satisfazendo as restrições

$a_{11}x_1 + a_{12}x^2 + ... + a_{1n}x_n \leq$ ou $\geq$ ou $= b_1$

$a_{21}x^1 + a_{22}x^2 + ... + a_{2n}x^n \leq$ ou $\geq$ ou $= b_2$

$a_{m1}\, x^1 + a_{m2}\, x^2 + ... + a_{mn}\, x_n \leq$ ou $\geq$ ou $= b_m$

Em que Z é a função objetivo;

E c_1, c_2, ...c_n são as constantes da função objetivo, das variáveis x_1, x_2, x_n respectivamente;

x_1,x_2, ... x_n são as variáveis de decisão, xn ≥ 0;

a_1, a_2, ... a_n são as constantes das i-ésima restrição da j-ésima variável, i= 1, 2, ..., m, j= 1, 2, ..., n; e

b_1, b_2, b_n são assumidas para representar valores máximos ou mínimos de alguma variável ou de recursos escassos que deve ser utilizado.

O problema de programação linear está em sua forma-padrão, se houver uma maximização da função-objetivo, se todas as restrições forem do tipo ≤ e, se as constantes (b_i) e as variáveis de decisão assumirem valores não negativos, por tanto, quando os problemas não se enquadrarem na forma padrão, deve-se utilizar algum método antes de empregar o método Simplex, não sendo necessário realizar este processo quando se utiliza o Solver do Excel, já que o algoritmo utilizado fará isso de forma automática (LACHTERMARCHER, 2009).

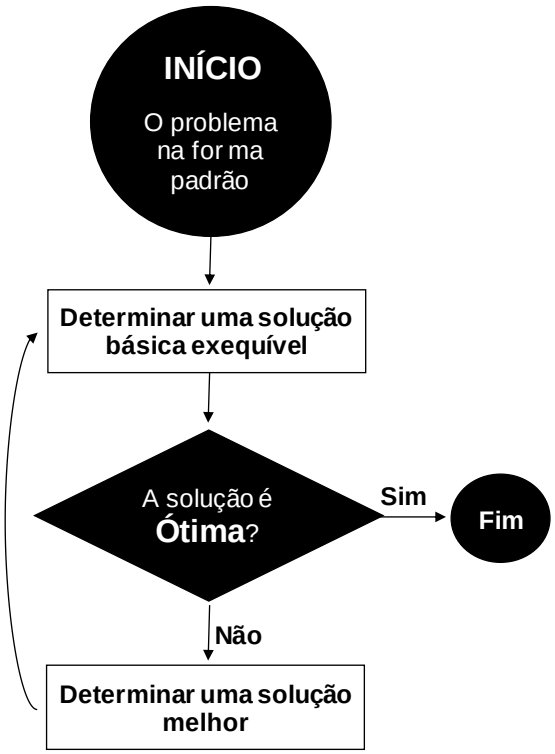
4.1 Ferramenta Solver do Excel na resolução de um problema de programação linear pelo método Simplex

O solver é uma ferramenta para o teste de hipóteses, capaz de localizar um valor ideal ou ótimo para uma fórmula em uma célula destino da planilha Excel, ajustando os valores nas células variáveis especificadas considerando as restrições, ou limites, ou seja, após modelado o problema de programação linear é possível obter valores máximo e mínimos de uma célula alterando outras células, de forma dinâmica, sem demandar muito tempo e várias tentativas (GOMES JÚNIOR; SOUZA, 2004).

O Solver utiliza o método Simplex para solucionar problemas de programação Linear, o algoritmo do método Simplex envolve uma sequência de interações, contendo cada uma delas a mesma série de cálculos, até que se chegue à solução ótima, podendo ser usado para resolver problemas com qualquer número de variáveis

(MOREIRA, 2012; SILVA, 2016). O fluxograma da descrição geral do algoritmo que representa o método Simplex (Figura 4) foi sintetizado por (ZACHI, 2016).

Figura 4- Fluxograma do algoritmo Simplex



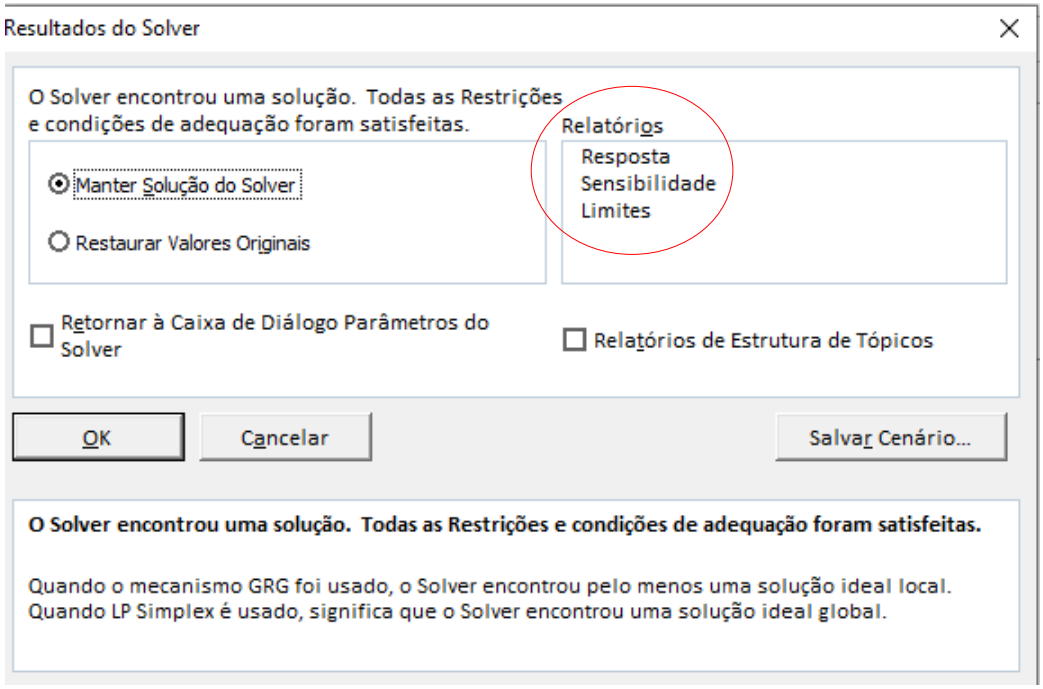
Fonte: adaptado pelo Autor

Se o Solver encontrar uma solução (figura 5), significa que ele encontrou uma solução viável ou ótima, onde todas as restrições e condições foram satisfeitas, ele gera ainda três relatórios que podem ser utilizados pelo formulador, que são: “Resposta”, “Sensibilidade” e “Limites”.

Agora se o Solver não encontrar uma solução viável, significa que ele não consegue encontrar um ponto para o qual todas as restrições são satisfeitas. Esses relatórios indicam como mudanças nos parâmetros de problemas de programação linear interferem na solução ótima.

O relatório de sensibilidade contém todas as informações da ração formulada e suas respectivas análises, os quais podem ser posteriormente salvos ou impressos (TONIN; LIMA, ASSIS, 2018).

Figura 5- Resposta do Solver ao problema

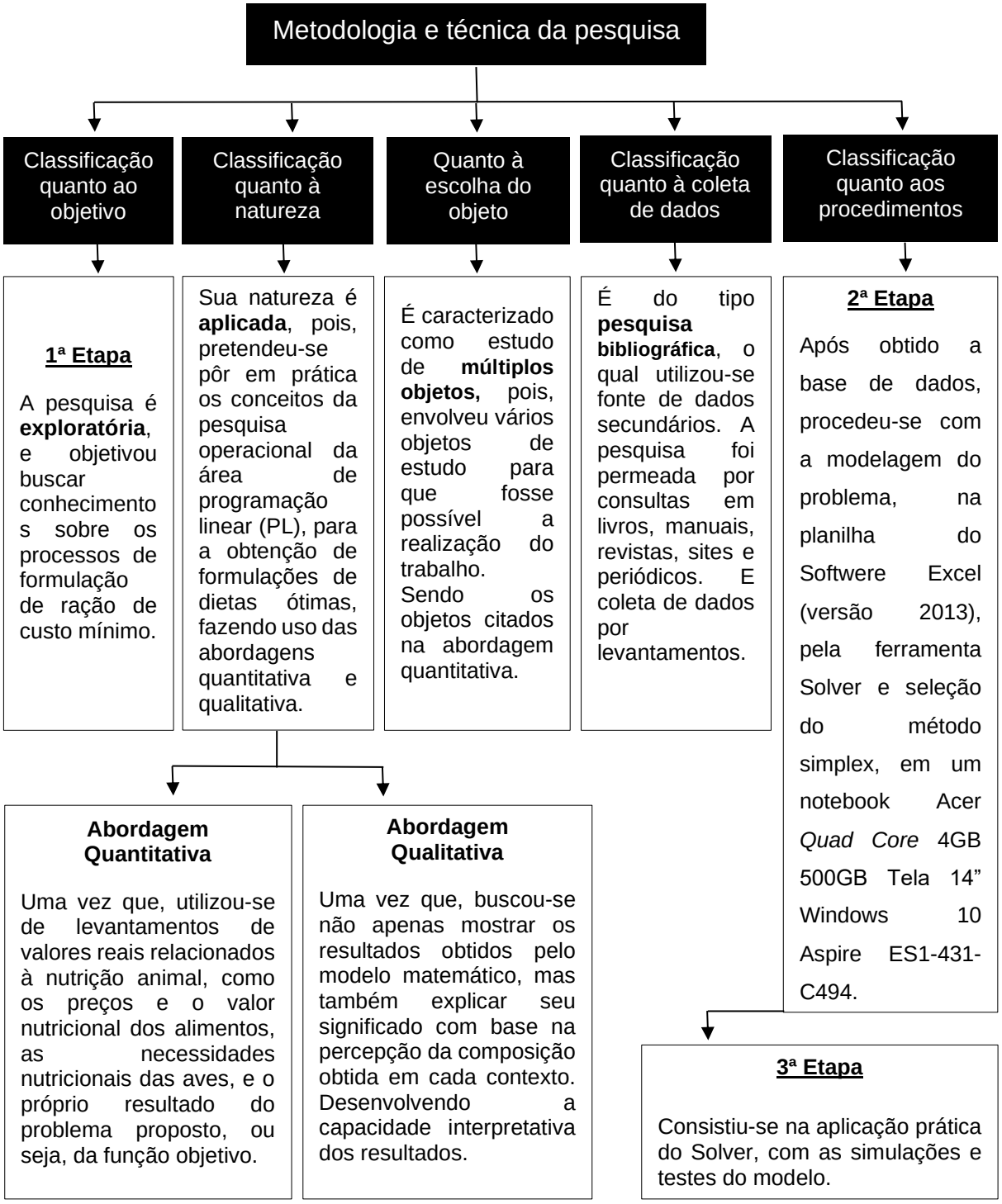


Fonte: Autor, (2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A classificação metodológica deste trabalho é detalhada pelo fluxograma da figura (6), tendo como base (BATISTUS et al., 2015; OLIVEIRA, 2011).

Figura 6- Fluxograma da descrição metodológica deste trabalho



Na primeira etapa, para obter os parâmetros utilizados no processo de balanceamento de rações, utilizou-se as premissas elencadas por Sakomura e Rostagno (2016), sendo utilizados os passos recomendados abaixo:

I - Caracterizar os animais de acordo com o estágio de desenvolvimento, sexo, linhagem, dentre outros;

II - Verificar as exigências de todos os nutrientes dos animais de acordo com a caracterização mencionada no item anterior;

III - Levantar e quantificar os alimentos disponíveis para o programa alimentar, bem como seus preços.

IV - Relacionar a composição nutricional dos alimentos a serem utilizados, considerando-se todos os nutrientes de interesse.

Com isto, foi realizada a pesquisa e a tabulação dos dados, obtendo-se a tabela (2), com as necessidades nutricionais gerais de aves caipiras poedeiras nas fases de cria, recria e produção, utilizando-se as médias dos valores descritos por Viola et al. (2018b) e Prado (2019). E as necessidades da linhagem Embrapa 051 no manual de desempenho da linhagem.

Tabela 2- Exigência nutricional média de aves poedeiras caipiras de acordo com a idade

Idade em semanas	**Exigências nutricionais**						
	FB(1)	**PB (2)**	**EMA(3)**	**Ca(4)**	**P disp.(5)**	**Na (6)**	**Cl(7)**
	(% máx.)	**(%)**	**Kcal/kg de ração**	**(%)**	**(%)**	**(%)**	**(%)**
Cria (0 a 6)	6	21,1	2.950	0,91	0,445	0,215	0,19
Recria (7 a 20)	6	18,55	3.075	0,82	0,395	0,19	0,17
Produção (18 a 100)	6	16,5	2.789	4,00	0,375	0,225	0,20

FB(1) - Fibra; PB(2) - proteína bruta; EMA(3) - energia metabolizável aparente; Ca(4) - cálcio; P disp. (5) - fósforo disponível; Na(6) - sódio; Cl(7) - cloro. Fonte: Adaptado de Viola et al. (2018b) e Prado (2019).

Na tabela (3) estão as quantidades e preços dos alimentos disponíveis nos municípios de Nova Ipixuna e Marabá.

Tabela 3- Preços dos insumos que comporão a ração

Alimentos	Fornecedor Marabá	Quant. (kg)	Preço (R$)	Preço /kg	Fornecedor Nova Ipixuna	Quant. (kg)	Preço (R$)	Preço /kg	Preço médio/kg
Mandioca integral, raspas	Vila lagedo	1	0,4	-	-	1	-	-	**0,40**
Sorgo grão baixo tanino	Intergrãos	50	75,00	1,50	Agrofreitas	50	75,00	1,50	**1,50**
Farelo de milho 6,92%	Intergrãos	50	86,00	1,72	Agrofreitas	50	94,00	1,88	**1,80**
Farelo de soja 45%	Intergrãos	50	150,00	3,00	Agrofreitas	50	165,00	3,30	**3,15**
Farelo de arroz	Intergrãos	30	63,00	2,10	Agrofreitas	30	67,00	2,23	**2,17**
Farelo de trigo	Intergrãos	30	63,00	2,10	Agrofreitas	30	67,00	2,23	**2,17**
Torta de mamona	Casa da Roça	1	10,00	10,00	-	-	-	-	**10,00**
Torta de dendê	-	-	-	-	Agrofreitas	50	60,00	1,20	**1,20**
FTSRM	Estimado	1	0,4	0,4	Estimado	1	0,4	0,4	**0,4**
Óleo de soja (L)	Mix Matheus	900	8,69	9,66	Supermercado JM	900	8,25	9,17	**9,41**
Calcário Calcítico	Intergrãos	25	21,00	0,84	-	-	-	-	**0,84**
Fosfato bicálcíco	Intergrãos	25	156,00	6,24	-	-	-	-	**6,24**
Cloreto de sódio (Sal)	Mix Matheus	1	1,09	1,09	Supermercado JM	1	0,99	0,99	**1,04**
Núcleo inicial	Intergrãos	25	172,00	6,88	Agrofreitas	20	110,00	5,50	**6,19**
Núcleo crescimento	Intergrãos	30	145,00	4,83	Agrofreitas	20	100,00	5,00	**4,92**
Núcleo produção	Intergrãos	20	130,00	6,50	Agrofreitas	20	93,00	4,65	**5,58**

Fonte: valores da mandioca raspas e do feno do terço superior da rama de mandioca - FTSRM foram obtidos de (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2021); os demais foram coletados entre outubro e novembro de 2021.

Na tabelas (4 e 5), estão os valores bromatológicos da mandioca integral rapas, sorgo, farelo de milho, farelo de soja, farelo de arroz, farelo de trigo e óleo de soja descritos conforme Rostagno et al. (2017); da torta de dendê (*Elaeis guineesis*), segundo Silva (2011), da torta de mamona (*Ricinus communis*) segundo Rostagno et al. (2005) e Bueno et al. (2014) e do feno do terço superior da rama de mandioca (FTSRM), descritos por (ALMEIDA; FERREIRA FILHO, 2005).

Os valores nutricionais de calcário, fosfato bicálcico e cloreto de sódio foram obtidos segundo o trabalho de Cruz e Rufino (2017) e a composição dos aditivos nutricionais (núcleos) conforme informações do fabricante.

Tabela 4- Composição dos alimentos disponíveis em Marabá e Nova Ipixuna

Alimentos	Digestibilidade e componentes nutricionais									
	FB[1] (%)	PB [2] (%)	EMA[3] (Kcal/kg)	CA[4] (%)	P disp.[5] (%)	Na [6] (%)	Cl[7] (%)	% Max. Cria	% Max. Recria	% Max. Produção
Mandioca integral, raspas	4,21	2,64	3.005	0,21	0,03	0,02	0,05	10	15	20
Sorgo grão baixo tanino	2,89	8,75	3.234	0,03	0,07	0,02	0,06	65	65	65
Farelo de milho 6.92%	1,95	6,92	3.294	0,02	0,08	0,01	0,09	65	65	65
Farelo de soja 45%	4,86	45,4	2.341	0,34	0,19	0,02	0,05	34,5	30	30
Farelo de arroz	7,71	13,3	2.654	0,12	0,35	0,04	0,07	12	12	12
Farelo de trigo	9,7	15,1	1.926	0,14	0,49	0,02	0,07	15	15	15
Torta de mamona	18,5	39,2	1.484	0,62	0,21	0,01	-	5,7	5,7	5,7
Torta de dendê	14,95	15,46	2.142	0,34	0,18	0,09	0,49	12	12	12
FTSRM [8]	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	0	10	15
Óleo de soja	-	-	8.790	-	-	-	-	7	7	7
Calcário calcítico	-	-	-	37	-	-	-	8	8	8
Fosfato bicálcico	-	-	-	23	18	-	-	2	2	2
Cloreto de sódio (Sal)	-	-	-	-	-	40	60	0,4	0,4	0,4
Núcleo Inicial	-	-	-	19,65	2,75	4,85	-	4	4	4
Núcleo crescimento	-	-	-	10,8	3,7	2,2	-	4	4	4
Núcleo postura	-	-	-	21	3,66	4	-	4	4	4

FB[1] - Fibra; PB[2] - proteína bruta; EMA[3] - energia metabolizável aparente; Ca[4] - cálcio; P disp. [5] - fósforo disponível; Na[6] - sódio; Cl[7] - cloro; FTSRM[8] - Feno do terço superior da rama de mandioca. Os valores obtidos para os núcleos foram baseados nos produtos da marca NUCLEUS.

Tabela 5- Composição dos alimentos em relação aos 12 aminoácidos essenciais mencionados neste trabalho

Alimentos	Os 12 aminoácidos essênciais											
	Lisina (%)	Metionina (%)	Treonina (%)	Triptofano (%)	Arginina (%)	Valina (Kcal/kg)	Isoleucina (%)	Leucina (%)	Histidina (%)	Fenilalalina (%)	Glicina (%)	Prolina (%)
Mandioca integral, raspa	0,10	0,03	0,07	0,02	0,16	0,12	0,10	0,13	0,09	0,09	0,09	-
Sorgo grão baixo tanino	0,18	0,13	0,25	0,09	0,31	0,41	0,33	1,12	0,19	0,45	0,24	0,71
Farelo de milho 6.92%	0,17	0,13	0,25	0,05	0,30	0,28	0,22	0,80	0,20	0,30	0,21	0,66
Farelo de soja 45%	2,54	0,56	1,53	0,57	3,11	1,95	1,89	3,13	1,07	2,12	1,62	2,06
Farelo de arroz	0,47	0,21	0,36	0,11	0,90	0,54	0,35	0,70	0,30	0,43	0,57	0,44
Farelo de trigo	0,45	0,18	0,37	0,17	0,93	0,50	0,38	0,75	0,30	0,50	0,50	0,88
Torta de mamona	0,78	0,61	1,13	0,58	3,21	1,78	1,75	2,68	0,56	1,35	-	-
Torta de dendê	0,66	0,35	0,65	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-
FTSRM	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Núcleo Inicial	1,52	3,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Núcleo crescimento	2,4	1,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Núcleo postura	5,6	5,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Produtos da marca NUCLEUS.

Os valores percentuais de Ca, P, Na, metionina e Lisina dos núcleos foram calculados conforme as tabelas 6 e 7 abaixo, pois todos os valores devem estar normatizados, e como os valores nutricionais estão em percentual.

Tabela 6- Cálculo da % de Ca, P e Na dos três núcleos

Fase	Nutriente	kg	1 kg	g total	g/kg	%
Inicial	Ca	20	1000	20000	196,5	19,65
	P	20	1000	20000	27,5	2,75
	Na	20	1000	20000	48,5	4,85
Crescimento	Ca	20	1000	20000	108	10,8
	P	20	1000	20000	37	3,7
	Na	20	1000	20000	22	2,2
Postura	Ca	20	1000	20000	210	21
	P	20	1000	20000	36,6	3,66
	Na	20	1000	20000	40	4

Fonte: Autor, (2021).

Tabela 7- Cálculo da % de metionina e lisina dos três núcleos

Fase	Nutriente	kg	1 kg	g total	g/kg	%
inicial	Metionia	20	1000	20000	39,6	3,96
	Lisina	20	1000	20000	15,2	1,52
Crescimento	Metionia	20	1000	20000	19,5	1,95
	Lisina	20	1000	20000	24	2,4
Postura	Metionia	20	1000	20000	52,6	5,26
	Lisina	20	1000	20000	56	5,6

Fonte: Autor, (2021).

Em uma segunda etapa, para o desenvolvimento da modelagem matemática foram utilizados os dados coletados na etapa 1, bem como utilizou-se a equação geral da programação linear descrita por Moreira (2012), a aplicação prática do modelo utilizando a ferramenta Solver, foi feita tomando-se como base os passos descritos por (LACHTERMARCHER, 2009).

3.1 Modelagem matemática

O modelo matemático de programação linear que representa o problema proposto por este trabalho, é descrito pela “Função Objetivo Minimizar”, em que:

Min Z = (0,4.MIR) + (1,5.SG) + (1,8.FM) + (3,15.FS) + (2,17.FA) + (2,17.FT) + (10.TM) + (1,2.TD) + (9,41.OS) + (0,84.CC) + (6,24.FBC) + (1,04.SAL) + (6,19.NI) + (4,92.NC) + (5,58.NP) + (0,4.FTSRM)

Onde, a função objetivo é calculada pelo somatório da contribuição individual de cada alimento no preço, sendo os preços dos alimentos por kg as constantes da função, uma vez que, durante o processo de resolução do problema, os preços dos alimentos não sofrerão variações, o que mudará são os custos das rações, dependendo do tipo e da quantidade dos alimentos que forem escolhidos pelo Solver, por tanto, a quantidade dos alimentos são as variáveis de decisão da função objetivo.

Códigos das variáveis de decisão:

- **MIR:** quantidade de mandioca integral, raspas
- **SG:** quantidade de sorgo grão baixo tanino
- **FM:** quantidade de farelo de milho 6,92%
- **FS:** quantidade de farelo de soja 45
- **FA:** quantidade de farelo de arroz
- **FT:** quantidade de farelo de trigo
- **TM:** quantidade de torta de mamona
- **TD:** quantidade de torta de dendê
- **OS:** quantidade de óleo de soja
- **CC:** quantidade de calcário calcítico
- **FBC:** quantidade de fosfato bicálcico
- **SAL:** quantidade de cloreto de potássio
- **NI:** quantidade de núcleo inicial
- **NC:** quantidade de quantidade de núcleo crescimento
- **NP:** quantidade de núcleo produção
- **FTSRM:** quantidade de feno do terço superior da rama de mandioca

Para que o resultado da função objetivo seja ótimo, deverá atender a todas às restrições deste problema, que são:

I – Restrições de quantidade máxima percentuais de cada alimento na ração

Para a fase de cria: MIR ≤ 10; SG ≤ 65; FM ≤ 65; FS ≤ 30; FA ≤ 12; FT ≤ 15; TM ≤ 5,7; TD ≤ 12; FTSRM ≤ 0; OS ≤ 7; CC≤ 8; FBC ≤ 2; SAL ≤ 0,4; e NI = 4.

Para a fase de recria: MIR ≤ 15; SG ≤ 65; FM ≤ 65; FS ≤ 30; FA ≤ 12; FT ≤ 15; TM ≤ 5,7; TD ≤ 12; FTSRM ≤ 10; OS ≤ 7; CC≤ 8; FBC ≤ 2; SAL ≤ 0,4; e NR = 4.

Para a fase de produção: MIR ≤ 20; SG ≤ 65; FM ≤ 65; FS ≤ 30; FA ≤ 12; FT ≤ 15; TM ≤ 5,7; TD ≤ 12; FTSRM ≤ 15; OS ≤ 7; CC≤ 8; FBC ≤ 2; SAL ≤ 0,4; e NP = 4.

II – Restrição de atendimento a exigência nutricional dos animais de acordo com sua fase de vida, conforme a tabela (8) abaixo.

Tabela 8- Restrições da necessidade nutricional de aves caipiras de uma forma geral

Nutrientes	Tipo	Cria	Recria	Produção
Fibra brura - (FB)	≤	6	6	6
Proteina bruta - (PB)	> =	21,1	18,55	16,5
Energia Metabolizavel - (EMA)	> =	2.950	3.075	2.789
Calcio - (Ca)	> =	0,91	0,82	4
Fosforo disponivel - (P)	> =	0,445	0,395	0,375
Sodio - (Na)	> =	0,21	0,19	0,225
Cloro - (Cl)	> =	0,19	0,17	0,2

Fonte: Autor, (2021).

Para as restrições que tratam das necessidades nutricionais, dá-se como exemplo a expressão abaixo, pois esta restrição é comum para todas as fases de vida da ave. O procedimento para as demais restrições nutricionais é o mesmo, no entanto, deve-se observar as necessidades de cada fase, (cria, recria e produção).

(FB.MIR) + (FB.SG) + (FB.FM) + (FB.FS) + (FB.FA) + (FB.FT) + (FB.TM) + (FB.TD) + (FB.OS) + (FB.CC) + (FB.FBC) + (FB.SAL) + (FB.NI) + (FB.NC) + (FB.NP) + (FB.FTSRM) ≤ **6**

III – Restrição da somatória dos alimentos na ração igual a 100%

Para facilitar a aplicação prática deste método de formulação, optou-se a restringir a somatória da quantidade dos alimentos = 100%, pois assim, temos a quantidade de alimentos para um total de 100kg de ração, como a proporção percentual destes alimentos para uma quantidade maior ou menor.

IV – Restrição de não negatividade

Em virtude de não haver a possibilidade real de colocar uma quantidade negativa do alimento na ração, esta restrição impede que o algoritmo do Solver o faça, sendo uma restrição obrigatória em formulações de rações.

Representado por:

MIR, SG, FM, FS, FA, FT, TM, TD, OS, CC, FBC, SAL, NI, NC, NP + FTSRM ≥ 0

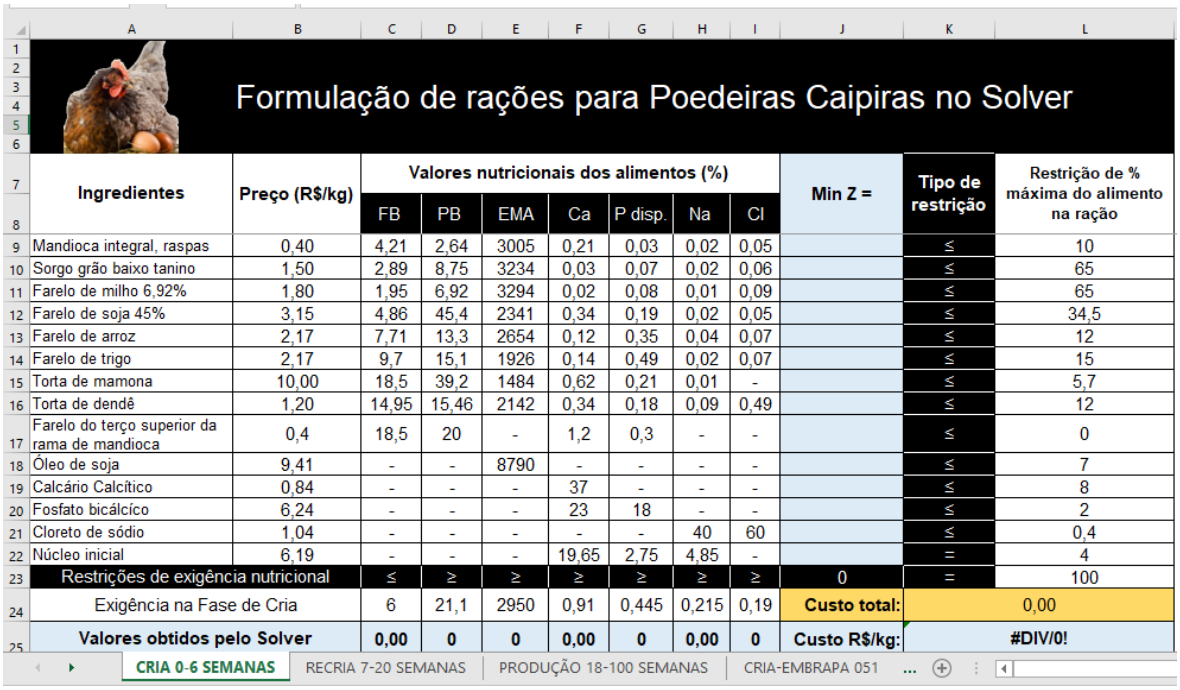
3.1.2 Aplicação prática do modelo no Solver

Nesta fase, realizou-se a organização e formatação do modelo matemático na planilha do Excel, sendo o mesmo estruturado com mecanismos que possibilitassem a inclusão ou remoção de novos alimentos e restrições de forma rápida e, possibilitando que as expressões matemáticas pudessem ser manipuladas de forma mais prática, facilitando o emprego do Solver.

A modelagem do problema foi sendo realizada até que a mesma pudesse ser simulada pelo Solver, para isso, foram realizados vários ajustes e verificações de possíveis erros de digitação ou de inclusão das fórmulas nas células da planilha, bem como, possíveis erros no momento de adicionar os valores da planilha no Solver, sendo o modelo avaliado por meio de vários testes, até que o mesmo fosse capaz de apresentar respostas satisfatórias, ou seja, até que o Solver realizasse as simulações sem erros.

Após a aprovação da modelagem matemática, a planilha foi copiada e adaptada para a formulação de ração que atendesse as fases de cria, recria das aves, gerando três planilhas de formulação de dietas, em guias distintas do Excel. Procedeu-se com a finalização da formatação das planilhas (Figura 7), obtendo-se o resultado abaixo.

Figura 7- Planilha finalizada



Formulação de rações para Poedeiras Caipiras no Solver

Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores nutricionais dos alimentos (%)							Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05		≤	10
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06		≤	65
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09		≤	65
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05		≤	34,5
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07		≤	12
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07		≤	15
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-		≤	5,7
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49		≤	12
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-		≤	0
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-		≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-		≤	8
Fosfato bicálcico	6,24	-	-	-	23	18	-	-		≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60		≤	0,4
Núcleo inicial	6,19	-	-	-	19,65	2,75	4,85	-		=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	≥	≥	≥	≥	≥	≥	0	=	100
Exigência na Fase de Cria		6	21,1	2950	0,91	0,445	0,215	0,19	Custo total:	0,00	
Valores obtidos pelo Solver		**0,00**	**0**	**0**	**0,00**	**0**	**0,00**	**0**	**Custo R$/kg:**	**#DIV/0!**	

CRIA 0-6 SEMANAS | RECRIA 7-20 SEMANAS | PRODUÇÃO 18-100 SEMANAS | CRIA-EMBRAPA 051 ...

Fonte: Autor, (2021).

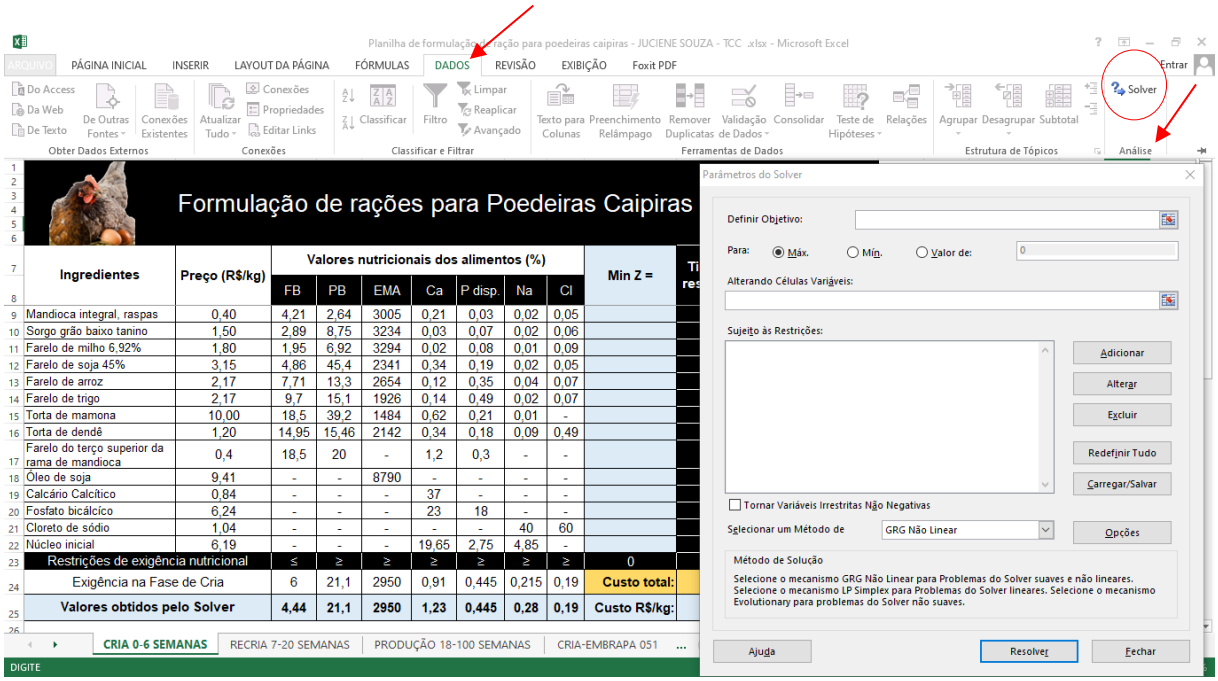
O intervalo de células de J9 a J22 foram reservadas para as variáveis de decisão da função objetivo minimizar, que são as quantidades dos alimentos a serem encontrados, a célula K24 foi reservada para o resultado da função objetivo pela fórmula matemática =SOMARPRODUTO(B9:B22;J9:J22), onde foi passado como parâmetro duas colunas, a primeira com os preços dos ingredientes e a segunda com as células reservadas para as variáveis de decisão.

Selecionou-se a célula C25, que é referente ao valor de fibra bruta que deverá ser preenchido pelo Solver e, que deve atender à exigência nutricional de fibra bruta da ave, sendo inserida a fórmula =(SOMARPRODUTO(C9:C22;$J$9:$J$22))/100, onde são passados como parâmetros duas colunas, a primeira com os valores de fibra bruta disponíveis nos alimentos e a segunda com as células reservadas para as variáveis de decisão. Para não ter que repetir o processo em cada uma das células, a fórmula foi copiada, arrastando-se de C25 até a célula I25.

Na célula K25 foi utilizada a fórmula =K24/J23, para calcular o valor da ração por kg.

Uma vez realizadas as interações matemáticas nas células, o próximo passo foi inserir as equações e inequações no Solver, que se localiza na “guia dados”, no item “análise”, conforme a figura (8) abaixo.

Figura 8- Ativando o Solver



Fonte: Autor, (2021).

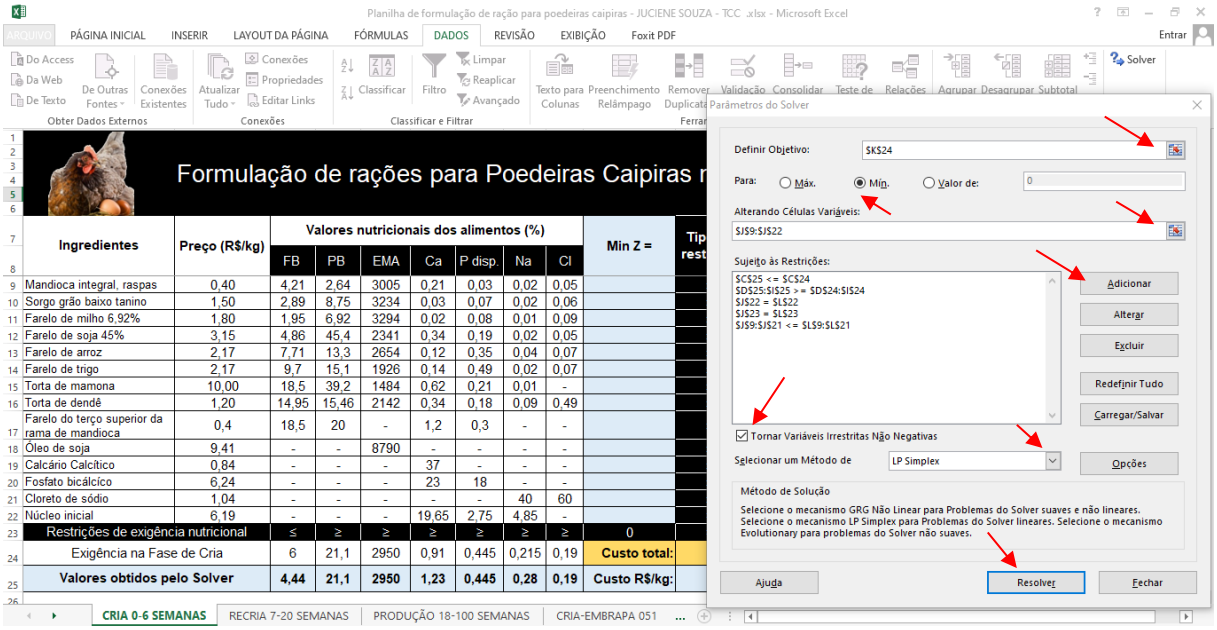
No Solver foi indicada a célula que representa a função objetivo =K24, na opção “Definir objetivo”, em seguida selecionou-se o botão “Mín.” indicando que o problema é de minimização, e na opção “Alterando células variáveis” foram inseridas a faixa de células de J9 a J22.

Em seguida foram adicionadas todas as restrições que devem ser atendidas, inserindo-se cuidadosamente, na opção “Adicionar”.

Foi ativada a opção “Tornar Variáveis irrestritas não Negativas”, atendendo a restrição da não negatividade.

Na opção “Selecionar um Método de”, selecionou-se a opção “LP Simplex”, para a resolução de um de problema de programação linear. Por fim, a opção “Resolver” que irá procurar uma solução (figura 9).

Figura 9- Inserindo os dados no Solver para resolução do problema

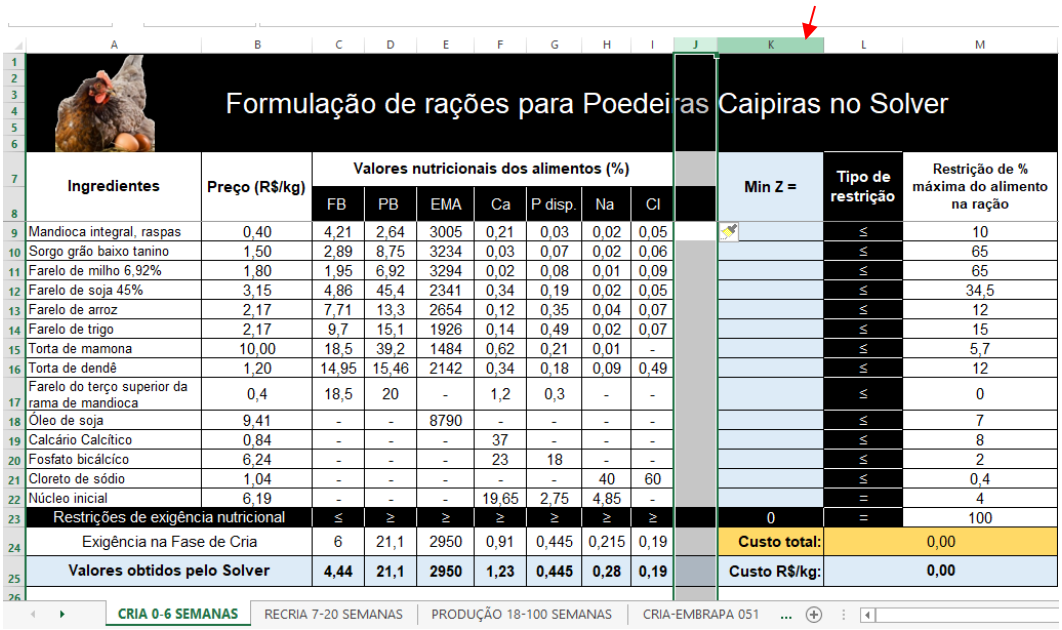


Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores nutricionais dos alimentos (%)							Min Z =
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl	
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	
Fosfato bicálcico	6,24	-	-	-	23	18	-	-	
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	
Núcleo inicial	6,19	-	-	-	19,65	2,75	4,85	-	
Restrições de exigência nutricional		≤	≥	≥	≥	≥	≥	≥	0
Exigência na Fase de Cria		6	21,1	2950	0,91	0,445	0,215	0,19	Custo total:
Valores obtidos pelo Solver		**4,44**	**21,1**	**2950**	**1,23**	**0,445**	**0,28**	**0,19**	Custo R$/kg:

Fonte: Autor, (2021).

Para adicionar as necessidades nutricionais das aves da linhagem Embrapa 051, com suas restrições, bastou inserir novas colunas (figura 10) e preencher as células com os dados, em seguida é só indicar as mudanças no Solver.

Figura 10- Inserindo nova coluna



Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores nutricionais dos alimentos (%)							Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05		≤	10
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06		≤	65
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09		≤	65
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05		≤	34,5
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07		≤	12
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07		≤	15
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-		≤	5,7
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49		≤	12
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-		≤	0
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-		≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-		≤	8
Fosfato bicálcico	6,24	-	-	-	23	18	-	-		≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60		≤	0,4
Núcleo inicial	6,19	-	-	-	19,65	2,75	4,85	-		=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	≥	≥	≥	≥	≥	≥	0	=	100
Exigência na Fase de Cria		6	21,1	2950	0,91	0,445	0,215	0,19	Custo total:	0,00	
Valores obtidos pelo Solver		**4,44**	**21,1**	**2950**	**1,23**	**0,445**	**0,28**	**0,19**	Custo R$/kg:	**0,00**	

Fonte: Autor, (2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Formulações de rações para poedeiras caipiras

Após as simulações do Solver considerando as restrições de atendimento das necessidades nutricionais básicas para aves poedeiras caipiras de uma forma geral e as porcentagens máximas de quantidade do alimento na ração, obteve-se os valores de R$ 2,72/kg de ração para a fase inicial, R$ 2,53/kg para a fase de recria e R$ 2,28 para a fase de produção. Conforme a análise de sensibilidade, as variações nos preços foram influenciadas especialmente pela necessidade de P. disponível e de PB de cada fase, sendo a fase inicial a mais exigente.

Para esta simulação, o modelo matemático se mostrou de fácil utilização, sendo muito satisfatório e eficiente nos resultados, capaz de atender à necessidade nutricional de todas as fases das aves (Quadros 3, 4 e 5) com o valor exato em quase todos os parâmetros avaliados, obtendo-se os valores médios conforme as recomendações de (VIOLA et al., 2018b; PRADO, 2019).

Quadro 3- Balanceamento da dieta de poedeiras caipiras gerais para a fase de cria

Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores nutricionais dos alimentos (%)							Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	0	≤	10
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	44,81	≤	65
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0	≤	65
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	34,50	≤	34,5
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0	≤	12
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0	≤	15
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	0,00	≤	5,7
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	9,81	≤	12
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	0	≤	0
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	5,50	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	0	≤	8
Fosfato bicálcíco	6,24	-	-	-	23	18	-	-	1,22	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	0,16	≤	0,4
Núcleo inicial	6,19	-	-	-	19,65	2,75	4,85	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100	=	100
Exigência na Fase de Cria		6	21,1	2950	0,91	0,445	0,22	0,19	**Custo total:**	271,96	
Valores obtidos pelo Solver		**4,44**	**21,1**	**2950**	**1,23**	**0,445**	**0,28**	**0,19**	**Custo R$/kg:**	**2,72**	

Fonte: Autor, (2021).

Quadro 4- Balanceamento da dieta de poedeiras caipiras gerais para a fase de recria

Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores nutricionais dos alimentos (%)							Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	4,63	≤	15
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	54,95	≤	65
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0	≤	65
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	30,00	≤	30
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0	≤	12
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0	≤	15
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	0	≤	5,7
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	0	≤	12
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	0	≤	10
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	5,19	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	0,18	≤	8
Fosfato bicálcíco	6,24	-	-	-	23	18	-	-	0,83	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	0,21	≤	0,4
Núcleo Recria	4,92	-	-	-	10,8	3,7	2,2	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100	=	100
Exigência na Fase de Recria		6	18,55	3075	0,82	0,395	0,19	0,17	**Custo total:**	**252,91**	
Valores obtidos pelo Solver		**3,24**	**18,55**	**3075**	**0,82**	**0,395**	**0,19**	**0,18**	**Custo R$/kg:**	**2,53**	

Fonte: Autor, (2021).

Quadro 5- Balanceamento da dieta de poedeiras caipiras gerais para a fase de produção

Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores nutricionais dos alimentos (%)							Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	20,00	≤	20
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	33,83	≤	65
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0	≤	65
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	28,66	≤	30
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0	≤	12
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0	≤	15
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	0	≤	5,7
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	0	≤	12
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	0	≤	15
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	4,81	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	7,64	≤	8
Fosfato bicálcíco	6,24	-	-	-	23	18	-	-	0,80	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	0,26	≤	0,4
Núcleo produção	5,58	-	-	-	21	3,66	4	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100,00	=	
Exigência na Fase de Produção		6	16,5	2789	4	0,375	0,28	0,2	**Custo total:**	**228,33**	
Valores obtidos pelo Solver		**3,21**	**16,5**	**2789**	**4**	**0,375**	**0,28**	**0,2**	**Custo R$/kg:**	**2,28**	

Fonte: Autor, (2021).

As três dietas tiveram em comum os alimentos: sorgo, farelo de soja, óleo de soja, fosfato bicálcico e cloreto de sódio. Além do suplemento vitamínico e mineral específico para a fase, uma vez que este último foi imposto com uma restrição de igualdade na fórmula, para que assim, o programa adiciona-se exatamente os 4% do produto na dieta. Além do sorgo, todos as rações apresentaram uma segunda fonte de alimento alternativo.

Tonin, Lima e Assis (2018), também obtiveram êxito ao utilizar a técnica da programação linear (PL) pelo método Simplex no Solver, formulando dietas de baixo custo para gado de elite com cinco ingredientes (farinha de osso, sal, farelo de soja, bagaço de cana e melaço de cana). Entretanto, são escassos os estudos utilizando o Solver, bem como, sobre modelagem matemática para formulação de dietas para aves.

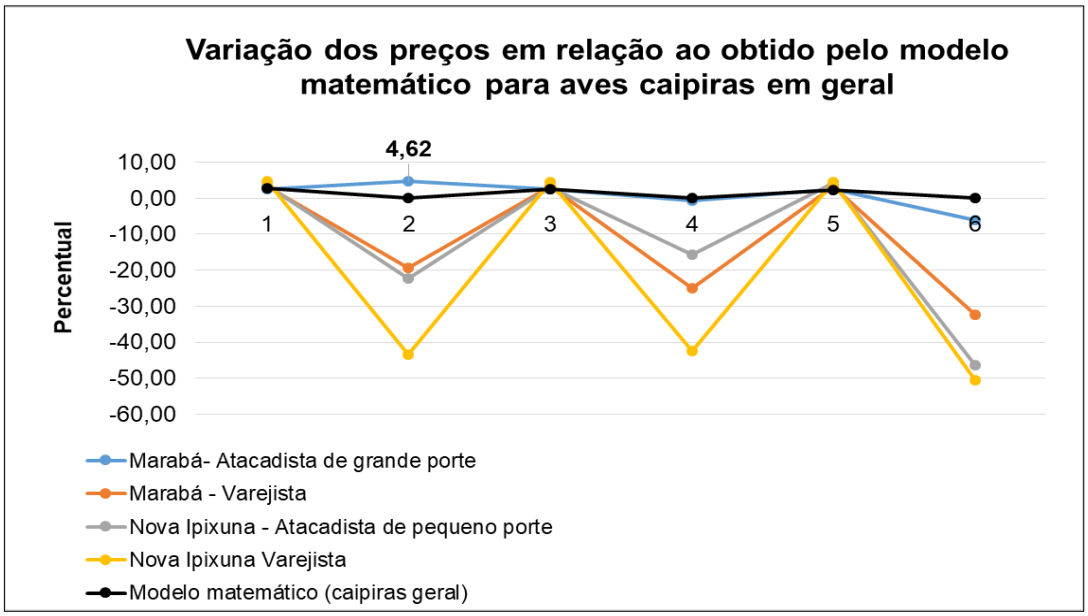
Outros autores como Santos e Perina (1999), Santos; Rodrigues e Lisboa Filho (2006) e Santos e Quintal (2016), trabalharam com rações de custo mínimo para a nutrição de bovinos, pequenos ruminantes e de Suínos, por meio da PL e o método Simplex, porém utilizando outros softwares como, o Orsys, Microsoft Visual Studio e o software Lingo. Todos apresentando resultados adequados para a solução de problemas lineares.

Ao comparar os preços das rações obtidas pelo modelo matemático, com os preços de quatro estabelecimentos comerciais, sendo dois deles situados no município de Nova Ipixuna e dois em Marabá, constatou-se que os valores obtidos pelo modelo matemático foram inferiores, exceto a ração obtida para a fase de cria, que foi superior em relação a um estabelecimento atacadista de grande porte de Marabá. A seguir, no quadro (6), foram relacionados os preços de mercado e a variação percentual entre eles, em relação aos valores do modelo matemático, e na figura (11) está a representação gráfica destas variações.

Quadro 6- Síntese de preços e variação percentual das rações para poedeiras caipiras gerais para as fases de cria, recria e produção

Município	Mercado	Data	Cria (R$/kg)	Variação (%)	Recria (R$/kg)	Variação (%)	Produção (R$/kg)	Variação (%)
Marabá	Atacadista de grande porte	23/11/2021	2,60	4,62	2,55	-0,78	2,43	-5,98
	Varejista	23/11/2021	3,38	-19,41	3,38	-25,04	3,38	-32,44
Nova Ipixuna	Atacadista de pequeno porte	23/11/2021	3,50	-22,29	3,00	-15,67	4,25	-46,35
	Varejista	23/11/2021	4,80	-43,33	4,40	-42,50	4,60	-50,43
Modelo matemático (caipiras geral)	Valores dos alimentos coletados entre out. e nov. de 2021.		**2,72**	-	**2,53**	-	**2,28**	-

Figura 11- Variação percentual das rações nas diferentes fases de aves poedeiras caipiras de uma forma geral, sendo as variações dos preços das rações da cria, recria e produção respectivamente os pontos 2, 4 e 6 do gráfico



Fonte: Autor, (2021).

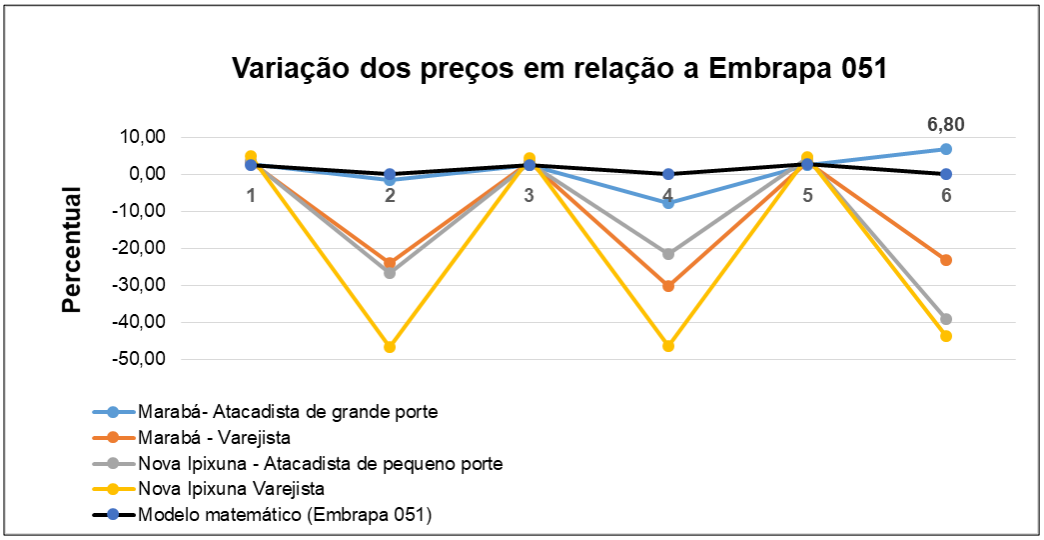
É importante salientar que os valores obtidos nas simulações contemplam apenas os custos de aquisição dos alimentos, sem contar os custos de produção, ou seja, da mistura da ração (como a energia e a embalagem para o armazenamento), considerando a mistura manual e a força de trabalho do próprio avicultor e de sua família. Por outro lado, se os alimentos fossem comprados a granel e em fardos, o custo de aquisição seria reduzido, o que talvez se equivaleria ao preço de mercado que já inclui o custo da produção.

A mesma análise foi utilizada para a formulação de rações de aves caipiras de alto desempenho, especificamente, para a linhagem Embrapa 051, onde, além do atendimento nutricional quanto a FB, PB, EMA e dos macronutrientes, foram inseridos na planilha os micronutrientes e os aminoácidos essenciais, e a restrição de PB foi modificada para o tipo =, para que o solver não aumentasse o teor de PB até que as demais restrições nutricionais estivessem o mais próximo do valor ideal, e assim, encarecesse a ração. Também respeitou-se as recomendações de limite máximo da quantidade dos alimentos nas ração.

Para esta simulação nem todas as necessidades das aves foram satisfeitas, não pela falta de capacidade do Solver em encontrar a solução ótima, mas, em função da disponibilidade dos nutrientes disponíveis nos alimentos que foram propostos, não sendo atingido os 100% da exigência nutricional no parâmetro metionina + cistina nas três fases, o qual o ideal de 0,65% na cria, 0,5% na recria e 0,6% na produção, ficaram abaixo, respectivamente nos valores de 0,53%, 0,4% e 0,44%. Além da metionina na fase de produção, que foi possível atingir 0,30% do ideal de 0,37%.

E neste cenário, os preços obtidos para as rações foram de R$ 2,56 para a fase de cria, R$ 2,35 na recria e R$ 2,59 na produção, sendo superior em 6,8% apenas a ração da fase de produção, quando comparada com o preço de mercado (Figura 12).

Figura 12- Variação percentual dos preços das rações de poedeiras caipiras Embrapa 051, nas fases de cria, recria e produção.



Fonte: Autor, (2021).

A composição dos alimentos selecionados para cada fase é apresentada nos quadros (7, 8 e 9), a seguir.

Quadro 7- Balanceamento da dieta para a fase de cria de poedeiras caipiras Embrapa 051

EMBRAPA 051 - CRIA (0 a 6 semanas de vida)																													
Ingredientes	**Preço (R$/kg)**	**Valores (%)**			**(%) macrominerais**				**(%) microminerais**				**Valores percentuais dos aminoácidos nos alimentos**													**Min Z =**	**Tipo de restrição**	**Restrição de % máxima do alimento na ração**
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl	Mn	Zn	Fe	Cu	Lisina	Metionina	Meti+Cist	Treonina	Triptofano	Arginina	Valina	Isoleucina	Leucina	Histidina	Fenilalalina	Glicina	Prolina			
Mandioca integral, ras	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	0,02	0,01	0,09	0	0,1	0,03	-	0,07	0,02	0,16	0,12	0,1	0,13	0,09	0,09	0,09	-	0,00	≤	10
Sorgo grão baixo tanin	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	0,01	0,05	0,060	0,01	0,18	0,13	0,27	0,25	0,09	0,31	0,41	0,33	1,12	0,19	0,45	0,24	0,71	0,00	≤	65
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0,01	0,02	0,02	0	0,17	0,13	0,26	0,25	0,05	0,3	0,28	0,22	0,8	0,2	0,3	0,21	0,66	60	≤	65
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	0,03	0,05	0,150	0,02	2,54	0,56	1,13	1,53	0,57	3,11	1,95	1,89	3,13	1,07	2,12	1,62	2,06	32,64	≤	34,5
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0,19	0,5	0,12	0,03	0,47	0,21	0,38	0,36	0,11	0,9	0,54	0,35	0,7	0,3	0,43	0,57	0,44	0	≤	12
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0,1	0,13	0,21	0,02	0,45	0,18	0,42	0,37	0,17	0,93	0,5	0,38	0,75	0,3	0,5	0,5	0,88	0	≤	15
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	-	-	-	-	0,78	0,61	-	1,13	0,58	3,21	1,78	1,75	2,68	0,56	1,35	-	-	0	≤	5,7
Torta de dendê	1,20	15	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	-	-	-	-	0,66	0,35	-	0,65	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	0	≤	12
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-	1,4	-	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	≤	0
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,66	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	≤	8
Fosfato bicálcíco	6,24	-	-	-	23	18	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,07	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	≤	0,4
Núcleo cria	5,58	-	-	-	21	3,66	4	-	1,8	1,58	0,7	0,18	1,52	3,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	=	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100,00	=	100
Exigência na Fase de Cria		5	19	2900	0,95	0,45	0,18	0,2	0,08	0,07	0,05	0,01	0,9	0,4	0,65	0,6	0,18	0,92	0,65	0,6	0	0	0	0	0	**Custo total :**	**256,44**	
Valores obtidos pelo Solver		**2,76**	**19,00**	**2900**	**1,21**	**0,45**	**0,26**	**0,20**	**0,09**	**0,09**	**0,10**	**0,01**	**0,99**	**0,42**	**0,53**	**0,65**	**0,22**	**1,20**	**0,81**	**0,7**	**1,50**	**0,47**	**0,87**	**0,66**	**1,07**	**Custo R$/kg :**	**2,56**	

Quadro 8- Balanceamento da dieta para a fase de recria de poedeiras caipiras Embrapa 051

EMBRAPA 051 - RECRIA (7 a 20 semanas de vida)																													
Ingredientes	**Preço (R$/kg)**	**Valores (%)**			**(%) macrominerais**				**(%) microminerais**				**Valores percentuais dos aminoácidos nos alimentos**													**Min Z =**	**Tipo de restrição**	**Restrição de % máxima do alimento na ração**
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl	Mn	Zn	Fe	Cu	Lisina	Metionina	Meti+Cist	Treonina	Triptofano	Arginina	Valina	Isoleucina	Leucina	Histidina	Fenilalalina	Glicina	Prolina			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	0,024	0,011	0,093	0,005	0,1	0,03	-	0,07	0,02	0,16	0,12	0,1	0,13	0,09	0,09	0,09	-	0,00	≤	15
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	0,011	0,05	0,060	0,006	0,18	0,13	0,27	0,25	0,09	0,31	0,41	0,33	1,12	0,19	0,45	0,24	0,71	0,00	≤	65
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0,005	0,022	0,024	0,002	0,17	0,13	0,26	0,25	0,05	0,3	0,28	0,22	0,8	0,2	0,3	0,21	0,66	63	≤	65
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	0,032	0,046	0,150	0,016	2,54	0,56	1,13	1,53	0,57	3,11	1,95	1,89	3,13	1,07	2,12	1,62	2,06	20,38	≤	30
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0,195	0,498	0,115	0,028	0,47	0,21	0,38	0,36	0,11	0,9	0,54	0,35	0,7	0,3	0,43	0,57	0,44	10	≤	12
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0,103	0,135	0,205	0,015	0,45	0,18	0,42	0,37	0,17	0,93	0,5	0,38	0,75	0,3	0,5	0,5	0,88	0	≤	15
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	-	-	-	-	0,78	0,61	-	1,13	0,58	3,21	1,78	1,75	2,68	0,56	1,35	-	-	0	≤	5,7
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	-	-	-	-	0,66	0,35	-	0,65	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	0	≤	12
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-	1,4	-	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	≤	10
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	≤	8
Fosfato bicálcico	6,24	-	-	-	23	18	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	≤	0,4
Núcleo recria	5,58	-	-	-	10,8	3,7	2,2		1,25	0,5	0,68	0,13	2,4	1,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	=	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100,00	=	100
Exigência na Fase de Recria		5	15	2900	0,85	0,4	0,18	0,17	0,08	0,07	0,05	0,01	0,65	0,28	0,5	0,42	0,15	0,65	0,5	0,47	0	0	0	0	0	**Custo total :**	**234,83**	
Valores obtidos pelo Solver		**3,02**	**15**	**2900**	**0,85**	**0,4**	**0,18**	**0,19**	**0,08**	**0,09**	**0,09**	**0,01**	**0,77**	**0,30**	**0,4**	**0,51**	**0,16**	**0,92**	**0,63**	**0,56**	**1,2156**	**0,38**	**0,67**	**0,52**	**0,88**	**Custo R$/kg :**	**2,35**	

Quadro 9- Balanceamento da dieta para a fase de produção de poedeiras caipiras Embrapa 051

EMBRAPA 051 - RECRIA (21 a 90 semanas de vida)																													
Ingredientes	**Preço (R$/kg)**	**Valores (%)**			**(%) macrominerais**				**(%) microminerais**				**Valores percentuais dos aminoácidos nos alimentos**													**Min Z =**	**Tipo de restrição**	**Restrição de % máxima do alimento na ração**
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl	Mn	Zn	Fe	Cu	Lisina	Metionina	Meti+Cist	Treonina	Triptofano	Arginina	Valina	Isoleucina	Leucina	Histidina	Fenilalalina	Glicina	Prolina			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	0,024	0,011	0,093	0,005	0,1	0,03	-	0,07	0,02	0,16	0,12	0,1	0,13	0,09	0,09	0,09	-	0,00	≤	20
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	0,011	0,05	0,060	0,006	0,18	0,13	0,27	0,25	0,09	0,31	0,41	0,33	1,12	0,19	0,45	0,24	0,71	0,00	≤	65
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0,005	0,022	0,024	0,002	0,17	0,13	0,26	0,25	0,05	0,3	0,28	0,22	0,8	0,2	0,3	0,21	0,66	48	≤	65
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	0,032	0,046	0,150	0,016	2,54	0,56	1,13	1,53	0,57	3,11	1,95	1,89	3,13	1,07	2,12	1,62	2,06	24,31	≤	30
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0,195	0,498	0,115	0,028	0,47	0,21	0,38	0,36	0,11	0,9	0,54	0,35	0,7	0,3	0,43	0,57	0,44	10	≤	12
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0,103	0,135	0,205	0,015	0,45	0,18	0,42	0,37	0,17	0,93	0,5	0,38	0,75	0,3	0,5	0,5	0,88	0	≤	15
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	-	-	-	-	0,78	0,61	-	1,13	0,58	3,21	1,78	1,75	2,68	0,56	1,35	-	-	0	≤	5,7
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	-	-	-	-	0,66	0,35	-	0,65	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	0	≤	12
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-	1,4	-	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	≤	15
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,88	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,00	≤	8
Fosfato bicálcico	6,24	-	-	-	23	18	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,37	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	≤	0,4
Núcleo produção	5,58	-	-	-	10,8	3,7	2,2		1,25	0,5	0,68	0,13	2,4	1,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	=	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100,00	=	100
Exigência na Fase de produção		5	15,71	2762,5	3,81	0,41	0,16	0,2	0,08	0,06	0,05	0,01	0,72	0,37	0,60	0,52	0,17	0,8	0,66	0,55	0	0	0	0	0	**Custo total :**	**259,40**	
Valores obtidos pelo Solver		**2,90**	**15,71**	**2762,5**	**3,81**	**0,52**	**0,19**	**0,2**	**0,08**	**0,09**	**0,10**	**0,01**	**0,84**	**0,30**	**0,44**	**0,53**	**0,17**	**0,99**	**0,66**	**0,60**	**1,2164**	**0,39**	**0,70**	**0,55**	**0,86**	**Custo R$/kg :**	**2,59**	

Apesar do não atendimento dos aminoácidos essenciais citados, na quantidade recomendada, no sistema alternativo de criação de galinhas caipiras as aves não estarão restritas somente a dieta via ração, diferente da produção convencional onde as aves passam sua vida inteira presas em gaiolas, neste sentido, pode-se considerar que este déficit dos aminoácidos poderá ser amenizado pelo sistema de produção.

Em um sistema caipira de produção, as pastagens tornam-se importante fonte de alimento para as aves, pois além do pasto, a ave consegue se alimentar de diversos insetos e sementes encontrados na área de pastejo, contribuindo para a redução dos custos com a alimentação (PRADO,2019). Também se alimentando de minhocas, outras plantas, frutas, legumes e verduras (SAGRILO et al., 2007).

Outra questão que dever ser levada em consideração é que, os valores bromatológicos dos alimentos são baseados em médias, não sendo especificado a cultivar, o tipo de adubação dentre outros fatores que tornam as propriedades nutritivas dos alimentos variáveis, bem como, os parâmetros nutricionais das aves são baseados em valores médios, resultante da coleta de dados de vários avicultores, sendo utilizado pelos manuais de desempenho da linhagem. Por tanto, não existe um valor padrão que deva ser exatamente seguido.

4.1.2 Formulações de rações de baixo custo para poedeiras caipiras

Em uma segunda análise do modelo, para testá-lo, buscou-se reduzir ainda mais os preços obtidos e atingir os resultados relatados por Fiore (2015), o qual cita que o custo na produção avícola caipira pode ser reduzido em até 40% com a inclusão da mandioca em substituição ao milho, considerou-se a participação máxima de 100% da raspa de mandioca, sorgo, farelo de soja, farelo de arroz, farelo de trigo, torta de mamona, torta de dendê e do FTSRM e de 0% do farelo de milho, para que o Solver escolhe-se a melhor proporção dos alimentos na composição da ração. Desejando-se também obter uma ração satisfatória do ponto de vista nutricional.

A simulação com as características a cima foram empregas somente para as fases de recria e produção de aves caipiras de uma forma geral e da linhagem Embrapa 051. Não sendo indicado para a fase de cria ultrapassar a recomendação

dos limites máximos dos alimentos. Por serem animais jovens o trato gastrointestinal é imaturo, com capacidade reduzida de utilização dos nutrientes (FAGUNDES, 2011), e a troca de ingredientes convencionais por alimentos alternativos, para minimizar custos, deve ser realizada com prudência, devendo as aves serem adaptadas gradativamente com a alimentação alternativa (AMARAL, 2009).

Como resultados, para a dieta de galinhas caipiras de uma forma geral, obteve-se a redução no preço do kg da ração de R$ 2,53 para R$ 2,46 na fase de recria e de R$ 2,28 para R$ 2,21 na fase de produção e todas as necessidades nutricionais nas duas fases foram satisfeitas (Quadro 10 e 11). Na recria o valor obtido foi 33,5% menor que o preço médio do mercado de Nova Ipixuna e 16,89% inferior ao preço médio de Marabá. Na fase de produção a redução no custo foi respectivamente de 50% e 23,79%.

Quadro 10- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de recria de poedeiras caipiras de uma forma geral

Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores nutricionais dos alimentos (%)							Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	31,53	≤	100
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	21,51	≤	100
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0	≤	0
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	34,88	≤	100
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0	≤	100
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0	≤	100
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	0	≤	100
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	0	≤	100
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	0	≤	100
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	7,00	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	0,00	≤	8
Fosfato bicálcíco	6,24	-	-	-	23	18	-	-	0,87	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	0,21	≤	0,4
Núcleo Recria	4,92	-	-	-	10,8	3,7	2,2	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100	=	100
Exigência na Fase de Recria		6	18,55	3075	0,82	0,395	0,19	0,17	**Custo total:**	**245,94**	
Valores obtidos pelo Solver		**3,64**	**18,55**	**3075**	**0,82**	**0,395**	**0,19**	**0,17**	**Custo R$/kg:**	**2,46**	

Fonte: Autor, (2021).

Quadro 11- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de produção de poedeiras caipiras de uma forma geral

Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores nutricionais dos alimentos (%)							Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	47,22	≤	100
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	0,00	≤	100
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0	≤	0
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	33,60	≤	100
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0	≤	100
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0	≤	100
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	0	≤	100
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	0	≤	100
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	0	≤	100
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	6,64	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	7,44	≤	8
Fosfato bicálcíco	6,24	-	-	-	23	18	-	-	0,84	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	0,27	≤	0,4
Núcleo produção	5,58	-	-	-	21	3,66	4	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100,00	=	100
Exigência na Fase de Produção		6	16,5	2789	4	0,375	0,28	0,2	**Custo total:**	**221,28**	
Valores obtidos pelo Solver		**3,62**	**16,5**	**2789**	**4**	**0,375**	**0,28**	**0,2**	**Custo R$/kg:**	**2,21**	

Fonte: Autor, (2021).

Na fase de recria, para que fosse possível atingir todas as necessidades nutricionais da ave, o Solver não utilizou somente a raspa de mandioca como fonte energética, foi preciso a inclusão de 21,51% de sorgo.

Em um cenário em que deseja-se baratear o custo ração, retirando o sorgo e incluindo somente a raspa de mandioca, não seria possível atender a EMA de 3.075, atingindo somente 3.005 com o fornecimento de uma ração composta por 49,95% de raspa de mandioca, 37,95% de farelo de soja, 7% de óleo de soja, 0,89 de fosfato bicálcico, 0,21 de cloreto de sódio e 4% de núcleo recria, e o preço do Kg da ração reduziria de R$ 2,46 para R$ 2,31.

Porém, este déficit na EMA pode ser corrigido aumenta-se o limite máximo de óleo de soja na ração de 7% para 8,23 % e o preço do kg da ração reduziria de R$ 2,46 para R$ 2,42, com a composição ótima desta última análise descrita no quadro (12). Desta vez, foi possível reduzir o custo em 34,59% em comparação à média do preço de Nova Ipixuna e 18,24% em relação à média de Marabá.

Com o uso da ferramenta Solver foi possível simular diversos cenários de modo muito rápido e prático. Para Tonin, Lima e Assis (2018), a interface da planilha eletrônica com a modelagem matemática é criada de tal forma que sua utilização não exige conhecimento computacional por parte do usuário. Contrariando o autor, mesmo

que seja necessário apenas poucos passos para as mudanças nos parâmetros analisados, é necessário o mínimo de conhecimento de informática, caso contrário, o formulador fica limitado ao modelo.

Quadro 12- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de recria de poedeiras caipiras após o ajuste da EMA

Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores nutricionais dos alimentos (%)							Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	48,64	≤	100
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	0,00	≤	100
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0	≤	0
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	38,03	≤	100
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0	≤	0
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0	≤	0
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	0	≤	0
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	0	≤	0
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	0	≤	100
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	8,23	≤	100
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	0,00	≤	8
Fosfato bicálcíco	6,24	-	-	-	23	18	-	-	0,89	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	0,21	≤	0,4
Núcleo Recria	4,92	-	-	-	10,8	3,7	2,2	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100	=	100
Exigência na Fase de Recria		6	18,55	3075	0,82	0,395	0,19	0,17	**Custo total:**	**242,11**	
Valores obtidos pelo Solver		**3,90**	**18,55**	**3075**	**0,87**	**0,395**	**0,19**	**0,17**	**Custo R$/kg:**	**2,42**	

Fonte: Autor, (2021).

Para as fases de recria e produção da linhagem Embrapa 051, o modelo continuou não atingindo as exigências nutricionais no parâmetro cistina+metionina. O nível obtido na fase de recria continuou com 0,4% e o valor do kg da ração reduziu de R$ 2,35 para R$ 2,11 (Quadro 13). Representando a redução de 42,97% em relação ao preço médio de nova Ipixuna e 28,72% em relação ao de Marabá.

Na fase de produção, o nível de metionina+cistina reduziu de 0,44% para 0,35%, ficando ainda mais distante do valor desejável (0,60%), e o nível de metionina reduziu de 0,30% para 0,28%, ocorrendo uma redução do preço da ração de R$2,59/kg para R$2,26/kg (Quadro 14). Em comparação ao mercado de Nova Ipixuna ficou 48,98% abaixo do preço e 22,07%, mas barato que a média de Marabá (Tabela 9).

Quadro 13- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de recria de poedeiras caipiras Embrapa 051

EMBRAPA 051 - RECRIA (7 a 20 semanas de vida)

Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores (%)			(%) macrominerais				(%) microminerais				Valores percentuais dos aminoácidos nos alimentos													Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl	Mn	Zn	Fe	Cu	Lisina	Metionina	Meti+Cist	Treonina	Triptofano	Arginina	Valina	Isoleucina	Leucina	Histidina	Fenilalalina	Glicina	Prolina			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	0,024	0,011	0,093	0,005	0,1	0,03	-	0,07	0,02	0,16	0,12	0,1	0,13	0,09	0,09	0,09	-	0,00	≤	100
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	0,011	0,05	0,060	0,006	0,18	0,13	0,27	0,25	0,09	0,31	0,41	0,33	1,12	0,19	0,45	0,24	0,71	67,57	≤	100
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0,005	0,022	0,024	0,002	0,17	0,13	0,26	0,25	0,05	0,3	0,28	0,22	0,8	0,2	0,3	0,21	0,66	0	≤	0
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	0,032	0,046	0,150	0,016	2,54	0,56	1,13	1,53	0,57	3,11	1,95	1,89	3,13	1,07	2,12	1,62	2,06	17,45	≤	100
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0,195	0,498	0,115	0,028	0,47	0,21	0,38	0,36	0,11	0,9	0,54	0,35	0,7	0,3	0,43	0,57	0,44	9	≤	100
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0,103	0,135	0,205	0,015	0,45	0,18	0,42	0,37	0,17	0,93	0,5	0,38	0,75	0,3	0,5	0,5	0,88	0	≤	100
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	-	-	-	-	0,78	0,61	-	1,13	0,58	3,21	1,78	1,75	2,68	0,56	1,35	-	-	0	≤	100
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	-	-	-	-	0,66	0,35	-	0,65	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	0	≤	100
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-	1,4	-	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	≤	100
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,84	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	≤	8
Fosfato bicálcico	6,24	-	-	-	23	18	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,78	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	≤	0,4
Núcleo recria	5,58	-	-	-	10,8	3,7	2,2		1,25	0,5	0,68	0,13	2,4	1,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	=	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100,00	=	100
Exigência na Fase de Recria		5	15	2900	0,85	0,4	0,18	0,17	0,08	0,07	0,05	0,01	0,65	0,28	0,5	0,42	0,15	0,65	0,5	0,47	0	0	0	0	0	**Custo total :**	**210,93**	
Valores obtidos pelo Solver		**3,48**	**15**	**2900**	**0,85**	**0,4**	**0,18**	**0,17**	**0,08**	**0,11**	**0,11**	**0,01**	**0,70**	**0,28**	**0,4**	**0,47**	**0,17**	**0,83**	**0,66**	**0,58**	**1,3643**	**0,34**	**0,71**	**0,49**	**0,88**	**Custo R$/kg :**	**2,11**	

Quadro 14- Balanceamento da dieta de baixo custo para a fase de produção de poedeiras caipiras Embrapa 051

EMBRAPA 051 - RECRIA (21 a 90 semanas de vida)

Ingredientes	Preço (R$/kg)	Valores (%)			(%) macrominerais				(%) microminerais				Valores percentuais dos aminoácidos nos alimentos													Min Z =	Tipo de restrição	Restrição de % máxima do alimento na ração
		FB	PB	EMA	Ca	P disp.	Na	Cl	Mn	Zn	Fe	Cu	Lisina	Metionina	Meti+Cist	Treonina	Triptofano	Arginina	Valina	Isoleucina	Leucina	Histidina	Fenilalalina	Glicina	Prolina			
Mandioca integral, raspas	0,40	4,21	2,64	3005	0,21	0,03	0,02	0,05	0,024	0,011	0,093	0,005	0,1	0,03	-	0,07	0,02	0,16	0,12	0,1	0,13	0,09	0,09	0,09	-	40,62	≤	100
Sorgo grão baixo tanino	1,50	2,89	8,75	3234	0,03	0,07	0,02	0,06	0,011	0,05	0,060	0,006	0,18	0,13	0,27	0,25	0,09	0,31	0,41	0,33	1,12	0,19	0,45	0,24	0,71	0,00	≤	0
Farelo de milho 6,92%	1,80	1,95	6,92	3294	0,02	0,08	0,01	0,09	0,005	0,022	0,024	0,002	0,17	0,13	0,26	0,25	0,05	0,3	0,28	0,22	0,8	0,2	0,3	0,21	0,66	0	≤	0
Farelo de soja 45%	3,15	4,86	45,4	2341	0,34	0,19	0,02	0,05	0,032	0,046	0,150	0,016	2,54	0,56	1,13	1,53	0,57	3,11	1,95	1,89	3,13	1,07	2,12	1,62	2,06	29,06	≤	100
Farelo de arroz	2,17	7,71	13,3	2654	0,12	0,35	0,04	0,07	0,195	0,498	0,115	0,028	0,47	0,21	0,38	0,36	0,11	0,9	0,54	0,35	0,7	0,3	0,43	0,57	0,44	6	≤	100
Farelo de trigo	2,17	9,7	15,1	1926	0,14	0,49	0,02	0,07	0,103	0,135	0,205	0,015	0,45	0,18	0,42	0,37	0,17	0,93	0,5	0,38	0,75	0,3	0,5	0,5	0,88	0	≤	100
Torta de mamona	10,00	18,5	39,2	1484	0,62	0,21	0,01	-	-	-	-	-	0,78	0,61	-	1,13	0,58	3,21	1,78	1,75	2,68	0,56	1,35	-	-	0	≤	100
Torta de dendê	1,20	14,95	15,46	2142	0,34	0,18	0,09	0,49	-	-	-	-	0,66	0,35	-	0,65	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	4	≤	100
Farelo do terço superior da rama de mandioca	0,4	18,5	20	-	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-	1,4	-	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	≤	100
Óleo de soja	9,41	-	-	8790	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,00	≤	7
Calcário Calcítico	0,84	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,00	≤	8
Fosfato bicálcico	6,24	-	-	-	23	18	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	≤	2
Cloreto de sódio	1,04	-	-	-	-	-	40	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	≤	0,4
Núcleo produção	5,58	-	-	-	10,8	3,7	2,2		1,25	0,5	0,68	0,13	2,4	1,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00	=	4
Restrições de exigência nutricional		≤	=	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	≥	100,00	=	100
Exigência na Fase de produção		5	15,71	2762,5	3,81	0,41	0,16	0,2	0,08	0,06	0,05	0,01	0,72	0,37	0,60	0,52	0,17	0,8	0,66	0,55	0	0	0	0	0	**Custo total :**	**226,49**	
Valores obtidos pelo Solver		**4,23**	**15,71**	**2762,5**	**3,82**	**0,41**	**0,20**	**0,2**	**0,08**	**0,07**	**0,12**	**0,01**	**0,93**	**0,28**	**0,35**	**0,52**	**0,19**	**1,02**	**0,65**	**0,61**	**1,002**	**0,36**	**0,68**	**0,54**	**0,62**	**Custo R$/kg :**	**2,26**	

Um fato interessante para a fase de recria da linhagem Embrapa 051, foi que, quando realizada a substituição do sorgo pela raspa da mandioca, não houve a redução dos custos, como no caso anterior das galinhas caipiras de uma forma geral, pelo contrário, o kg da ração chegou ao valor de R$ 2,50, com a composição de 27,36 % de raspa de mandioca, 20,64 % de farelo de milho, 7% de óleo de soja, 3,48% de calcário calcítico, 0,42% de fosfato bicálcico, 0,20% de cloreto de sódio e 4% de núcleo.

Além disso, o valor do Ca ficou muito acima do exigido, com 1,99%. O Ca em excesso pode agir como antagonista dificultando a absorção de alguns minerais tais como ferro, cobre, zinco, magnésio, sódio, potássio, entre outros (MUNIZ et al., 2007).

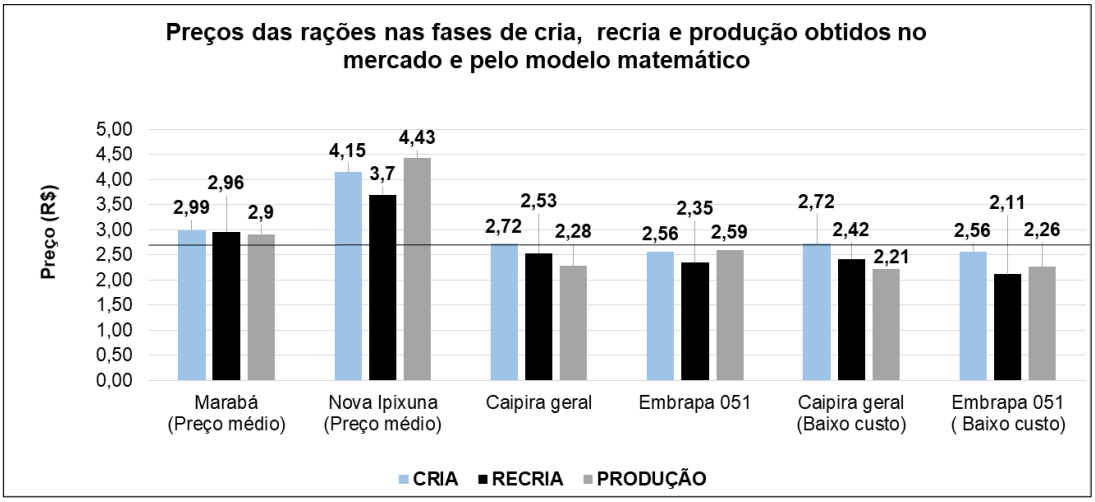
Neste caso, considerou-se como ração de baixo custo o valor obtido pela inclusão do sorgo, que demandou menor quantidade de óleo na ração, motivo que fez a ração ser mais vantajosa.

Como visto, nesta análise do Solver foi possível obter dietas com custos mais reduzidos, no entanto, para que isso fosse possível não se utilizou os limites máximos recomendados de inclusão dos alimentos na ração. Quando se trata de produção em grande escala é importante analisar até que ponto a maior economia é capaz de garantir a mesma produtividade.

Essa resposta só é possível de ser obtida pelo monitoramento do desempenho das aves, que é variável, conforme o tipo de sistema alternativo em que as aves são criadas e da raça ou linhagem da mesma. O desempenho destas decisões irá impactar diretamente na competitividade do negócio, que depende da forma como os problemas são analisados (ALMEIDA, 2013).

A partir da relação de todos os preços obtidos até aqui pelo Solver (Figura 13) é possível perceber de forma mais clara a diferença entre os valores gerados pelo modelo matemático e os preços praticados pelos mercados de Marabá e Nova Ipixuna.

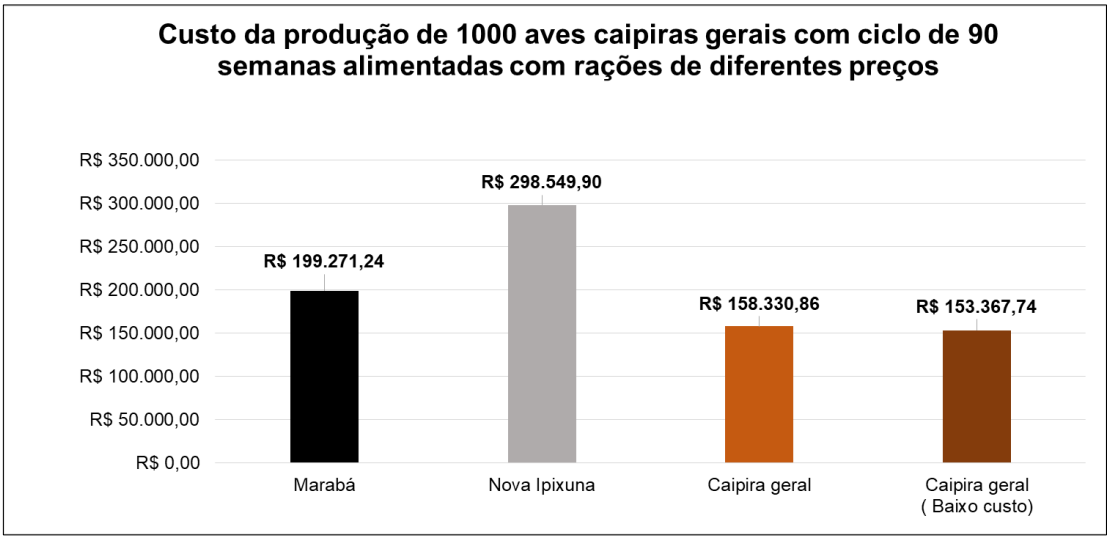
Figura 13- Síntese de preços das rações obtidas pelo mercado e pelo modelo matemático para as fases de cria, recria e produção



Fonte: Autor, (2021).

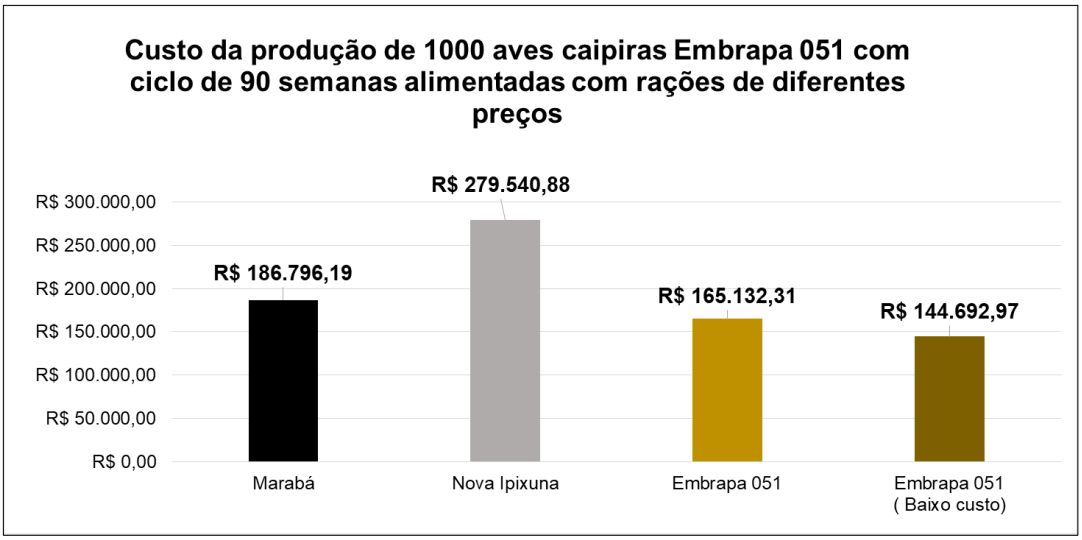
Todos os valores foram inferiores à média do mercado, e o impacto desta redução é mais expressivo quando se observa por uma escala de produção. Para demonstrar, na figura (14) estão os valores de produção de 1000 aves poedeiras caipiras gerais, com base no consumo médio de ração de 1,155 kg na fase de cria, 6,142 kg na fase de recria e 61,250 kg na fase de produção e na figura (15) da linhagem Embrapa 051 com base no consumo médio de 1,358 kg na fase de cria, 6,009 kg na recria e de 56,875 kg na fase produção e um ciclo de 90 semanas.

Figura 14- Síntese de preços das rações obtidas pelo mercado e pelo modelo matemático para as fases de cria, recria e produção de poedeiras caipiras gerais



Fonte: Autor, (2021).

Figura 15- Síntese de preços das rações obtidas pelo mercado e pelo modelo matemático para as fases de cria, recria e produção de poedeiras Embrapa 051



Fonte: Autor, (2021).

Considerando o menor valor de marcado, no caso o de marabá, com os menores valores obtidos pelo modelo, foi possível obter uma economia de R$ 45.903,50 com a produção de caipiras de uma forma geral e a economia de R$ 42.103,22 com a produção da linhagem Embrapa 051.

É claro que o mercado não é estável e os valores podem variar para mais ou para menos, considerando a dinâmica do cenário atual do agronegócio é imprescindível compreender técnicas que acompanhem essa dinâmica, no que se refere a flutuação na disponibilidade e do preço dos insumos. Como gerenciadores de negócios é essencial deter de conhecimento de ferramentas que acompanhem essas variações.

5. CONCLUSÂO

De uma forma geral, o modelo matemático sugerido para a formulação de dieta de aves poedeiras foi capaz de atender ao objetivo central deste trabalho, fornecendo dietas satisfatórias do ponto de vista nutricional e com o custo inferior aos praticados no cenário atual do mercado de Nova Ipixuna e Marabá, com a possibilidades de

ajustes quanto ao preço, adição ou exclusão de ingredientes e de restrições de forma prática.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi possível observar que o processo de formulação das rações é dependente de quatro fatores: da correta manipulação dos dados, da elaboração de uma planilha de fácil ajuste e manuseio, da ferramenta Solver e, todos estes aliados a capacidade interpretativa do formulador.

6. REFERÊNCIAS

ADRIGUETTO, J. M. et al. **Nutrição Animal**. São Paulo: Nobel, 2002, n 97, v 1, 324 p. 1981.

ALMEIDA, G.; FERREIRA FILHO, J. R. Mandioca: uma boa alternativa para a produção Animal. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 50-56, set. 2005.

ALMEIDA, T. W. **Rações formuladas por meio da programação linear e não linear para poedeiras comerciais**. 43f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

AMANDO, M.R DA S. A IMPORTÂNCIA DA CRIAÇÃO DE GALINHAS COMO FONTE DE RENDA NO ASSENTAMENTO MANDASSAIA-OROCÓ/PE. 2018. 17 f. Monografia (Especialização em Educação no Campo) - PROGRAMA NACIONAL DE EDUCAÇÃO NA REFORMA AGRARIA-PRONERA, Universidade Federal do Vale de São Francisco, OROCÓ-PE, 2018.

AMARAL, E. S. **GALINHAS POEDEIRAS: Criação em Semiconfinamento**. 2 ed. Brasília: Emater – DF, 2009, n. 4, 88 p., ISSN 1676-9279.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16437: Avicultura - Produção, classificação e identificação do ovo caipira, colonial ou capoeira**. Rio de Janeiro, 9 p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Relatório anual 2021**. 75 p. Disponível em: < http://abpa-br.org/abpa-lanca-relatorio-anual-2021/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

AVILA, V. S. et al. **Poedeira Embrapa 051: GUIA DE MANEJO DAS POEDEIRAS COLONIAIS DE OVOS CASTANHOS**. Concórdia – SC: Embrapa Suínos e Aves, 2017. Disponível em:< https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Manual+Poedeira+051+Embrapa.pdf >. Acesso em: 18 nov. 2021.

BARBOSA, F. J. V. et al. **Sistema alternativo de criação de galinhas caipiras**. Teresina - PI: Embrapa Meio-Norte, 2007. 68 p. ISSN 1678-0256.

BELANDI, C. Produção Pecuária, Abate de bovinos cai 8,5% em 2020 e cresce o de Suínos e Frangos. AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS, 2021. Disponível em: < https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/30318-abate-de-bovinos-cai-8-5-em-2020-e-cresce-o-de-suinos-e-frangos>. Acesso em: 20 out. 2021.

BUENO, et al. Torta de Mamona destoxificada para a alimentação de poedeiras comerciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 538-543, mar, 2014.

CAVALCANTI, F. A. V. R. **Avicultura caipira: estudo de mercado para a cadeia da galinha caipira.** NATAL: SEBRAE, jun. 2019. 108 p.

CEPEA - Centro De Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio**. Jun. 2021. 17 p. Disponível em: < https://www.cnabrasil.org.br/boletins/impulsionado-por-ramo-agricola-pib-do-agronegocio-cresce-5-35-no-1o-trimestre-de-2021 >. Acesso em: 20 out. 2019.

CRUZ, F. G. G.; RUFINO, J. P. F. **Formulação e Fabricação de Rações (Aves, Suínos e Peixes)**. Manaus: EDUA, 2017. 92 p.

FAGUNDES, N. S. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DIGESTÓRIO E DA CAPACIDADE DIGESTIVA DE FRANGOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA METABOLIZÁVEL. 86 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinária, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2011.

FERREIRA, G. G. et al. Valor Nutritivo de Co-produtos da Mandioca. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v. 8, n. 4, p. 364-374, out/dez, 2007. SSN 1519 9940.

FIALHO, J. F.; VIEIRA, E. A. **Mandioca no Cerrado: orientações técnicas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011, 208 p. ISBN 978-80-7075-058-7.

FIGUEIREDO E. A. P. et al. Raças e Linhagens de Galinhas para Criação Comercial e Alternativas no Brasil. Comunicado Técnico 347. Concórdia-SC: Embrapa Suínos e Aves, 2003. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/racas_linhagens_para_criacoes_comerciais_alternativas_brasil_000fzmpevcn02wx5ok0cpoo6auntz8o9.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

FIGUEIREDO, E. A. P.; AVILA, V. S.; SAATKAMP, M. G. FRANGOS DIFERENCIADOS: CAIPIRA. Embrapa Suínos e Aves. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1033521/frangos-diferenciados-caipira>. Acesso em: 12 out. 2021.

FIORE, J. EXPOAGRO 2015: Ração à base de mandioca reduz custos de produção na avicultura. EMATER: Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: < http://www.emater.tche.br/site/noticias/detalhe-noticia.php?id=21086#.YaGFqdDMLIV.> Acesso em: 16 nov. 2021.

FUMIHITO A. et al. Monophyletic origin and unique dispersal patterns of domestic fowls. Proceedings of the National Academy of Sciences, Washington, v. 93, n. 13, p. 6792-6795,1996.

GALVÃO JUNIOR, J. G. B.; BENTO, E. F.; SOUZA, A. F. **SISTEMA ALTERNATIVO DE PRODUÇÃO DE AVES**. Ipanguçu: IFRN/RN, 2009. 45 p.

GOMES JÚNIOR, A. C.; SOUZA, M. J. F. SOLVER (EXCEL): MANUAL DE REFERÊNCIA. Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, 2004. 22 p.

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à Pesquisa Operacional**, 9.ed. McGraw-Hill, 2013. 1005 p.

MODESTO JÚNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. Rentabilidade da produção de farinha Artesanal no Município de Marabá-PA: o caso da Vila Lagedo 2. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2021, 24 p. Documentos. ISSN 1983-0513,461.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. ISBN 978-85-7605-093-3.

LEMOS, M. J. Estudo comparativo da inclusão de aditivos zootécnicos na ração de codornas japonesas em produção, 84 p. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

LIMA, FILHO, D. O. et al. AVICULTURA: A galinha caipira voltou a moda. **Revista de Agronegócios da FGV**. Mai. 2005.

MACÊDO, A. M. V. ANÁLISE DOS INDICADORES ECONÔMICOS E ZOOTÉCNICOS EM GRANJAS AVÍCOLAS DA PARAÍBA, 97 p. Monografia (Graduação) – Programa de Graduação em Zootecnia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2020.

MUNIZ, E. B. et al. Avaliação de Fontes de Cálcio para Frangos de Corte. Revista Caatinga. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa.). Mossoró. v. 20, n.1, p. 05-14, 2007.

NATH, T.; TALUKDAR, A. Linear Programming Technique in Fish Feed Formulation. *In International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT).* Índia, v. 17, n. 3, nov. 2014. Disponível em: < http://www.ijettjournal.org/archive/ijett-v17p227>. Acesso em: 31 out. 2020.

NAKABAYSHI, D. **CRIAÇÃO DE GALINHAS E FRANGOS DE CAPOEIRA**. Secretaria de Estado da Agricultura, do Desenvolvimento Agrário e da Pesca, Projeto Dom Távaro. Sergipe, 2018.

OLIVEIRA, M. F. Metodologia Científica: um manual para a realização de iniciação científica em Administração. Catalão: UFG, 2011. 72 p.

PASIAN, I. M.; GAMEIRO, A. H. Mercado para a criação de poedeiras em sistemas do tipo orgânico, caipira e convencional. In: XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural - SOBER. 2007. Disponível em: < http://paineira.usp.br/lae/wp-

content/uploads/2017/02/2007_Pasian_Gameiro_sober.pdf>. Acesso em: 02 out. 2021.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. **SORGO: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília – Distrito Federal: Embrapa, 2015. 327 p.

PESSOA, R. A. S. **NUTRIÇÃO ANIMAL: Conceitos Elementares**, 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 120 p. ISBN 978-85-365-0841-2.

PRADO, A. W. S. **Alimentação para aves caipiras**. Brasília: Emater-DF, 2019. 56 p.

RAIMUNDO, E. K. M. et al. Exploração da avicultura caipira em regime de economia solidária: uma análise dos problemas e condicionantes ambientais da produção em uma cooperativa da Paraíba. Cadernos de Agroecologia – Vol. 13, n° 1, p. 7-12. 2018. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/575>. Acesso em: 01 out. 2021.

REVISTA RURAL. Galinha caipira - A Verdadeira galinha dos ovos de ouro. rev. 101, Jun. 2006. Disponível em:< https://www.revistarural.com.br/Edicoes/2006/Artigos/rev101_galinha.htm#:~:text=GALINHA%20CAIPIRA%20%2D%20A%20VERDADEIRA%20GALINHA%20DOS%20OVOS%20DE%20OURO!&text=Uns%20as%20chamam%20de%20%E2%80%9Cp%C3%A9,importa%20os%20nomes%20ou%20apelidos.>. Acesso em: 01 out. 2021.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: composição de Alimentos e exigências Nutricionais**. 2. ed. Viçosa: Departamento de Zootecnia, UFV, 2015, 180 p.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: composição de Alimentos e exigências Nutricionais**. 4. ed. Viçosa: Departamento de Zootecnia, UFV, 2017, 488 p.

SAGRILO, E. et al. **Criação de galinhas caipiras**. Embrapa Meio-Norte. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 73 p.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 2 ed. Jaboticabal: Funep, 2016, 262 p.

SALES, M. M. Bem-estar animal e avicultura de postura: uma avaliação dos modelos de produção de ovos no Brasil. 54 p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2020.

SALES M. N. G. **Criação de galinhas em sistemas agroecológicos**. Vitória – Espírito Santo: Incaper, 2005, 284 p. ISNB 85-89274-08-X.

SALES M. N. G.; SOLER, M.; GUZMÁN, E. S. Estilos de avicultura: uma estratégia de resistência da condição camponesa. VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia. Porto Alegre – PA: Cadernos de Agroecologia, v.8, n.2, nov. 2013. ISSN 2236-7934. Disponível em: <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/17937/11183>. Acesso em: 24 ago.

2018.

SANTOS, A. L.; PERINA, R. A. PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADA A FORMULAÇÃO DE RAÇÃO DE CUSTO MÍNIMO PARA BOVINOS NA REGIÃO DE ARAÇATUBA. Araçatuba, v.1, n. 1, p. 79-97, mar. 1999.

SANTOS, F. A.; RODRIGUES, M. T.; LISBOA FILHO, J. Modelo computacional para a formulação de rações de mínimo custo para pequenos ruminantes utilizando a programação linear. Bauru – SP: XIII SIMPEP, 2006.

SANTOS, M.; QUINTAL, R. S. PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR DA DIETA APLICADA À NUTRIÇÃO DE SUÍNOS. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá – PR. v. 9, n. 2, p. 251-271, abr./jun. 2016.

SILVA, A. B. O MÉTODO SIMPLEX E O MÉTODO GRÁFICO NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE OTIMOZAÇÃO. 36 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós – Graduação em Matemática (PROFMAT), Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2016.

SILVA, E. G. TORTA DE DENDÊ NA ALIMENTAÇÃO DE FRANGOS DE CRESCIMENTO LENTO CRIADOS NO SISTEMA CAIPIRA. 53 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência Animal Tropical, Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2011.

SILVA, I. J. O. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GALINHAS POEDEIRAS NO BRASIL. Diálogos União Europeia Brasil, 2019. 40 p. Disponível em < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/arquivos/XGUIAGALINHAS2019.pdf/@@download/file/xguiagalinhas2019.pdf >. Acesso em: 27 out. 2021.

SMITS, C. H. M.; LI, D., PATIENCE, J. F.; DEN HARTOG, L. A. Animal nutrition strategies and options to reduce the use of antimicrobials in animal production. FAO Animal Production and Health/Paper 184. Rome, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb5524en>. Acesso em 30 de setembro de 2021.

SILVESTRE. F. Nova lei regula a produção de frangos e galinhas caipiras no Brasil. 2015. Disponível em: http://www.korin.com.br/blog/nova-lei-regulaaprodução-de-frangos-e-galinhas-caipiras. Acesso em: 19 de nov. 2020.

SOUZA, L. S.; FIALHO, J. F. Cultivo da Mandioca para a Região do cerrado: mandioca na alimentação animal. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Sistemas de Produção, 8, jan. 2003, ISSN 1678-8796. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_cerrados/processamento.htm#Raspa>. Acesso em: 2 out. 2021.

SOUZA, N. A. et al. SISTEMA DE PRODUÇÃO DE GALINHAS CAIPIRAS. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte S/A – EMPARN, Caicó - RN, 2014. 37 p.

TONIN, M. H. N.; LIMA, A. D.; ASSIS, L. C. OTIMIZAÇÃO NO CUSTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO NA FORMULAÇÃO DE RAÇÃO PARA NUTRIÇÃO ANIMAL DOS GADOS DE ELITE ATRAVÉS DA MODELAGEM MATEMÁTICA E APLICAÇÃO PRÁTICA DO SOLVER. II ENCONTRO DE DESENVOLVIMENTO DE

PROCESSOS AGROINDUSTRIAIS, Uniube - Universidade de Uberaba, Departamento de engenharia química. Uberaba, 2018.

VIOLA T. H. et al. **Perguntas e respostas sobre criação de galinhas e codornas na agricultura familiar do Meio-Norte**. EMBRAPA Meio–Norte: Teresina – PI, 2018. 72 p.

VIOLA T. H. et al. **Sistema alternativo de criação de galinhas caipiras**. 2 ed. EMBRAPA Meio–Norte, 2018. 51 p.

ZACHI, J.M. Problemas de Programação Linear: uma proposta de resolução geométrica para o Ensino Médio com o uso do GeoGebra. 115 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp – FCT, Araraquara, 2016.