



**UNIVERSIDADE DE UBERABA**

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA  
MESTRADO PROFISSIONAL**

**MATEUS HENRIQUE NOGUEIRA TONIN**

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADO À REDUÇÃO DE CUSTO NA  
FORMULAÇÃO DE RAÇÃO PARA NUTRIÇÃO DE BOVINOS**

**UBERABA-MG  
2019**





**MATEUS HENRIQUE NOGUEIRA TONIN**

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADO À REDUÇÃO DE CUSTO NA  
FORMULAÇÃO DE RAÇÃO PARA NUTRIÇÃO DE BOVINOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Orientador:

Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis

Coorientador:

Prof. Dr. Adriano Dawson de Lima

**UBERABA-MG**

**2019**

Catálogo elaborado pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

T613m Tonin, Mateus Henrique Nogueira.  
Modelo de programação linear aplicado à redução de custo na  
formulação de ração para nutrição de bovinos / Mateus Henrique Nogueira  
Tonin. – Uberaba-MG, 2019.  
[39] f. il. : color.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Química.  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis.  
Coorientador: Prof. Dr. Adriano Dawison de Lima.

1. Bovinos - Alimentação e rações. 2. Bovinos - Criação. 3. Bovino -  
Aspectos nutricionais. I. Assis, Leonardo Campos de. II. Lima, Adriano  
Dawison de. III. Universidade de Uberaba. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Química. IV. Título.

CDD: 636.2085

MATEUS HENRIQUE NOGUEIRA TONIN

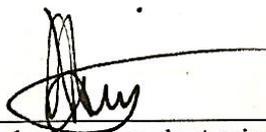
**MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR APLICADO À REDUÇÃO DE CUSTO NA  
FORMULAÇÃO DE RAÇÃO PARA NUTRIÇÃO DE BOVINOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais

Aprovado em: 20/12/2019

BANCA EXAMINADORA:



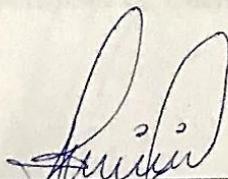
---

Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis – Orientador  
Universidade de Uberaba



---

Prof. Dr. Adriano Davison de Lima - Coorientador  
Universidade de Uberaba



---

Prof. Dr. David Maikel Fernandes  
Instituto Federal de Minas Gerais



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
3.1. Objetivo Geral.....	3
3.2. Objetivos Específicos.....	3
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
4.1. Ingredientes para formulação de ração bovina.....	5
4.1.1. Farinha de Osso.....	5
4.1.2. Sal.....	6
4.1.3. Farelo de Soja.....	7
4.1.4. Bagaço de Cana-de-açúcar.....	7
4.1.5. Melaço de Cana.....	8
4.2. Misturadores.....	8
4.3. Custos.....	11
4.4. Programação Linear.....	12
4.4.1. Otimização.....	13
4.4.2. O modelo geral da Programação Linear (Simplex).....	15
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
5.1. Local.....	16
5.2. Materiais.....	16
5.3. Métodos.....	16
<b>6. RESULTADO E DISCUSSÕES</b> .....	<b>18</b>
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	<b>25</b>
<b>9. APÊNDICES</b> .....	<b>30</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Detalhes do misturador horizontal de matéria-prima.....	9
Figura 2: Abastecimento do misturador vertical. ....	10
Figura 3: Misturador em “V”.....	10
Figura 4: Planilha Eletrônica contendo a Modelagem Matemática e os dados preenchidos pelo usuário .....	19
Figura 5: Habilitar o Solver – Passo 1 .....	20
Figura 6: Habilitar o Solver – Passo 2.....	20
Figura 7: Preenchimento dos Parâmetros do Solver.....	21
Figura 8: Resultados do Solver.....	22
Figura 9: Resultado da Modelagem Matemática através do Métodos Simplex .....	23
Figura 10: Gráfico Make or Buy .....	24



## LISTA DE EQUAÇÕES

<i>Minimize</i> $f(x)$ (ou <i>maximize</i> $f(x)$ )	13
$g(x) \leq 0$ (= 0 ou $\geq 0$ )	13
<i>Minimize</i> $= c^T x$	14
$Ax = b$	14
$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$	15
$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$	15
$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$	
⋮	
$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$	
$Z = \sum_{i=1}^n c_i x_i$	15
$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$	15
$Z = \sum_{i=1}^n A_i x_i$	17
$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$	17



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de Farinha de Osso .....	6
Tabela 2: Implementação do modelo PL Simplex.....	30
Tabela 3: Resposta da função objetivo .....	31
Tabela 4: Solução ótima .....	31



## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo esclarecer ao produtor rural que a dieta dos animais deve fornecer todos os seus nutrientes essenciais e suprir suas necessidades fisiológicas de crescimento, reprodução e saúde, através de apoios técnicos e econômicos, objetivando minimizar seus custos a partir de uma pesquisa atenta e detalhada sobre níveis nutricionais e preços dos diversos insumos utilizados na alimentação bovina. Para isso é necessário formular uma ração apropriada, com os ingredientes corretos, na quantidade certa, na qualidade almejada e ao menor custo. Dependendo da sensibilidade do produtor, a ração pode ser boa, porém seu custo será elevado. Para isto, foi desenvolvido um sistema para formular rações de boa qualidade e com o mínimo custo, através da otimização, mais especificamente a programação linear. Para resolver problemas de programação linear foi utilizado o Método Simplex. Esse é um método iterativo que modelado e aplicado ao suplemento do Microsoft Excel, Solver, apresenta-se através de inequações lineares de forma quase análoga à solução de equações lineares, os quais geram três relatórios: Resposta, Sensibilidade e Limite. O sistema foi testado com problemas de livros e artigos, cujos resultados são conhecidos. Após os experimentos, conclui-se que o Método Simplex apresenta resultados satisfatórios e que a otimização foi satisfatória em situações reais.

**Palavras-Chave:** Otimização; Modelagem matemática; Métodos Simplex; Formulação de ração



## **ABSTRACT**

The objective of this work is to clarify to the rural producer that the diet of the animals must supply all their essential nutrients and supply their physiological needs of growth, reproduction and health, through technical and economic support, aiming at minimizing their costs from a careful and detailed research on nutritional levels and prices of the various inputs used in cattle feed. For this it is necessary to formulate an appropriate ration, with the right ingredients, in the right amount, in the desired quality and at the lowest cost. Depending on the sensitivity of the producer, the feed may be good, but its cost will be high. For this, a system was developed to formulate rations of good quality and with the minimum cost, through the optimization, more specifically the linear programming. To solve linear programming problems, the Simplex Method was used. This is an interactive method that is modeled and applied to the Microsoft Excel add-on, Solver, presented through linear inequalities almost analogously to the solution of linear equations, which generate three reports: Response, Sensitivity and Limit. The system has been tested with problems from books and articles, whose results are known. After the experiments, it was concluded that the Simplex Method presents satisfactory results and that the optimization was satisfactory in real situations.

**Key Tables:** Optimization; Mathematical modeling; Methods Simplex; Formulation of feed



## 1. INTRODUÇÃO

A formulação de ração é uma necessidade básica na indústria de alimentos para animais. O desenvolvimento do animal está diretamente ligado à sua dieta. O termo utilizado para o alimento que o animal recebe diariamente é ração, e a formulação da ração é a combinação de diferentes ingredientes de maneira a providenciar a quantidade suficiente de nutrientes a um animal em suas diferentes fases do metabolismo. Classes diferentes de animais exigem diferentes quantidades de nutrientes, logo, a ração deve ser formulada de forma a cumprir as necessidades desse animal. O objetivo principal da formulação de ração é alcançar um nível satisfatório de nutrientes do animal com mínimo custo (SAXENA, 2011a). Isso pode ser realizado por meio da otimização.

A otimização trata da busca da melhor solução possível para problemas com mais de uma solução. A solução obtida será tanto melhor e confiável, quanto melhor for o modelo matemático que representa o problema real. Dentro deste conceito, pode-se garantir que, se o modelo matemático for adequado, a solução ótima será tal que atende as equações técnicas do problema real e é a melhor possível considerando o critério de busca. A programação linear é o ramo da otimização que estuda problemas onde as equações técnicas e o critério de busca são lineares. Além disto, se o problema tiver solução, a melhor delas será encontrada (SACOMAN, 1998).

A programação linear tem sido utilizada em problemas de estoque, logística de pessoal, seleção de propaganda, refinamento de óleos, mistura de gasolina, alocação de rotas para aeronaves, gerenciamento da qualidade da água, controle de semáforos, entre outros. Além disso, tem tido um impacto considerável na agricultura e na pesquisa de criação de animais. Logo, a programação linear pode ser implementada para determinar os compostos das rações de, por exemplo, peixes, aves domésticas, suínos e outros animais, com o propósito de aumentar a produtividade dos animais (NATH; TALUKDAR, 2014).

Neste projeto, são chamadas de ingredientes as substâncias que, após a ingestão por animais, são digeridas, absorvidas e utilizadas. Grama e feno são descritos como ingredientes, porém nem todos os seus componentes são digeridos. Todos os componentes que são utilizados pelo animal, como energia, carboidratos, lipídios, entre outros, são chamados de nutrientes.

A dieta de animais, em particular, consiste de ingredientes, tais como plantas e produtos derivados de vegetais, apesar de alguns ingredientes de origem animal, tais como farinha de peixe e leite, serem usados em quantias limitadas. Animais dependem dos vegetais para sua própria existência (MCDONALD et al. 1979).

Um animal está no estado de sustentação quando a composição de seu corpo permanece constante, ou seja, quando não existe aumento de produtos (como o leite) e quando este não exerce nenhum tipo de trabalho. Como animais são raramente deixados nesse estado não lucrativo, o interesse em determinar as necessidades nutricionais fica somente na área acadêmica.

Com o crescimento do animal seu tamanho e peso também aumentam. Os animais começam suas vidas pesando poucos quilos e depois crescem de forma que podem pesar uma tonelada ou mais. Em cada fase da vida do animal (nascimento, puberdade, maturidade) o nível de crescimento varia. Assim, a nutrição do animal está diretamente ligada com seu desenvolvimento. O padrão de crescimento do animal determina os requisitos nutricionais dele. Por causa dessas necessidades, é muito importante formular uma ração eficaz e correta, de tal forma que não comprometa nenhuma função do animal. Desta forma, a ração deve ser formulada levando em consideração os valores nutricionais dos ingredientes e o total de ração que será consumida pelo animal.

A formulação de ração é um procedimento que pode ser efetuado por tentativa, com auxílio de tabelas, formulários ou planilhas. Dependendo da sensibilidade do profissional, poderá ser uma ração de boa qualidade, mas, certamente, seu custo não será o menor possível. A otimização vem em encontro a esta técnica, para confrontá-la e suplantá-la, resolvendo problemas, com os dados e com as restrições originalmente disponíveis, mas com técnicas matemáticas que procuram a melhor solução, encontrando o ponto ótimo de uma função critério, obedecendo todas as premissas do problema originalmente proposto.

O modelo matemático de programação linear que representa a formulação desta ração animal de mínimo custo é representado pela “Função Objetivo”, visto em:  $Min Z = 2x_1 + 1,5x_2 + 1,48x_3 + 0,065x_4 + 21,8x_5$ .

A função critério “Min Z” deve ser minimizada e representa o custo da ração. O custo de cada ingrediente é denotado pela modelagem, sendo ele o valor que acompanha a variável. Há situações onde o controle de quantidade é efetuado diretamente sobre o nutriente. Neste caso o nutriente será, também, ingrediente e procede-se como descrito. As restrições representam as inequações técnicas de limites e relações entre ingredientes e nutrientes, onde a variável é o recurso disponível ou proporção entre ingrediente ou nutrientes.

Como o sistema descrito é linear, ou seja, todas as equações (função objetivo e equações técnicas) são lineares, a utilização de métodos de programação não linear aumentaria o esforço computacional desnecessariamente. Esses procedimentos podem ser usados, por exemplo, para maximizar o ganho de peso dos animais (SAXENA, 2011b). Diante do exposto, o objetivo

principal deste estudo é alcançar um nível satisfatório de nutrientes do animal com mínimo custo.

## **2. JUSTIFICATIVA**

A formulação de ração é uma necessidade básica na indústria de alimentos para animais, vislumbrando o desenvolvimento do animal ligado diretamente à sua dieta.

O termo utilizado para o alimento que o animal recebe diariamente é ração, e a formulação da ração é a combinação de diferentes ingredientes de maneira a providenciar a quantidade suficiente de nutrientes a um animal em suas diferentes fases do metabolismo.

Classes diferentes de animais exigem diferentes quantidades de nutrientes, logo, a ração deve ser formulada de forma a cumprir as necessidades desse animal.

A produção em larga escala oferece inúmeros benefícios para a produção da ração, tais como:

Buscando por finalidade alcançar um nível satisfatório de nutrientes do animal com mínimo custo, realizado através da otimização.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo Geral**

- Alcançar um nível satisfatório de nutrientes do animal com mínimo custo

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Reduzir o custo da ração para gados de elite
- Apresentar soluções através de modelos matemáticos
- Utilizar o método de programação linear Simplex do Microsoft Excel
- Manter a qualidade dos ingredientes e nutrientes

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Grande parte das metodologias existente para acompanhamento de dietas animais, foram desenvolvidas através da sustentação de modelos empíricos, o que possibilita uma maior facilidade em sua construção. Estas, por sua vez, apresentam grande volume de informações, permitindo assim o cálculo de exigências de nutrientes e a avaliação de alimentos. (SANTOS, RODRIGUES e LISBOA FILHO, 2006).

É citado pelos autores Santos, Rodrigues e Lisboa Filho (2006), um software denominado Supercrac (TDSsoftware, 2006), desenvolvido no Brasil com o propósito de utilizar informações descritas, com finalidade de minimizar custos de rações. Esses autores entretanto, apresentam alternativas de como analisar a sensibilidade de cada ingrediente, denominado matéria-prima, que fará parte do processo de fabricação da ração, no manejo e alterações na fisiologia animal, que é de importante utilidade principalmente no meio acadêmico, mas não foram apresentadas.

São apresentados uma relação de 15 softwares comerciais, pelos autores Chalupa (2005) apud Santos, Rodrigues e Lisboa Filho (2006), para formulação de rações para ruminantes, o qual encontra-se disponível nos mercados americano e europeu. Tais ferramentas visam a formulação de rações, que otimizem o custo final de produção (SANTOS, RODRIGUES e LISBOA FILHO, 2006).

Dessa maneira, reforça-se a escassez de ferramentas disponíveis para formulação de rações para gados de elite que visam a otimização do custo. (SANTOS, RODRIGUES e LISBOA FILHO, 2006).

Sustentado pelo avanço tecnológico, um grande número de empresas encontrou um excelente meio de mensurar a efetividade dos custos de suas operações. Tais fatores podem efetivamente ser maximizados ou minimizados, proporcionando assim projeções na área. Sendo assim, os fabricantes de alimentos para animais ruminantes e os zootecnistas possibilitaram uma maneira de atender aos requisitos específicos de ração com um custo mínimo de ingrediente.

A partir deste fato, está cada vez mais acentuada a preocupação com a composição da ração animal para ruminantes. Seja ela por não oferecer apenas uma única composição que garanta a excelência do desempenho, o que foge aos padrões.

Tal circunstância, apresenta que cada espécie tem sua exigência nutricional específica para crescer, desenvolver e produzir, respeitando os níveis da saúde animal.

Para aumentar a produtividade, faz-se necessário considerar outros fatores, tais como: conhecer o potencial genético da criação. Pois a partir disso, é possível ministrar a ração animal correta, que atenda a exigência nutricional da espécie para performar.

Para atender as exigências, fez-se fundamental a mistura de tais ingredientes.

#### **4.1. Ingredientes para formulação de ração bovina**

##### **4.1.1. Farinha de Osso**

Ingrediente produzido por graxarias ou frigoríficos, sendo compostas de osso, vísceras não comestíveis e tecidos provenientes de aparas da desossa completa da carcaça de bovinos ou suínos. Seu processamento deve ser prensado para extração da gordura e novamente moído. É fundamental a atenção para que, durante o processo, não contenha resíduos, tais como: sangue, cascos, chifres, pelos, conteúdo estomacal e materiais estranhos (COMPÊNCIO, 2005).

De acordo com Rostagno (2005), a farinha de osso apresenta uma oscilação no teor de proteína (30 a 65%), minerais como cálcio (8 a 15%) e fosforo (4 a 8%). A proteína bruta é uma grandeza inversamente proporcional ao nível de mineral (ossos) incorporado no processo (BUTOLO, 2002).

Encontra-se, facilmente no mercado, dois tipos de farinhas de osso, a calcinada e a autoclavada. Suas composições são definidas em:

- FOC - farinha de ossos calcinada: coletada de ossos e processadas em graxarias ou em frigoríficos através da desossa, moídos, queimados com ar abundante e novamente moídos. É fundamental que em sua composição, apresente-se no mínimo 15% de fósforo (Tabela 1).
- FOA – farinha de ossos autoclavada: saturada através de produto seco e moído, derivada de ossos que não foram decompostos e/ou submetidos a tratamento térmico com pressão em autoclave.

As farinhas de osso, apresentam inúmeras alterações devido a falta de fiscalização, tais como a adição de calcário para reduzir a acidez, a inclusão de raspas de couro curtido e a ureia para elevar o nível de nitrogênio (ARAÚJO, 1978).

Tabela 1: Tipos de Farinha de Osso

Tipo de Farinha de Osso	Fórmula	%		Biodisponibilidade	
		Ca	P	Ca	P
FOA	$Ca_x_3(PO_4)_2.CaX$	26	14,5	Alta	Alta
FOC	$Ca_x_3(PO_4)_2.CaX$	36	15,5	Alta	Alta

Fonte: Adaptado por Antony Hilgrove Monti Sewell de Embrapa Gado de Corte, 2010

Estas, por sua vez, destinam-se ao uso de composições e misturas para formulação de rações utilizadas na dieta animal, a qual em sua maioria, destina-se a avicultura, suinocultura e uma parte em pet food e bovinocultura.

Seu modo de uso, ocorre de acordo com orientações técnicas e padrões de dieta destinada a um grupo seletivo de animais. Oferece ainda, uma periodicidade de 06 (seis) meses em condições de conservação e armazenamento sobre estrados, em local limpo, arejado, longe de paredes e ao abrigo de luz solar direta.

#### 4.1.2. Sal

O Sal é o principal ingrediente para a composição da alimentação bovina, o que reforça sua importância na correta mineralização do rebanho para se obter excelência na produção de carne e leite, evitando assim queda na produtividade.

A suplementação da formulação correta utilizando uma mistura com todos os macro e micro elementos no concentrado, busca satisfazer todas as necessidades do animal, uma vez que os pastos não suprem todas as necessidades minerais dos animais.

Os minerais mais importantes encontrados em dietas bovinas são: Cálcio (Ca), Fósforo (P), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Sódio (Na), Cloro (Cl) e Potássio (K) e os microminerais: Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Iodo (I), Manganês (Mn), Flúor (F), Molibdênio (Mo), Cobalto (Co), Selênio (Se), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Vanádio (V) e Silício (Si). Esses elementos fazem parte da mistura mineral disponível no comércio, mas é importante coletar amostra do produto e enviar para análise antes da aplicação em dietas (CÉSAR, 2015).

Segundo César (2015), A quantidade exata do sal mineral varia de acordo com o estado do animal e o peso. De certa forma, podemos estimar um consumo diário em torno de 100 gramas. A correta mineralização do animal não desenvolverá todo seu potencial, portanto é fundamental a inserção de outros nutrientes e o acompanhamento de um especialista para indicar a melhor mistura.

Para o pesquisador da Embrapa Sérgio Raposo, segundo relata César (2015), outra questão, ainda muito mais comprometedora, são as matérias-primas encontradas no mercado, pois nem todas passam por análises criteriosas antes de sua disponibilização ao consumidor final, o que pode oferecer qualidade inferior e afetar diretamente na produção do rebanho.

#### **4.1.3. Farelo de Soja**

O farelo de soja, é desenvolvido através de um subproduto da indústria do óleo de soja e representa cerca de 79% do grão de soja, base matéria seca (THIAGO e SILVA, 2003), cujo resultado é apresentado através do processamento da mesma. Sua composição nutricional apresenta mais da metade do total de grãos de leguminosas, tornando-se assim, a principal fonte de proteína vegetal em virtude do seu valor nutritivo (OLIVEIRA et al., 2005; RODRIGUES et al., 2002).

Grande parte da soja na nutrição de animais, ocorre na forma de farelo, que pode ser obtido com ou sem a casca, e é resultado do processo de moagem dos grãos para extração do óleo de soja. (COCA-SINOVA et al., 2008). É a fonte proteica mais usada em rações para animais e pode ser utilizado como fonte única de proteína em rações, segundo Thiago e Silva (2003).

#### **4.1.4. Bagaço de Cana-de-açúcar**

Para Aguiar et al (2010) apud Soares et al (2015), o bagaço é o principal resíduo das usinas sucroalcooleiras, representando cerca de 28% da cana integral moída, embora seu valor nutricional seja baixo, comparado com as outras matérias-primas da composição das rações bovinas, e seu uso na alimentação animal, deve estar associado a algum tipo de tratamento físico ou químico (JUNIOR et al., 2010 apud SOARES et al 2015).

Para Carvalho et al. (2005), o bagaço de cana é largamente utilizado como combustível, na produção de papel e de energia elétrica, mas seu potencial nutritivo na alimentação animal ainda não foi suficientemente explorado devido às características químicas que reduzem o seu aproveitamento. Uma alternativa é utilizar o bagaço em rações para bovinos para corrigir a deficiência em fibra e gerar volume na alimentação. (BRANDÃO et al., 2003). Conforme Mertens (1992) o consumo voluntário de alimento é responsável pela grande variação no potencial de produção animal.

Segundo Soares et al. (2015), o baixo custo na produção de resíduos em produtos de origem animal tem sido direcionado para a utilização racional dos recursos alimentares disponíveis. Como a atividade pecuária é de alto custo, o setor produtivo busca alternativas de

fontes alimentares com menor custo (MURTA et al., 2011 apud SOARES et al., 2015) e nesse sentido, os resíduos e os subprodutos agropecuários, como o bagaço de cana-de-açúcar, podem oferecer alternativas para a alimentação de bovinos e otimizar o custo final na produção de ração (CASTRO et al., 2008 apud SOARES et al., 2015).

#### **4.1.5. Melaço de Cana**

O melaço de cana é um líquido utilizado em rações iniciais para bezerros com intuito de melhorar o paladar e reduzir as quantidades de pó e separação de partículas (NUSSIO, 2005). Nussio (2005) informa que a faixa de inclusão do melaço varia de acordo com quantidade de ingrediente secos que irão compor a ração e acrescenta que a adição de melaço em rações afeta o crescimento de bezerros e aumenta a qualidade da dieta, que conseqüentemente, influencia na alteração observada no consumo. Outro reflexo importante é o aumento na energia da ração, com a inclusão de melaço.

#### **4.2. Misturadores**

A mistura dos ingredientes é uma parte importante do processo de produção da ração, pois requer homogeneidade dos ingredientes para oferecer uma alimentação diária balanceada, contendo todos os nutrientes em quantidades adequadas para que possam expressar suas capacidades produtivas (BELLAVÉR e NONES, 2000 apud GODOI e DETTMAMM, 2007).

No mercado, encontram dois tipos de misturadores: os verticais e os horizontais, seu tempo para mistura de ração homogênea é entre 12 a 15 minutos e entre 4 a 6 minutos, respectivamente (GODOI e DETTMAMM, 2007). Alguns modelos de misturadores verticais, tem força motriz que pode obter misturas homogêneas em até 5 minutos (LIMA E NONES, 1997). Os autores afirmam que todo misturador deve ter o seu tempo ideal de mistura determinado periodicamente, visto que é um equipamento de vida útil longa e pode proporcionar economia no processo de fabricação da ração.

O desempenho do misturador pode ser alterado de acordo com fatores, tais como: tempo de mistura, forma e tamanho das partículas, densidade dos ingredientes, partes desgastadas do misturador, limpeza e carga do misturador com quantidades diferentes da recomendada pelo seu fornecedor (BIAGI, 1998 apud GODOI e DETTMAMM, 2007).

Segundo Lima e Nones (1997), o misturador horizontal é o mais encontrado em fábricas de ração de grande porte. Ele pode ser provido de fitas ou de pás que revolvem a mistura de um lado para o outro, e promovendo uma eficiente mistura ao longo de todo o misturador (LIMA e NONES, 1997).

Grande vantagem dos misturadores horizontais em relação aos verticais é que os primeiros permitem uma mistura mais homogênea em um menor tempo (FIGURA 1). Ressalta-se que outra vantagem é a permissão do uso de maior quantidade de líquidos na mistura.



Figura 1: Detalhes do misturador horizontal de matéria-prima.

Fonte: O autor (2019)

Os misturadores verticais, mencionados por Lima e Nones (1997), constituem um depósito com uma rosca na linha do eixo central.

Segundo Lima e Nones (1997), a mistura dos ingredientes ocorre no topo do misturador e seu tempo de descarga, comparado ao misturador horizontal, é basicamente o mesmo. Não recomenda-se a adição de líquidos a um misturador vertical, o que limita sua utilização para a formulação de algumas receitas para ruminantes (LIMA e NONES, 1997), contudo, apresenta a vantagem de ser de baixo custo, o que permite sua aquisição e utilização em pequenas propriedade rurais. Além disso, eles não necessitam de outros equipamentos, como por exemplo, os silos já fazem parte do misturador vertical o que facilita o manuseio para abastecimento dos ingredientes e também para o escoamento da mistura pronta (FIGURA 2).



Figura 2: Abastecimento do misturador vertical.

Fonte: O autor (2019)

Há disponíveis no mercado, outros tipos de misturadores, os que apresentam-se em um formato de “V” (FIGURA 3), entre outros. Esses misturadores são usados normalmente para o preparo das misturas de rações. Para Lima e Nones (1997), fatores que devem ser levados em consideração na escolha de um misturador são: grau desejado de homogeneidade, volume de ração a ser produzido, densidade média da mistura, quantidade média de líquidos, grau de limpeza, custo do equipamento, automatização do processo e gastos, incluindo mão de obra, para operação e manutenção do misturador.



Figura 3: Misturador em “V”.

Fonte: O autor (2019)

### 4.3. Custos

Custos são apresentados como gastos relativos à produção do produto ou a prestação do serviço. Já as despesas, são os gastos necessários à obtenção da receita, porém não ligados à produção (LEONE, 1997).

Seguindo a linha de raciocínio de Leone (1997, p. 19/20), "a Contabilidade de Custos é um ramo da Contabilidade que se destina a produzir informações para os outros níveis gerenciais de uma entidade, como auxílio às funções de determinação de desempenho, de planejamento e controle das operações e de tomada de decisões".

A administração visa a otimização dos resultados, por meio da gestão dos custos, através da análise e controle de indicadores de desempenho que auxiliam no processo de tomada de decisão.

De acordo com Martins (2000, p. 323), "a empresa tem controle dos seus custos e despesas quando conhece os que estão sendo incorridos, verifica se estão dentro do que era esperado, analisa as divergências e toma medidas para correção de tais desvios". Para que uma instituição possa controlar de maneira detalhada e assertiva o direcionamento correto dos recursos financeiros, divide-se os custos podem em quatro grupos, sendo Diretos ou Indiretos em relação ao produto e Variáveis ou Fixos em relação à produção.

Os Custos Fixos são aqueles que não são afetados por volumes da produção entre um período definido, ou seja, eles sempre existirão. Vale ressaltar que tais custos estão ligados à estrutura fabril instalada e sua capacidade produtiva. (MARTINS, 2000).

Os Custos Variáveis apresentam-se através da ligação direta com a quantidade produzida do produto, em determinado período de tempo. Quanto maior for o volume de produção, maior serão os custos variáveis (MARTINS, 2000).

Os Custos Diretos, são direcionados diretamente a apropriação aos produtos, bastando para isso haver uma medida de consumo, tal como a quantidade de matérias primas utilizada no processo. Este não necessita de estimativa, rateio ou previsão (MARTINS, 2000).

Os Custos Indiretos não são diretamente vinculados ao produto, sendo necessário aplicar métodos que aloque o valor custeado ao produto de custeio, apresentados em menor ou maior grau de percentual do incremento. Em outras oportunidades apenas por não haver alternativas melhores (MARTINS, 2000).

Faz-se necessário que os responsáveis pela escolha dos critérios de rateios conheçam bem o processo produtivo da empresa em que atua, pois, a partir dessas informações é que surgem possibilidades de gerar melhores resultados.

#### 4.4. Programação Linear

Programação Linear (LP) é um procedimento matemático pelo qual recursos limitados são alocados, selecionados, programados ou avaliados para alcançar uma solução ideal para um objetivo específico. Esses recursos podem ser capital, matéria-prima, mão de obra ou instalações de produção e os objetivos podem ser custo mínimo ou lucro máximo. Rodriguez (1966) indica que a programação linear é uma técnica de programação matemática utilizada na alocação eficiente de Recursos. A programação linear, portanto, tem ampla aplicação em operações agroindustriais, como mistura, mistura e usinagem de máquinas; e em atividades de negócios como compras, planejamento, licitação, transporte e distribuição.

Com o avanço tecnológico e a inserção do computador, um grande número de empresas encontrou um excelente meio de medir a eficiência ou manipular fatores de custo de suas operações. Fatores de produção podem efetivamente ser maximizados ou minimizados; cortes curtos poderiam ser tomados, e as projeções poderiam ser feitas. Assim, os fabricantes de alimentos para animais e os zootecnistas encontraram uma maneira de atender aos requisitos específicos de ração com um custo mínimo de ingrediente.

Ao usar técnicas de programação linear para resolver qualquer problema, duas restrições básicas, (1) linearidade e (2) certeza, devem ser assumidos (Frazer, 1968).

Por linearidade entende-se que todas as equações são equações do primeiro grau que traçariam como uma linha reta. Esta suposição de linearidade impõe a exigência de que o coeficiente de cada variável seja uma constante. A certeza, relata Frazer (1968), é uma suposição que pode ser um desvio da realidade, embora não seja crítico.

Os limites e demandas dos recursos disponíveis e os critérios de alocação (otimização de lucros e custos), são expressos em termos algébricos e equações que mostram os "limites" dentro do qual uma solução ótima deve ser encontrada.

Todas as possíveis soluções entre fronteiras devem ser consideradas como cursos alternativos de ação. A metodologia da programação linear avalia essas alternativas e sempre escolhe a solução ideal para o problema.

Rodriguez (1966) enfatiza que a programação linear pode ajudar no processo de tomada de decisão, reforçando a objetividade em julgar as variáveis que podem afetar os resultados.

Gass (1964) explica que o modelo matemático ou descrição do problema de programação linear pode ser declarado, usando relacionamentos que são chamados de "linha reta" ou linear.

Santos, Rodrigues e Lisboa Filho (2006) e Coutinho e Silva (2013) apud Santos, Teixeira e Guimarães (2015) afirmam que a alimentação dos animais é um fator crítico dos

custos de produção, representando a maior parcela dos gastos, variando de 50 a 75% dos custos totais, com grande impacto sobre a rentabilidade da criação de ruminantes. Segundo Campos (1992), quanto maiores forem os custos de produção de uma empresa menor será sua produtividade, e conseqüentemente sua competitividade no mercado, o que está diretamente relacionado à sua sobrevivência (SANTOS, RODRIGUES e LISBOA FILHO, 2006).

Segundo Santos, Rodrigues e Lisboa Filho (2006), a formulação de dietas balanceadas, suprindo as exigências nutricionais dos animais, a um baixo custo é um tópico de relevância para aqueles que lidam com a criação de ruminantes. Isto porque o desempenho produtivo do animal está intrinsecamente relacionado à sua alimentação, e o seu custo influencia no orçamento final, estando diretamente ligado ao lucro da empresa.

Nesse contexto, conhecer o conteúdo energético dos alimentos é importante para a formulação de dietas e para comparar o valor econômico de diferentes alimentos. Uma variedade de métodos está disponível para estimar o conteúdo energético de alimentos, desde o uso de valores de referência encontrados em tabelas de composição de alimentos até modelos matemáticos extremamente complexos.

Assim, técnicas de previsão e controle de custos, que maximizem o lucro ou minimizem os custos, fazem parte da cesta de necessidades básicas do produtor rural, para a continuidade de sua atividade com rentabilidade. Dentre estes instrumentos, a utilização de modelos matemáticos de otimização condicionada e entre eles os modelos de Programação Linear e Não Linear, que simulem situações de custos derivadas de uma determinada realidade. A utilização destes modelos, para as atividades agropecuárias, com a evolução da informática, de um modo geral tem alcançado sucesso (SANTOS e PERINA, 1999).

#### 4.4.1. Otimização

Lima (2006) apresenta um problema geral de otimização que é expresso em programação matemática como:

$$\text{Minimize } f(x) \text{ (ou Maximize } f(x)) \tag{1}$$

sujeito a

$$g(x) \leq 0 \text{ (= } 0 \text{ ou } \geq 0) \tag{2}$$

$$x \in R^n$$

Onde, a função  $f: R^n \rightarrow R$  é chamada função objetivo e as funções  $g: R^n \rightarrow R$  são chamadas restrições e estas limitam o espaço de soluções do problema, chamadas de soluções factíveis (ou soluções viáveis), sendo  $x$  o vetor de variáveis de decisão.

O problema de programação linear é um problema da forma (1) onde a função objetivo  $f$  é linear, definida como  $f(x) = c^T x$ , podendo ser maximizada ou minimizada. O sistema de inequações  $g(x) \leq 0$  é linear podendo também ser da forma:  $Ax - b = 0$  ou  $Ax - b \geq 0$ .

A forma padrão de um problema de programação linear é:

$$\text{Minimize} = c^T x \quad (3)$$

sujeito a

$$Ax = b \quad (4)$$

$$x \geq 0$$

Onde  $c \in R^n$ ,  $A \in R^{m \times n}$  e  $b \in R^m$ .

A programação linear é a área da matemática que estuda a modelagem e as técnicas de resolução de problemas do tipo definido em (2). A resolução de um modelo de programação consiste em determinar o vetor  $x$  que satisfaça as restrições impostas e otimize a função objetivo e esta será chamada solução ótima do problema.

Na modelagem de um problema de programação linear devem estar bem definidos:

- O conjunto de variáveis manipuláveis: variáveis de decisão;
- O objetivo a ser alcançado representado pela função objetivo: função linear das variáveis de decisão, que deve ser maximizada ou minimizada;
- As restrições do sistema: equações lineares representadas através das variáveis de decisão.

Diante do contexto, a técnica utilizada para determinar numericamente a solução ótima de um problema de Programação Linear neste trabalho, foi baseada no método simplex.

#### 4.4.2. O modelo geral da Programação Linear (Simplex)

O modelo geral da programação linear pode ser escrito como:

Max e/ou Min

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (5)$$

Sabendo que  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  devem satisfazer o seguinte sistema de inequações lineares:

Sujeito a:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m \end{aligned} \quad (6)$$

,

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0$$

Observação:

Pode-se representar este problema de forma mais compacta, ou seja:

função objetivo

$$\text{Maximizar/Miinimizar: } Z = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0$$

Onde,

- $a_{ij}$ ,  $b_i$  e  $c_j$  são chamados de parâmetros do modelo e particularmente são chamados de:
- $c_j \Rightarrow$  coeficientes da função objetivo
- $b_i \Rightarrow$  constantes do lado direito em que  $b_1, b_2, b_n$ , são valores não negativos
- $a_{ij} \Rightarrow$  coeficientes das restrições ou coeficientes tecnológicos

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

Técnicas para solução de problemas de programação linear foram empregadas. A técnica escolhida para esse projeto foi o Método Simplex. Desta forma, a solução do sistema resultará numa ração de mínimo custo onde as exigências nutricionais do animal são respeitadas.

### 5.1. Local

O experimento foi conduzido em uma instituição agropecuária denominada por “fazenda”, situada na região do Triângulo Mineiro, pertencente ao município de Uberaba no estado de Minas Gerais, no período de maio a dezembro de 2018.

### 5.2. Materiais

O campo experimental, coloquialmente denominado por “pasto”, é constituído de cerca de arame farpado, troncos, brete e mata-burro.

Há quatro troncos, onde passam para conferência e alimentação, cerca de 14.000 cabeças de gado da espécie GIR e GUZERÁ, registrados na propriedade.

O sistema computacional de formulação de ração de custo mínimo foi desenvolvido no Microsoft Excel, através do suplemento denominado por Solver. Um computador DELL, com processador Intel(R) Core (TM) i3-6006U CPU 2.00 GHz, 4 GB de memória RAM, 1 TB de HD, sistema operacional Windows 10 Home Single Language de 64 bits, foi usado para execução e testes do programa.

### 5.3. Métodos

O Método Simplex é um procedimento iterativo que resolve problemas que envolvem inequações lineares de forma quase análoga a solução de equações lineares ou a inversão de matriz pelo método de Eliminação de Gauss. O método generalizado foi desenvolvido por George Bernard Dantzig em 1951. (DANTZIG; ORDEN; WOLFE, 1955).

A ideia do Método Simplex é proceder de uma possível solução (um ponto extremo) para outra dentro de um conjunto de restrições do problema na forma padrão, de tal forma que o valor da função critério vai sendo reduzido ou aumentado (dependendo do tipo do problema) até que o mínimo, ou máximo, seja atingido (LUENBERGER; YINYU, 2008).

Com o problema na forma padrão, é possível criar uma tabela chamada Quadro Simplex. É nesse quadro que as soluções serão calculadas, encontradas e a melhor delas prevalecerá. Para

esse experimento, foram feitos orçamentos e, após constatar a receita, realizou-se a cotação individual dos insumos e seus respectivos valores.

Os valores que acompanham as variáveis são expressos em moeda nacional denominada por Real (R\$), cotados e comprados entre maio e dezembro de 2018.

A partir das informações levantadas na pesquisa, estruturou-se a base de dados, a qual subsidiou a modelagem matemática do problema, conforme segue:

Seja:

$$\text{Minimizar: } Z = \sum_{i=1}^n A_i x_i \quad (9)$$

A equação (10) representa as restrições relacionadas à quantidade mínima de cada nutriente exigida na ração, ou seja, de FO, S, FS, BC e MC;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

A equação (11) representa as restrições relacionadas à quantidade máxima de cada alimento disponível para compor a ração;

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0 \quad (11)$$

Realizou-se a modelagem matemática, através das equações:

- **Variáveis:**

$x_1$  – Farinha de Osso

$x_2$  – Sal

$x_3$  – Farelo de Soja

$x_4$  – Bagaço de Cana

$x_5$  – Melaço de Cana

- **Função Objetivo:**

$$\text{Min } Z = 2x_1 + 1,5x_2 + 1,48x_3 + 0,065x_4 + 21,8x_5 \quad (12)$$

- **Restrições:**

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 1.000 \quad (13)$$

$$x_2 \geq 16 \quad (14)$$

$$x_1 - 3x_3 \geq 0$$

$$400 \leq x_4 \leq 8000 \quad (15)$$

$$x_5 = 1 \quad (16)$$

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0 ;$$

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

Pode-se verificar nas especificações que as regras descritas regem o uso dos sistemas de programação linear para formulação de rações, diante do apresentado, o modelo matemático de minimização de custo da dieta foi construído com base em conjuntos, parâmetros, variáveis, restrições e na função objetivo (FO).

Cujo “a” são as quantidades em (kg) relativas de nutrientes de cada produto  $x_i$  e “b” o mínimo valor requisitado na dieta em (kg).

Onde:

$i = 1, 2, \dots, n$  são os índices que identificam as variedades que fazem parte do sistema;

Para tal experimento, utilizou-se gados das raças GIR e GUZERÁ, cujo utilizam-se da mesma formulação para nutrição diária.

O primeiro passo foi selecionar o animal para o qual a ração será formulada. Uma vez selecionado o animal, o usuário deve criar a modelagem matemática, caso já não exista.

Nessa modelagem é preciso inserir todos os ingredientes, seus respectivos nutrientes, custo em reais (R\$) e a quantidade presente atualmente na formulação.

## 6. RESULTADO E DISCUSSÕES

A Solução bem-sucedida das equações lineares simultâneas leva a uma solução ótima do problema. Neste processo, variáveis comuns de atividades para cada ingrediente são determinadas. Na linguagem comum, estas representam quantidades de cada ingrediente que compõem a dieta de menor custo.

Às vezes o formulador é informado pelo computador que uma solução é inviável. Isso ocorre quando dados de ingredientes errôneos são usados ou quando são impostas restrições não razoáveis aos requisitos nutricionais ou ao uso de ingredientes. Para evitar erros na entrada de dados, pode ser aconselhável manter a estrutura do layout das planilhas padronizada para facilitar a verificação e a avaliação.

Enquanto cada restrição exige um programa de controle separado, o conjunto não é alterado, se informações sobre matérias-primas e/ou novas restrições tornem essas alterações necessárias. Tais mudanças podem não ser necessárias se um programa de controle for apresentado, caso as novas informações sejam adicionadas ao conjunto de dados originais.

Ao discutir as técnicas de PL usando o pacote de software Solver do Excel, uma abordagem modular será usada começando com um exemplo envolvendo a formulação de uma mistura de menor custo com base em uma lista curta de ingredientes de ração disponíveis (para atender a certos requisitos nutricionais e; uso de certos ingredientes). Finalmente, a técnica de combinar diferentes módulos em um trabalho de PL será demonstrada.

No software MS Excel foi elaborada uma planilha eletrônica com todos os campos necessários para preenchimento pelo usuário e para obtenção dos resultados esperados após a modelagem matemática.

Após completar o desenvolvimento da Planilha Eletrônica, o usuário pode formular a ração. Ao formular a ração, os ingredientes e nutrientes a serem considerados na formulação devem ser selecionados. Feito isso, deve-se preencher as células das restrições. Cada célula apresenta a possibilidade de inserir uma nova inequação de limites relacionados aos ingredientes e nutrientes previamente selecionados.

Uma vez que as inequações técnicas de limites e relações entre ingredientes e nutrientes tenham sido especificadas, a formulação pode ser realizada.

Para isto, foram realizadas as modelagens matemáticas e seus respectivos preenchimentos das lacunas (destaque em vermelho), como ilustra a Figura 4.

Preparo de ração, para uma amostra de 1.000 cabeças de "Gado da Raça Gir, Guzerá e Sindf", misturando: Farinha de Osso, Sal, Farelo de Soja, Cana e Melação de Cana.  
 O custo do Kg Farinha de Osso é R\$ 2,00; do Sal R\$ 1,50; do Farelo de Soja de R\$ 1,48, da Cana R\$ 0,065 e do Melação de Cana R\$ 21,80.  
 Deseja-se produzir uma ração com o **menor custo** possível.

O processo deve atender algumas condições:  
 a) Deseja-se produzir 1.000 Kg de ração  
 b) Deve-se utilizar no mínimo 16 Kg de sal  
 c) A quantidade de farinha de osso deve ser no máximo três vezes a quantidade de farelo de soja  
 d) Deve-se utilizar entre 400 e 800 Kg de Cana  
 e) Deve-se utilizar exatamente 1 Kg de Melação de Cana

Definir as Variáveis, a Função Objetivo e as Restrições.

Variáveis	Farinha de osso	Sal	Farelo de soja	Bagaço de Cana	Melação de Cana	Total		
Reesposta								
Objetivo								
Minimizar	2	1,5	1,48	0,065	21,8	0		
Restrições	Total	SE	<=	OU	=	Limite		
a	1	1	1	1	1	0	=	1000
b		1				0	>=	16
c	1		-3			0	>=	0
d				1		0	>=	400
d				1		0	<=	800
e					1	0	=	1

Figura 4: Planilha Eletrônica contendo a Modelagem Matemática e os dados preenchidos pelo usuário

Para prosseguir, deve-se habilitar o suplemento do Microsoft Excel Solver. Para isso, o usuário deverá clicar no menu “Arquivo” e, em seguida, no submenu “Opções”.

Abrirá a janela “Opções do Excel”. Neste momento o Usuário(a) deverá clicar na opção “Suplementos” e, logo após, selecionar o “Solver”. Por fim, clicar no botão “IR”, de acordo com a Figura 5.

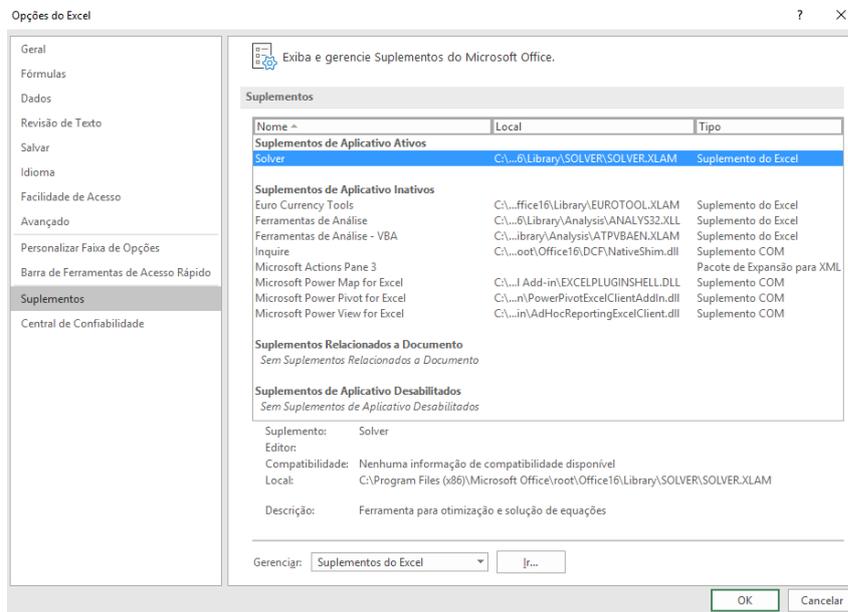


Figura 5: Habilitar o Solver – Passo 1

Na janela “Suplementos”, marcar o checkbox na opção “Solver” e, por fim, clicar no botão “OK”, como apresentado na Figura 6.

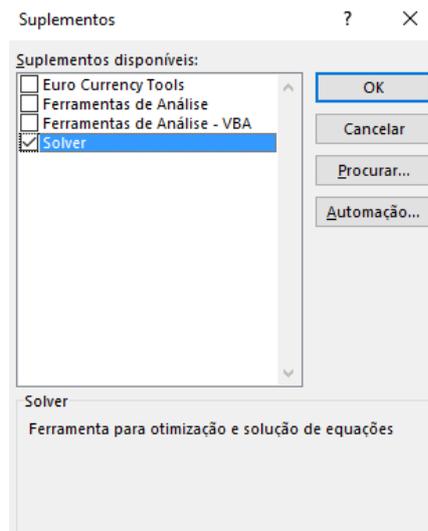


Figura 6: Habilitar o Solver – Passo 2

Após habilitar o Solver, o mesmo estará disponível no menu “Dados”. Basta clicar no menu citado e, em seguida, selecionar a opção “Solver”.

Em seguida, preencher todos os “Parâmetros do Solver”, tais como: “Definir Objetivo”, “Para”, “Alterando Células Variáveis” e “Sujeito às Restrições”. Por fim, clicar no botão “Resolver”, como apresentado na Figura 7.

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para:  Máx.  Mín.  Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

- \$G\$23 = \$I\$23
- \$G\$24 >= \$I\$24
- \$G\$25 >= \$I\$25
- \$G\$26 >= \$I\$26
- \$G\$27 <= \$I\$27
- \$G\$28 = \$I\$28

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda **Resolver** Fechar

Figura 7: Preenchimento dos Parâmetros do Solver

O Método Simplex é executado gerando assim a equação para formulação da razão ótima de mínimo custo. Além disso, a Planilha Eletrônica apresenta três relatórios de Pós Otimização conhecido como Análise de Sensibilidade: Resposta, Sensibilidade e Limite.

Neste momento, caso o Usuário necessite de informações mais detalhadas, ele deverá selecionar os relatórios e clicar no botão “OK”, conforme ilustra a Figura 8.

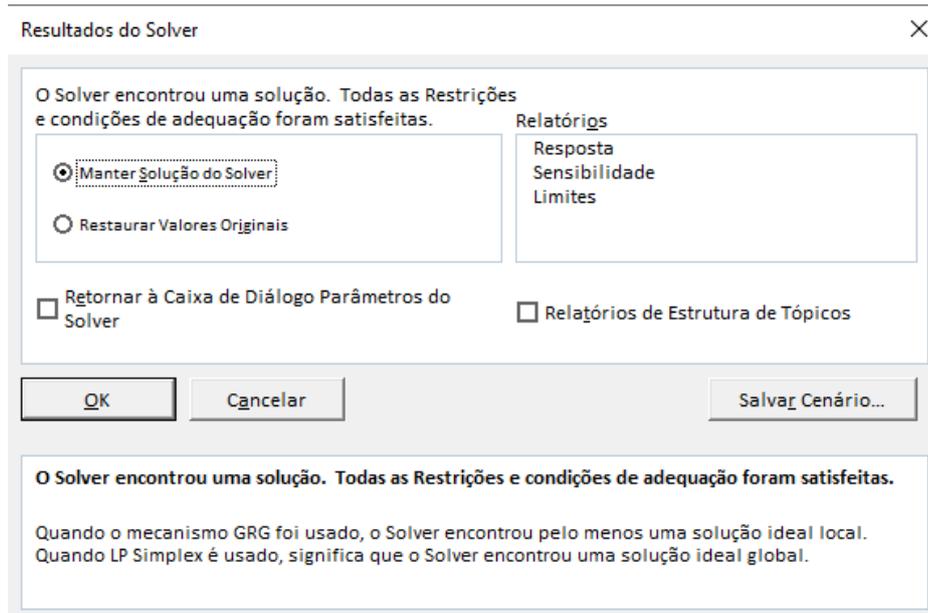


Figura 8: Resultados do Solver

Essa análise permite ao usuário saber quais variações podem existir no problema de tal forma que a solução ótima continua a mesma.

Esses relatórios contém todas as informações da ração formulada e sua respectiva análise de sensibilidade, os quais podem ser posteriormente salvos ou impressos.

Portanto, a Planilha Eletrônica juntamente da modelagem matemática pode formular a ração ótima de mínimo custo para qualquer animal, contanto que o problema matemático referente à formulação da ração desse mesmo animal tenha sido modelado corretamente, como apresenta-se na Figura 9.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	<b>Modelagem Matemática - Programação Linear</b>												
2	Preparo de ração, para uma amostra de 1.000 cabeças de "Gado da Raça Gir, Guzerá e Sindi", misturando: Farinha de Osso, Sal, Farelo de Soja, Cana e Melaço de Cana. O custo do Kg Farinha de Osso é R\$ 2,00; do Sal R\$ 1,50; do Farelo de Soja de R\$ 1,48, da Cana R\$ 0,065 e do Melaço de Cana R\$ 21,80.												
3	Deseja-se produzir uma ração com o <b>menor custo</b> possível.												
4													
5	<b>O processo deve atender algumas condições:</b>												
6	a) Deseja-se produzir 1.000 Kg de ração												
7	b) Deve-se utilizar no mínimo 16 Kg de sal												
8	c) A quantidade de farinha de osso deve ser no máximo três vezes a quantidade de farelo de soja												
9	d) Deve-se utilizar entre 400 e 800 Kg de Cana												
10	e) Deve-se utilizar exatamente 1 Kg de Melaço de Cana												
11													
12													
13	<b>Definir as Variáveis, a Função Objetivo e as Restrições.</b>												
14													
15	Variáveis	Farinha de osso	Sal	Farelo de soja	Bagaço de Cana	Melaço de Cana							
16	Resposta	0	199	0	800	1							
17													
18	Objetivo						Total						
19	Minimizar	2	1,5	1,48	0,065	21,8	372,3						
20													
21	Restrições						Total	>=, <= ou =	Limite				
22	a	1	1	1	1	1	1000	=	1000				
23	b		1				199	>=	16				
24	c	1		-3			0	>=	0				
25	d				1		800	>=	400				
26													
													Modelagem

Figura 9: Resultado da Modelagem Matemática através do Métodos Simplex

Em abril de 2018, foi identificado uma desorganização nas informações para apresentação do custo mensal com alimentação dos gados.

A partir deste fato, foram levantados os principais fornecedores dos últimos três períodos: fevereiro, março e abril de 2018.

Após levantamento de informações, foram identificados que os principais eram composto por um grupo de quatro fornecedores distintos, sendo que o custo da tonelada de cada fornecedor era de:

- a) Fornecedor 1: R\$ 710,00 toneladas
- b) Fornecedor 2: R\$ 730,00 tonelada
- c) Fornecedor 3: R\$ 750,00 toneladas
- d) Fornecedor 4: R\$ 650,00 toneladas

Após analisar, chegamos a uma média de R\$ 710,00 por tonelada (R\$ 2.840,00 / 4).

Considerando que 85% da compra foi realizada do Fornecedor 4, e como não havia registros de controle deste fato, utilizou-se como base de cálculo o valor de R\$ 650,00 por tonelada para consumo de cada animal, o que nos gerou um montante de aproximadamente R\$ 9.100.000,00 anual (14.000 x R\$ 650,00).

Com os resultados dos estudos e aplicabilidade prática da programação linear, chegou-se a um valor de R\$ 372,30 por tonelada/gado, justificando assim o compensatório da produção interna. Este valor forneceu um montante de R\$ 5.212.200 (14.000 x R\$ 372,30).

Para iniciar o processo de produção interna, foi necessário realizar um investimento inicial de aproximadamente R\$ 417.000,00, onde esses recursos foram direcionados para máquinas, equipamento e mão-de-obra (contratação da consultoria de um médico veterinário e um zootecnista), para acompanhamento e desenvolvimento do processo da formulação da ração.

A economia apresentada, foi de R\$ 3.887.800,00, antes do investimento em máquinas, equipamento e mão-de-obra.

Após descontar o investimento de R\$ 417.000,00, foi apresentado um resultado onde justificou-se que, entre comprar de terceiros ou produzir internamente (make or buy), ficou evidente que produzir internamente seria a opção mais viável, uma vez que ofereceu uma redução final líquida de R\$ 3.470.800,00, conforme apresentado no gráfico, na Figura 10.

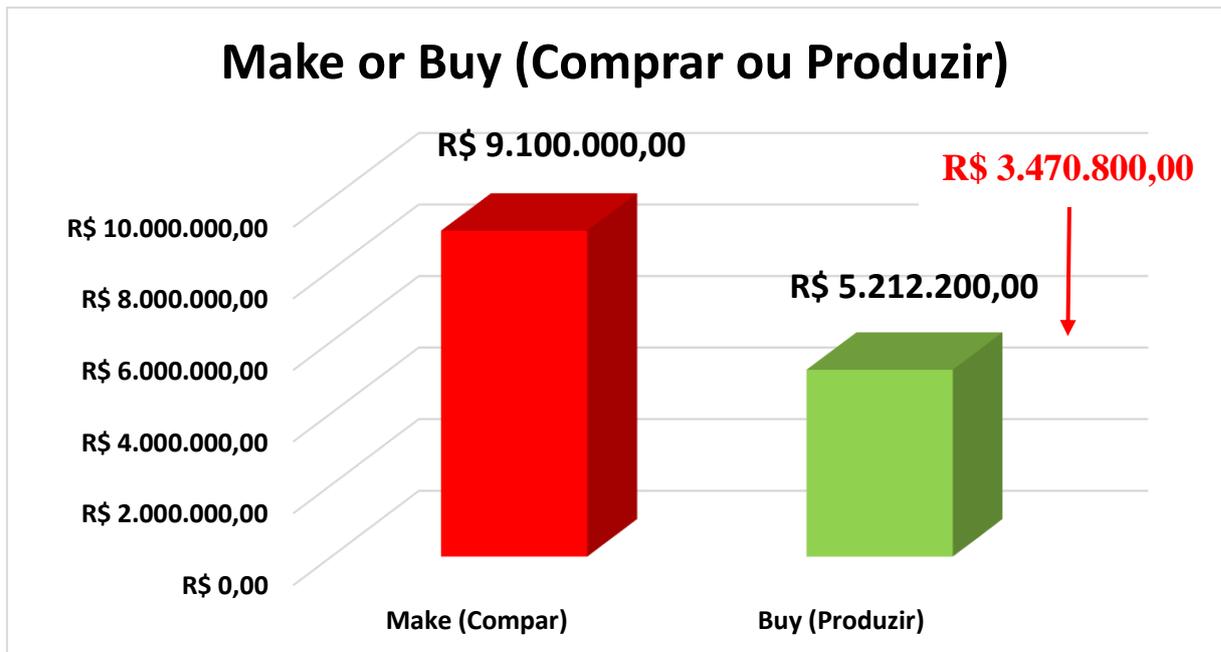


Figura 10: Gráfico Make or Buy

Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode-se perceber nos resultados e com o auxílio e aprovação do Médico Veterinário e Zootecnista responsáveis, foi retirado o ingrediente farinha de osso com alguns objetivos: não oferece nenhuma contribuição nutricional, alto custo que pode ser substituído na dieta animal pelo bagaço de cana e para reduzir os riscos de contaminação de doenças, tais como botulismo e o mal da vaca louca.

Para Sewell (2010), os riscos de utilização deste tipo de farinha estão diretamente relacionados ao seu processamento, com destaque para variáveis como tempo de calcinação e

temperaturas insuficientes à completa eliminação de matéria orgânica. Portanto, o principal motivo da retirada da farinha de osso é o risco que seu uso traz para a sanidade do rebanho nacional.

## 7. CONCLUSÃO

A Planilha Eletrônica foi desenvolvida para profissionais atuantes na área de nutrição animal, tais como, médicos veterinários, zootecnistas, fabricantes de rações, engenheiros químicos e produtores rurais entre outros. A interface da Planilha Eletrônica foi criada de tal forma que sua utilização não exige conhecimento computacional por parte do usuário. Além disso, os usuários possuem total controle sobre os bancos de dados de animais e de alimentos, contendo informações de ingredientes e suas relações com custo, estoque e os nutrientes.

Por meio de experimentos realizados, observou-se que o sistema apresenta coerência na formulação, uma vez que, as respostas do sistema foram comparadas com as de problemas cujas soluções são conhecidas.

Verificou-se que o Método Simplex aplicado a esse trabalho, apresenta resultados adequados para a solução de problemas de programação linear. Entretanto, esse método está limitado a problemas lineares. Uma possibilidade seria tratar custos ou variáveis de forma probabilística, que resultaria em modelo não linear.

Conclui-se, portanto, que para um problema linear de formulação de ração bem modelado, a Planilha Eletrônica desenvolvida para este trabalho, retorna a fórmula ótima da ração e com o menor custo possível.

## 8. REFERENCIAS

ARAÚJO, F.B.; SILVA, P.H.A.; MINIM, V.P.R. Perfil sensorial e composição físico-química de rações para bovinos do mercado brasileiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 23, p. 121-128, 1978.

BRANDÃO, T.L.; ANDRADE, M.; VERAS, A.S.C.; MELO, A.A.S.; ANDRADE, D.K.B. Níveis de bagaço de cana e ureia como substituto ao farelo de soja em dietas para bovinos leiteiros em crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.3, p.760-767. 2003.

BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Colégio Brasileiro de Alimentação Animal, 2002. 430p.

CAMPOS, V. F. **TQC: controle da qualidade total: no estilo japonês**. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, 1992. 229 p.

CARVALHO, M.C., FERREIRA, M.A.; CAVALCANTI, C.V.A.; LIMA, L.E.; SILVA, F.M.; MIRANDA, K.F.; VÉRAS, A.S.C.; MARCILIO DE AZEVEDO, M.; VIEIRA, C.F. Associação do bagaço de cana-de-açúcar, palma forrageira e ureia com diferentes suplementos em dietas para novilhas da raça holandesa. **Acta Science. Animal Science**, v. 27, n.2, p. 247-252. 2005.

CÉSAR, Eliana. **Sal mineral deve ser dado para os bovinos o ano todo**. Embrapa Notícias, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.gov.br/busca-de-noticias/-/noticia/4291350/sal-mineral-deve-ser-dado-para-os-bovinos-o-ano-todo>. Acesso em 24 fev. 2019.

COCA-SINOVA, A.; VALENCIA, D. G.; JIMÉNEZ-MORENO , E.; LÁZARO, R., MATEOS, G. G. Apparent Ileal Digestibility of Energy, Nitrogen, and Amino Acids of Soybean Meals of Different Origin in Broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, p.2613–2623, 2008.

**COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL**. São Paulo: Sindirações, 2005. 204p.

DANTZIG, G. B., ORDEN, A., WOLFE, P. The generalized simplex method for minimizing a linear form under linear inequality restraints. **Pacific Journal of Mathematics**, v. 5, n. 2, p.183-195, 1955.

EMBRAPA GADO DE CORTE, **Características médias das principais fontes de elementos minerais**. Disponível em: <

<https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/clinicacv/AULUSCAVALIERICARCIOFI/doc109-embrapa-suplementos-minerais-bovinos.pdf> >. Acesso em 03 de março de 2019.

FRAZER, J. Ronald. 1968. **Applied linear programming**. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 174p.

GASS, Saul I. 1964. **Linear programming methods and applications**. 2d ed. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, New York. 223p.

GODOI, Mauro Jarbas de Souza; DETTMAMM, Edênio. Fabricação de ração: - determinação do tempo de mistura em misturador horizontal. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.4, n° 6, p.487-490, 2007

LEONE, S. George .**Curso de Contabilidade de Custo** . 2. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

LIMA, A. D. de. **Modelos matemáticos aplicados à problemas na cultura de cana-de-açúcar e no aproveitamento da energia da biomassa**. 2006. 75 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Energia na Agricultura)) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

LIMA,G.M.M; NONES, K. Determinação do tempo ótimo de Mistura de um Misturador de Ração. Instrução Técnica para o Suinocultor. **Embrapa Suínos e Aves**. Nº5 1997.

LUENBERGER, D. G.; YINYU, Y. **Linear and Nonlinear programming**. 3. ed. New York: Springer Verlag, 2008. 546 p.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de Custo**. V. 7, São Paulo: Atlas, 2000.

MCDONALD, P., EDWARDS, R. A., GREENHALGH, J. F. D., MORGAN, C. A., SINCLAIR, L. A., WILKINSON, R. G. **Animal Nutrition**. 7. ed. London: Prentice hall, 2010. 692 p.

MERTENS, D.R. Análise de fibra e sua utilização na avaliação e formulação de rações. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES, REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29., Lavras, 1992. **Anais...**Lavras: SBZ. P188-219.

NATH, T.; TALUKDAR, A. **Linear Programming Technique in Fish Feed Formulation**. In International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). v. 17, p. 132-135, 2014.

NUSSIO, Carla Maris Bittar. **Efeito da adição de melaço em rações iniciais texturizadas no desenvolvimento do rúmen e desempenho de bezerros leiteiros**. Milkpoint, 2005. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/carla-bittar/efeito-da-adicao-de-melaco-em-racoes-iniciais-texturizadas-no-desenvolvimento-do-rumen-e-desempenho-de-bezerros-leiteiros-24995n.aspx#:~:text=Outra%20poss%C3%ADvel%20causa%20para%20o,bezerros%2C%20reduzindo%20assim%20seu%20consumo>. Acesso em: 25 fev. 2019.

OLIVEIRA, F.; COSTA, F.G. P.; SILVA, J. H. V.; BRANDÃO, P.A.; AMARANTE JÚNIOR, V. S.; NASCIMENTO, G. A. J.; BARROS, L. R. Desempenho de frangos de corte nas fases de crescimento e final alimentados com rações contendo soja integral extrusada em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.6, p.1950-1955, 2005.

RODRIGUES, P. B.; ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L. F. T.; GOMES, P. C.; NUNES, R. V.; TOLEDO, R. S. Valores Energéticos da Soja e Subprodutos da Soja, Determinados com Frangos de Corte e Galos Adultos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.4, p.1771-1782, 2002.

RODRIGUEZ, H. P. 1966. **Linear programming**--its value to the feed manufacturer. Reno, Nevada. University of Nevada. 5 numb. leaves. (mimeographed).

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 2005, 187p.

SACOMAN, M. A. R. Otimização de Projetos. **Energia na Agricultura**. V. 13, n. 3, p. 66-76, 1998.

SANTOS, B. H.; PERINA, R. G. **Modelo matemático para redução de custos através da programação linear para ruminantes**. Petrópolis: Vozes, 1999.

SANTOS, F. A.; RODRIGUES, M. T.; LISBOA FILHO, J. Modelo computacional para formulação de rações de mínimo custo para pequenos ruminantes utilizando programação linear. **Anais... XIII SIMPEP – Bauru-SP**, 06 a 08 novembro. 2006.

SANTOS, Gustavo Henrique Pedroso; TEIXEIRA, Tiago Sokulski; GUIMARÃES, Thiago André. **Modelo matemático aplicado à otimização de dieta pra bovinos de corte em sistema de pastejo**. Memorial TCC Caderno da Graduação, 2015, p.369-387.

SAXENA, P. Application of Nonlinear Programming for Optimization of Nutrient Requirements for Maximum Weight Gain in Buffaloes. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, v. 1, n. 1, p. 8-10, 2011b.

SAXENA, P. **Optimization techniques for animal diet formulation**. In: Gate2Biotec, p. 1-5, 2011a.

SEWELL, Antony Hilgrove Monti. **A farinha de ossos e as doenças do rebanho**. SCOT Consultoria. Disponível em: <<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/artigos/21677/a-farinha-de-ossos-e-as-doencas-do-rebanho.htm>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

SOARES, M. S.; PIRES, A. J. V.; SILVA, L. G. ; GUIMARÃES, J. O.; MACHADO, T. C.; FRAZÃO, O. S. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.12, n.01, p. 3837-3855, jan/fev 2015.

THIAGO, Luiz Roberto Lopes de S; SILVA, José Marques da. Soja na alimentação de bovinos. **Embrapa: Circular Técnica 31**, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/321033/1/Sojanaalimentacaod ebovinos.pdf>. Acesso em 24 fev. 2019.

## 9. APÊNDICES

### Apêndice A: Relatório de Respostas

Tabela 2: Implementação do modelo PL Simplex

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Respostas

Planilha: [Mestrado - Ração para Gados.xlsx]Modelagem

Relatório Criado: 21/11/2018 10:53:20

Resultado: O Solver encontrou uma solução. Todas as Restrições e condições de adequação foram satisfeitas.

Mecanismo do Solver

Mecanismo: LP Simplex

Tempo da Solução: 0,312 Segundos.

Iterações: 7 Subproblemas: 0

Opções do Solver

Tempo Máx. 100 s, Iterações 100, Precision 0,000001

Subproblemas Máx. Ilimitado, Soluç. Máx. Núm. Inteiro Ilimitado, Tolerância de Número Inteiro 5%, Resolver sem Restrições de Números Inteiros

Assumir Não Negativo

Célula do Objetivo (Min.)

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final
\$G\$20	Minimizar Total	372,3	372,3

Células Variáveis

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro
\$B\$17	Reesposta Farinha de osso	0	0	Conting.
\$C\$17	Reesposta Sal	199	199	Conting.
\$D\$17	Reesposta Farelo de soja	0	0	Conting.
\$E\$17	Reesposta Bagaço de Cana	800	800	Conting.
\$F\$17	Reesposta Melaço de Cana	1	1	Conting.

Restrições

Célula	Nome	Valor da Célula	Fórmula	Status	Margem de Atraso
\$G\$23	a Total	1000	\$G\$23=\$I\$23	Associação	0
\$G\$24	b Total	199	\$G\$24>=\$I\$24	Não-associação	183
\$G\$25	c Total	0	\$G\$25>=\$I\$25	Associação	0
\$G\$26	d Total	800	\$G\$26>=\$I\$26	Não-associação	400
\$G\$27	d Total	800	\$G\$27<=\$I\$27	Associação	0
\$G\$28	e Total	1	\$G\$28=\$I\$28	Associação	0

Fonte: o Autor

## Apêndice B: Relatório de Sensibilidade

Tabela 3: Resposta da função objetivo

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Sensibilidade  
Planilha: [Mestrado - Ração para Gados.xlsx]Modelagem  
Relatório Criado: 21/11/2018 10:53:20

### Células Variáveis

Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Custo	Objetivo Coeficiente	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$B\$17	Reesposta Farinha de osso	0	0	2	1E+30	0,493333333
\$C\$17	Reesposta Sal	199	0	1,5	0,37	1,435
Subprot	Reesposta Farelo de soja	0	1,48	1,48	1E+30	1,48
Assumir	Reesposta Bagaço de Cana	800	0	0,065	1,435	1E+30
\$F\$17	Reesposta Melação de Cana	1	0	21,8	1E+30	1E+30

### Restrições

Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$G\$23	a Total	1000	1,5	1000	1E+30	183
\$G\$24	b Total	199	0	16	183	1E+30
\$G\$25	c Total	0	0,5	0	183	0
\$G\$26	d Total	800	0	400	400	1E+30
\$G\$27	d Total	800	-1,435	800	183	400
\$G\$28	e Total	1	20,3	1	183	1

Fonte: o Autor

## Apêndice C: Relatório de Limites

Tabela 4: Solução ótima

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Limites  
Planilha: [Mestrado - Ração para Gados.xlsx]Modelagem  
Relatório Criado: 21/11/2018 10:53:21

Objetivo		
Célula	Nome	Valor
\$G\$20	Minimizar	372,3

Tolerância Variável			Inferior Objetivo		Superior Objetivo	
Limite	Nome	Valor	Limite	Resultado	Limite	Resultado
\$B\$17	Reesposta	0	0	372,3	0	372,3
\$C\$17	Reesposta	199	199	372,3	199	372,3
\$D\$17	Reesposta	0	0	372,3	0	372,3
\$E\$17	Reesposta	800	800	372,3	800	372,3
\$F\$17	Reesposta	1	1	372,3	1	372,3

Fonte: o Autor