

# TOMADA DE DECISÃO DE MIX DE PRODUÇÃO DE GRÃOS EM UMA EMPRESA RURAL, UTILIZANDO O MÉTODO GRG NÃO-LINEAR

*Ana Paula Ferreira Ostette<sup>1</sup>*

*Giancarlo Ribeiro Vasconcelos<sup>2</sup>*

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi apresentar e propor um modelo matemático de programação não linear que possa auxiliar a agroindústria (produtores) na tomada de decisão para definir o mix de culturas em área plantada, visando a otimização de recursos e buscando sempre uma ótima solução no resultado financeiro final. Como função objetivo, teremos a maximização da receita adquirida com a venda do produto da colheita das áreas plantadas das três culturas (soja, feijão e algodão) da safra 2014/2015, de uma empresa rural, localizada no município de Rio Verde. Para isso foi utilizado o método o Gradiente Reduzido Generalizado (GRG), utilizando software Excel, ferramenta solver, uma vez que os dados mostraram não-linear (variável área). O modelo proposto mostrou como resultado alcançado, com o desenvolvimento do problema, aspectos positivos, observou-se um lucro expressivo de 33,4% sobre o valor investido de R\$20.000.000,00, em relação ao valor obtido. Assim, o método do GRG mostrou-se aplicável e eficaz na resolução de programação não linear, quando as restrições e função objetivo podem ser não lineares.

Palavras-chaves: Modelagem matemática. Tomada de decisão. GRG. Solver.

Agricultura.

---

<sup>1</sup>Acadêmico do curso de graduação em Engenharia de Produção.

<sup>2</sup> Professor da Universidade de Rio Verde – Orientador.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil atingiu um ótimo resultado na produção de grãos na safra de 2014/2015, obteve recorde produtivo (MINISTERIO DA AGRICULTURA, 2015), entretanto grande parte dos produtores não tem conhecimento e hábito de utilizar ferramentas de pesquisa operacional para a otimização de resultados na hora de definir o *mix* de culturas para uma determinada área a ser cultivada.

Os algoritmos utilizados em pesquisa operacional são eficazes para definir quais os produtos a serem cultivados durante uma safra e melhorar o processo de produção, obtendo a maximização da receita líquida, sempre analisando e comparando as restrições de plantio e custos de cada cultura (FACÓ & OLIVEIRA, 2003).

Tais restrições: custos com insumos, mão de obra, colheita, fretes, arrendamento da área, custos com maquinários, irrigação e preço de comercialização de cada produto, devem ser utilizadas a fim de determinar as condições para criar um modelo matemático e chegar a um resultado no qual o produtor possa interagir, simular cenários e conseqüentemente chegar à melhor decisão a ser tomada.

Para Lima *et al.*,(2001) o processo teórico e prático da administração rural é bastante considerável e segue duas abordagens interessantes: a análise econômica rural, onde aplica-se um uso mais eficaz de recursos disponíveis, e a sabedoria administrativa com relevância para análise do processo peculiar a empresa rural.

Uma forma de obter resultados para o máximo de lucros numa propriedade é a utilização de um método de programação linear ou não linear dependendo do problema, onde são conhecidos os recursos disponíveis, os custos operacionais e suas relações. O método ou o algoritmo simplex, utilizado para programação linear, é a ferramenta mais conhecida e usada atualmente para a solução dos problemas de programação linear (MILHOMEM ET AL, 2015).

O método foi desenvolvido por George B. Dantzig entre 1948 e 1952, durante a segunda guerra mundial, George juntou-se à força aérea e fazia parte de um grupo de pesquisadores unidos em resolver problemas de limitação de recursos, para

solucionar este problema, o grupo coletava dados numéricos que seriam as suas restrições para o desenvolvimento do método. São exemplos de problemas explorados por George: quantidade de bombas lançadas, número de missões, perdas de aeronaves, perdas de soldados, entre outros, com esses dados George formulou o problema e inventou o método simplex (GRANJA; RUIZ, 2006).

Alternativamente, quando ocorrem situações em que o problema de programação for não linear, utiliza-se algoritmos de solução não-lineares, como o algoritmo chamado *Generalized Reduced Gradient* (GRG).

O método GRG, foi descrito originalmente por Carpenier e Abadie. Devido a complexidade desta metodologia, do algoritmo e de todas as admissíveis implementações computacionais, a qual ela proporciona (SACOMAN, 2012). O método do GRG é considerado um dos mais eficazes na resolução de programação não lineares, quando as restrições e função objetivo podem ser não lineares (FACÓ & OLIVEIRA, 2003).

Neste trabalho o GRG será muito importante para a resolução do problema, pois o problema se enquadra em um modelo não linear, visto que a restrição de área para plantio é composto por duas funções configurando uma função por partes não linear.

O objetivo deste artigo é apresentar e propor um modelo matemático de programação não linear que possa auxiliar a agroindústria (produtores) na tomada de decisão para definir o *mix* de culturas em área plantada, visando a otimização de recursos e buscando sempre uma solução ótima no resultado financeiro final.

## **2. A Importância da Rotação De Culturas**

A metodologia de rotação de cultura é muito comum para produção de grãos, utilizando a técnica agro ecológica, visto que é necessário cultivar várias espécies de plantas alternando-as a cada ano em uma mesma área, pois se não existir uma alternância das variedades de plantas vegetais cultivadas, o solo será explorado apenas dos nutrientes necessários àquela espécie de planta, empobrecendo os minerais naturais do solo (CARDOSO, 2016).

Continuando Cardoso (2016), informa que uma abordagem importante que deve ser considerada para definir a espécie cultivada na rotação de culturas é o tipo de solo que será explorado e a capacidade de adaptação de cada espécie, se em uma safra foi plantada uma espécie que absorve mais um determinado mineral, na próxima safra o ideal seria plantar outra espécie que absorve outro tipo de mineral, proporcionando uma variação de absorção de nutrientes a cada novo ciclo.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de absorção de minerais em algumas espécies. Diferentes espécies absorvem uma variação diferente de minerais, auxiliando no balanceamento de adubação do solo.

Tabela 1 - Parâmetros de absorção de minerais

Espécies	Elemento	VmaxNmot/m <sup>2</sup> . S	Parâmetros KM .....	Cmin .....
Arroz (sequeiro)	K	13	25	2
Arroz (BR-IRGA-409)	K	16	19	2,5
Arroz (EEA-406)	K	13	5,5	1,8
Arroz (Bluebelle)	K	11	-	-
Milho	NO <sup>3</sup>	10	10	4
	P	4	3	0,2
	K	40	16	1
Soja	P	0,8	2	0,1
Trigo	P	5,1	6	3

Fonte:(VOLKWEISS, 2005).

Para os autores Franchini *et al.*, (2011), a intercalação de culturas representa um avanço para a qualidade no plantio. Entre as vantagens provocadas pela rotação no campo estão:

- aumento considerável na produtividade de todas as culturas envolvidas no processo do plantio, pois melhora a qualidade químico/ física/ biológica do solo;
- minimizar o desenvolvimento de pragas e doenças;
- aumenta o desempenho da espécie vegetal para a produção de grãos;
- influência no custo de produção pela racionalização na aplicação de insumos;
- proporciona ao produtor de grão uma estabilidade de mercado maior.

Justificada a importância da rotação da produção, cabe agora decidir qual será o *mix* de produção que sofrerá rotação, essa decisão será tomada, neste trabalho, a partir do critério de maximização do lucro.

### **3. MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA DE MIX DE PRODUÇÃO**

A definição do *mix* de produção de grãos depende diretamente da previsão de demanda, e da alta de mercado, o *mix* na produção são combinações de dois ou mais produtos que pode maximizar a receita líquida, o método de programação não linear auxilia para definir qual proporção produzir de cada produto, sempre buscando a melhor combinação de produtos, considerando todas as condições necessárias para poder produzi-los.

Diante de alguns problemas na produção, podem surgir dúvidas de: como? O que? E quanto produzir? São perguntas que podem ser esclarecidas com o modelo de programação, pois a vantagem que esse método demonstra é a possibilidade de antecipar o resultado ideal.

Loesch e Hein (2009) apresentam um modelo, que mostra como modelar e desenvolver um problema de programação matemática. Para o auxílio no desenvolvimento da solução do problema encontra-se, disponíveis, ferramentas computacionais como o solver (suplemento do Excel) que é capaz de encontrar soluções de um problema de programação matemática de uma forma simples e eficaz. Para modelar um problema de programação matemática é necessário seguir quatro passos importantes:

- 1) Identificação das variáveis de decisão;
- 2) Modelar a função objetivo;
- 3) Modelar as restrições;
- 4) Solução.

### 3.1. EXEMPLO DE MODELO PARA O PROBLEMA DE MIX DE PRODUÇÃO

O modelo consiste em um problema de produção de cereais tendo como objetivo maximizar o lucro total. Para a modelagem do problema proposto são necessários dados como: área de plantio, mão de obra, demanda de mercado, custo produtivo de equipamento, entre outros.

Descrição do problema:

Planejar o *mix* de 3 produtos de uma produção agrícola de forma que se defina a quantidade a ser produzida de cada produto, tendo a disponibilidade de uma área X para o plantio, o produtor irá utilizar os recursos que tem disponível para efetuar o pagamento do custo da mão de obra no valor de Y, o qual possui uma quantidade de homens/hora de trabalho, o custo Z de equipamentos e insumos será pago através de empréstimo bancário o qual terá uma taxa de juros e que deverá ser quitado após a comercialização de sua produção (Tabela 2). Os produtos 1 e 2 possuem uma demanda máxima garantida de D sacas. O produtor deseja alcançar o maior lucro após o pagamento do empréstimo (LOESCH; HEIN, 2009).

**Tabela 2** - Dados por produto

Descrição	Produto 1	Produto 2	Produto 3
Produção em sacas/hec	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Homens/hora de trabalho/hec	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
Custos com equipamento e insumos/hec	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Receita por saca	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>

Fonte: Adaptado de (Loesch; Hein, 2009).

1º Passo – Selecionar as variáveis de decisão: Área destinada para plantio dos produtos P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>.

A<sub>1</sub>: área plantada do produto 1

A<sub>2</sub>: área plantada do produto 2

A<sub>3</sub>: área plantada do produto 3

2ºPasso – Modelar a função objetivo:

$$\text{Max } Z = P_1A_1R_2 + P_2A_2R_2 + P_3A_3R_3$$

3º Passo – Modelar Restrições

Demanda:

$$P_1A_1 + P_2A_2 \leq D$$

Mão de obra:

$$H_1A_1 + H_2A_2 + H_3A_3 \leq Y$$

Custo:

$$C_1A_1 + C_2A_2 + C_3A_3 \leq Z$$

Área:

$$A_1 + A_2 + A_3 \leq X$$

Sinal:

$$A_1, A_2, A_3 \geq 0$$

Modelo:

$$\text{Max } Z = P_1A_1R_2 + P_2A_2R_2 + P_3A_3R_3$$

sujeito a,

$$P_1A_1 + P_2A_2 \leq D$$

$$H_1A_1 + H_2A_2 + H_3A_3 \leq Y$$

$$C_1A_1 + C_2A_2 + C_3A_3 \leq Z$$

$$A_1 + A_2 + A_3 \leq X$$

$$A_1, A_2, A_3 \geq 0$$

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo as definições de Silva e Menezes, 2005 esta pesquisa se enquadrou em uma pesquisa de natureza aplicada que busca conhecimento prático para solução de um problema real. Também se classificou em quantitativa, pois avalia a quantidade de algo e visa fazer uma estimativa precisa através de análises de amostras.

A pesquisa aqui realizada se enquadra em Estudo de Caso, que implica em uma profunda análise de conteúdos teóricos e práticos cujo objetivo é obter informações e a partir disso avançar com alguns procedimentos e um possível resultado (GODOY, 1995).

Nos espelhou-se na modelagem do problema apresentado no item dois deste trabalho para modelar o problema de *mix* de produção de grãos. Seguindo os passos demonstrados no exemplo, os dados utilizados para o desenvolvimento do problema foram coletados na planilha de planejamento e resultados da safra

2014/2015 em uma empresa rural, localizada no município de Rio Verde no estado de Goiás. A empresa estudada utiliza um mix de produção com até três culturas diferentes.

As variáveis de decisão determinadas foram as áreas a serem cultivadas de cada cultura.

Como função objetivo, teremos a maximização da receita adquirida com a venda do produto da colheita das áreas plantadas dos três cultivares.

Como restrições do modelo utilizou-se a disponibilidade de receita para investimento em insumos (custos), disponibilidade de área a ser plantada e restrição de demanda contratada.

A suplemento do Excel conhecido como Solver possibilitou encontrar um valor ideal de máximo lucro, e foi fundamental para dar um suporte no desenvolvimento do problema de programação matemática para definir qual o melhor mix de produção.

## **5. MODELO PROPOSTO**

Como já mencionado anteriormente, foram utilizados os relatórios de fechamento da safra de 2014/2015 realizado em setembro do ano de 2015, os quais se encontram armazenados em banco de dados do sistema interno da empresa. Nos relatórios não consta o valor disponível do investimento inicial para realização da produção da safra, por motivos maiores os gestores da empresa decidiram não revelar essa informação. Para aproximar a informação real, o valor do custo total, da safra de 2014/2015 foi considerado como a disponibilidade de receita para investimento em insumos.

A empresa plantou nesta safra um total de 8.176,31 hectares, sendo 5.589,70 hectares arrendado e 2.586,61 hectares próprios, divididos entre as 3 culturas, sendo:

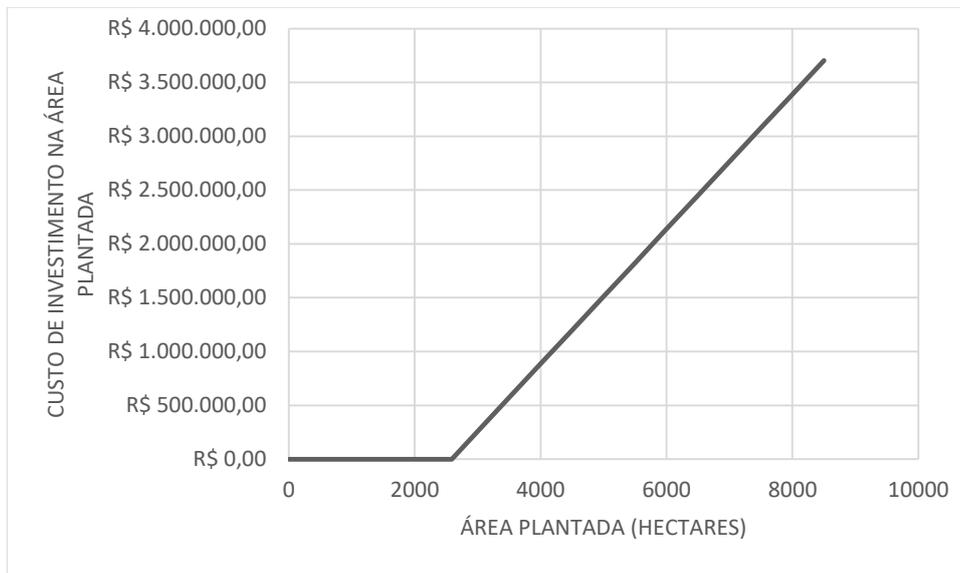
- 6.633,37 ha de área plantada de soja com produção de 56,50 sacas/hec, colhendo um total de 374.797,98 sacas. Preço médio de venda de R\$59,77 por saca. Custo total de R\$14.138.291,15.

- 1.104,64 ha de área plantada de feijão com produção de 45,52 sacas/hec, colhendo um total de 50.283,50 sacas. Preço médio de venda R\$151,08 por saca. Custo total de R\$3.151.179,34.
- 438,30 ha de área plantada de algodão com uma produção de 326,67 arrobas/hec, colhendo um total de 143.180,07 arrobas. Preço médio de venda R\$42,54 por arroba. Custo total de R\$4.703.463,08.

### 5.1. MODELAGEM MATEMÁTICA

Analisando os dados disponíveis foi possível concluir que nosso modelo seria um problema de programação matemática não linear, visto que a função que calcula o custo ligado ao total de área plantada não seria uma função linear e sim uma função por parte não linear (Figura 1).

**Figura 1** – Função de custo da área total plantada



Fonte: Autores (2016)

A restrição de área é composta por duas partes, utilizar uma área de 2.586,61 hectares para plantio sem custo (área própria), quando ultrapassar essa área haverá um custo de arrendamento (área arrendada).

Sacoman (2012), seguindo o que propôs Rosenem 1960, apresentou o Método do Gradiente Projetado, uma evolução do estudo de Wofle em 1963 que apresentou o método Gradiente Reduzido Generalizado - GRG, utilizado para

resoluções de problemas de programação matemática, em que uma das características da função objetivo é ser não-linear, porém apresentando restrições lineares. A similaridade dos métodos concentra-se na questão da simplicidade de resolver situações problemas de forma simples e não-lineares.

A descrição do modelo, constitui-se que este considera o problema geral de programação não-linear, o qual é descrito pela seguinte forma: “maximizar  $f(x)$  sujeito a:  $g(x) = 0$   $a \leq x \leq b$  definidos como  $x, a, b \in \mathbb{R}^n$ ,  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$  e  $P = \{x \mid a \leq x \leq b\} \subset \mathbb{R}^n$ ” (SACOMAN, 2012 p.3).

Esta metodologia pode ser generalizada, englobando todos os problemas de programação não-linear. Isto é possível, já que as restrições de desigualdade são passíveis de serem transformadas em restrições de coincidência “pela introdução de variáveis de folga. Além disto, em problemas de minimização, basta que se utilize a relação  $\min\{f(x)\} = -\max\{-f(x)\}$ ” (SACOMAN, 2012 p.3).

Entretanto, Freitas (2016, p.45) afirma que o GRG “é um algoritmo aplicado em problemas de otimização e foi desenvolvido por Leon Lasdon e Allan Waren Cleveland”. Continuando o autor afirma ainda que a otimização por meio do método GRG pode ser realizada pelo *Solver*, ferramenta disponível no software de planilhas eletrônica da *Microsoft Excel*. Para o autor o algoritmo do GRG pode ser considerado uma “extensão dos métodos de otimização linear para programação não-linear”.

O emprego do método GRG apresenta resultados muito satisfatórios e tem a capacidade de prover informações que amparam, em determinadas condições, a tomada de decisões para o planejamento da capacidade produtiva de uma organização ou processo (ALMEIDA, ROMANZINI; WERNER, 2016).

Para a implementação do modelo e utilização do método utilizou-se inúmeras variáveis e constantes, as quais foram:  $I_j$ : Alíquota de Impostos Sobre Receitas da venda do produto  $j$ ;  $CV_{i,j}$ : Custo  $i$  relacionado com a venda do produto  $j$ ;  $CM_{i,j}$ : Custo  $i$  relacionado com insumos e materiais para o produto  $j$ ; DP: Despesas fixas com pessoal; CHP: Custo de plantio com terreno próprio; CHA: Custo de plantio com terreno Arrendado;  $A_j$ : Área plantada por produto  $j$ ; AT: Área plantada; HP – Área própria disponível; HA - Área para arrendamento disponível;  $PR_j$  – Produção

esperada por há plantado;  $PM_j$  – Produção já contratada;  $P_j$ : Preço de venda do Produto  $j$  (saca ou @); DP: Despesas com pessoal: -R\$ 840.468,82; CD: Capital disponível: R\$ 20.000.000,00; CT: Custo total; RT: Receita Total; LC: Lucro;

A Tabela 3 apresenta as informações de custo de produção retiradas dos relatórios da safra 2014/2015.

**Tabela 3 – Custos de Produção**

Variáveis	SOJA	FEIJÃO	ALGODÃO
$I_j$ - Alíquota de Impostos Sobre Receitas	-0,022	0	-0,103
CV1,j- Custo de frete (por saca ou @)	R\$ 0,00	-R\$ 0,50	-R\$ 0,61
CV2,j- Custo de comissões e corretagem (por saca ou @)	-R\$ 0,10	-R\$ 1,15	-R\$ 2,24
CV3,j- Taxas diversas s/ vendas (por saca ou @)	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 0,73
CV4,j - Custo beneficiamento (por saca ou @)	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 4,23
CV5,j - Custo armazenagem (por saca ou @)	-R\$ 0,12	-R\$ 0,19	-R\$ 0,25
CV6,j - Outras despesas (por saca ou @)	R\$ 0,00	-R\$ 0,29	R\$ 0,00
CM1,j - Custo com fertilizantes (por há)	-R\$ 474,45	-R\$ 634,64	-R\$ 1.673,61
CM2,j - Custo com defensivos (por há)	-R\$ 562,00	-R\$ 932,31	-R\$ 2.723,25
CM3,j - Custo com corretivos (por há)	-R\$ 27,76	-R\$ 12,24	-R\$ 160,98
CM4,j - Custo sementes (por há)	-R\$ 242,61	-R\$ 230,58	-R\$ 574,80
CM5,j - Custo embalagens (por saca ou @)	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 0,88
CM6,j - Custo gás e lenha (por saca ou @)	-R\$ 0,11	-R\$ 0,66	R\$ 0,00
CM7,j - Custo mão de obra direta (por há)	-R\$ 266,88	-R\$ 370,74	-R\$ 1.203,06
CM8,j - Custo serviços de terceirizado (por há)	-R\$ 1.022,74	-R\$ 242,66	-R\$ 21,47
CM9,j - Custo manutenção maquinário (por há)	-R\$ 1,98	-R\$ 2,97	-R\$ 1,71
CM10,j - Custo com combustíveis e lubrificantes (por há)	-R\$ 139,44	-R\$ 173,33	-R\$ 693,20
CM11,j - custo impostos (por saca ou @)	-R\$ 0,13	-R\$ 0,13	-R\$ 0,01
CM12,j - Seguros de máquinas e veículos	-R\$ 185.778,56	-R\$ 537,81	-R\$ 10.320,11
CM13,J - Custo ferramentas (por há)	-R\$ 0,11	-R\$ 0,05	-R\$ 1,07
CM14,j - Bens de peq. valor	-R\$ 4.077,00	-R\$ 555,50	-R\$ 2.449,30
CM15,j - Outros custos (por há)	-R\$ 27,19	-R\$ 30,46	-R\$ 38,39
CM16,j - Custo serviços de terceiros - mecanizado (por há)	-R\$ 215,35	-R\$ 286,41	-R\$ 136,99
$PM_j$ – Produção mínima	185.000 Sacas	0 Sacas	66.046 Sacas
$P_j$ – Preço de venda	R\$ 59,77	R\$ 151,08	R\$ 42,54
$PR_j$ – Produção esperada por há plantado	56,50	45,52	326,67

Fonte: Relatórios safra 2014/2015

A Tabela 4 apresenta os valores considerados para cálculo da custa relacionado à área total plantada.

**Tabela 4 – Área disponível para plantio**

Descrição	HP -Área Própria	HA - Área para Arrendamento
Área Disponível	2.586,61 hec	5.589,70 hec
Custo por há	CHP: -R\$ 0,00	CHA: -R\$ 626,16

Fonte: Relatórios safra 2014/2015

Seguindo os passos apresentados no item 2 deste trabalho temos:

1º Passo – Selecionar as variáveis de decisão:

Área plantada de Soja:  $A_1$

Área plantada de Feijão:  $A_2$

Área plantada de Algodão:  $A_3$

Cálculo do custo total:

Formula 1

$$CT = \left[ \sum_{j=1}^3 I_j A_j P_j PR_j + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 CV_{i,j} A_j P_j + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 CM_{i,j} A_j + DP + \begin{cases} 0 & \text{se } AT \leq HP \\ (AT - HP)CHA & \text{se } AT > HP \end{cases} \right]$$

2º Passo – Função objetivo: Maximizar Lucro

Formula 2

$$MaxLC = \sum_{j=1}^3 A_j P_j PR_j - CT$$

3º Passo – Restrições

Formula 3

Investimento:  $CD - CT \geq 0$

Área disponível:  $(HP + HA) - AT \geq 0$

Produção mínima:  $A_j PR_j - PM_j \geq 0$  para  $j = 1, 2$  e  $3$ .

Sinal:  $A_j \geq 0$ , para  $j = 1, 2$  e  $3$ .

Modelo completo.

Formula 4

$$MaxLC = \sum_{j=1}^3 A_j P_j PR_j - CT$$

Sujeito a:

$CD - CT \geq 0$

$(HP + HA) - AT \geq 0$

$A_j PR_j - PM_j \geq 0$  para  $j = 1, 2$  e  $3$ .

$A_j \geq 0$ , para  $j = 1, 2$  e  $3$ .

Ressalta-se que para esse modelo desenvolvido não foram observadas, neste contexto, restrição de mão-de-obra, uma vez que na região tradicionalmente não há escassez deste recurso. Assim como não foi constatada restrição de outros insumos como, máquinas, equipamentos, fertilizantes, sementes, agrotóxicos e outros, pois não há como medir a disponibilidade desses produtos, já que várias são as empresas que os fornecem, além de, historicamente, ser raro a ocorrência de escassez desses recursos.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

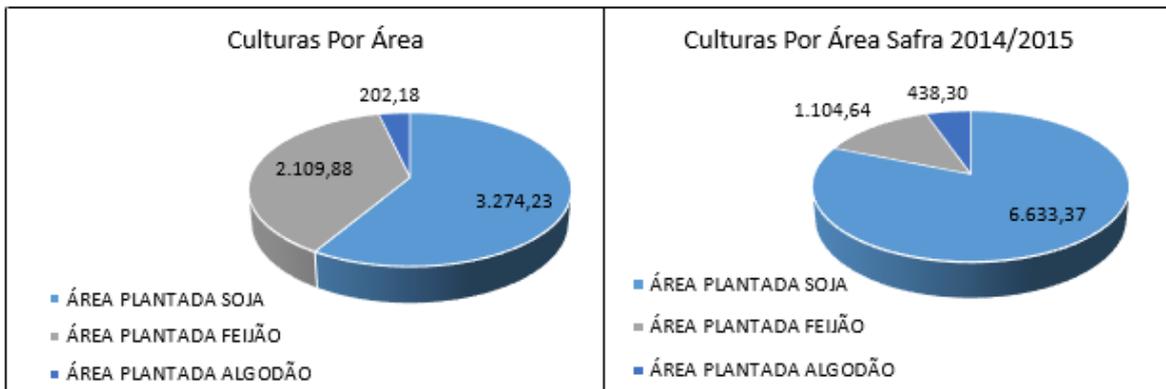
A aplicação dessa ferramenta permite simular resultados, podendo nos dar uma visão ampla, tornando-se uma estratégia para definir o *mix* de produção de grãos e conseqüentemente maximizar os lucros. Como principais resultados do modelo, identificamos que a cultura mais viável a ser cultivada é o feijão, pois em comparação com as demais culturas ele assume um custo médio de produção extremamente vantajoso em relação ao preço de venda, gerando uma taxa de retorno maior. No entanto, não podemos deixar fora de nossa análise, outros fatores que devem ser considerados, exemplo é o fator clima, pois cultivar feijão torna-se mais arriscado, pois o produto é mais suscetível à variações climáticas (RURAL, 2012).

O valor de investimento restringiu o plantio a 5.616,28 hec, sendo que para as culturas de soja e algodão ter-se-á, apenas, produção para atender pedidos dos clientes já contratados.

A Figura 2 mostra o resultado ótimo obtido pelo GRG, apresentando o tamanho de área cultivada para as culturas de soja, feijão e algodão. Comparando o resultado com o realizado na safra 2014/2015 temos:

- **Área plantada de soja:** Safra 2014/2015 6.633,37 hec – Resultado do modelo 3.274,23 hec
- **Área plantada de feijão:** Safra 2014/2015 1.104,64 hec – Resultado do modelo 2.139,88 hec
- **Área plantada de algodão:** Safra 2014/2015 438,30 hec – Resultado do modelo 202,18 hec

**Figura 2.** Demonstração de resultados: tamanho de área plantada para cada cultura (esquerda) e referente à safra 2014/2015 (direita)



Fonte: Autores (2016)

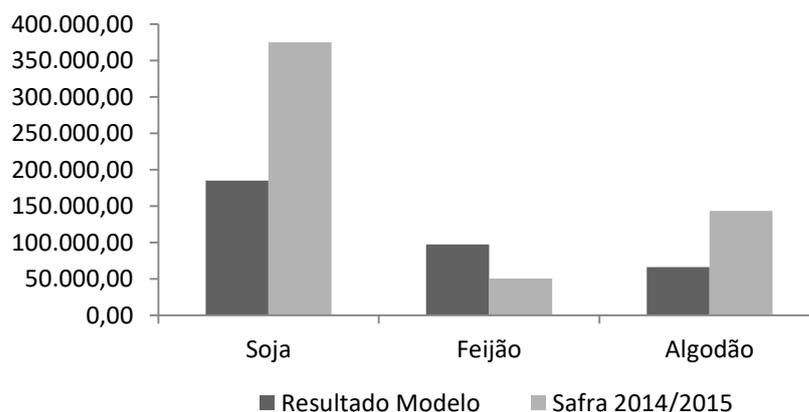
A Figura 3 mostra uma estimativa total de produção agrícola para cada cultura relacionando à safra 2014/2015, esse resultado depende de vários fatores e pode sofrer variações para mais ou para menos. Comparando os resultados nota-se:

**Produtividade total de soja:** Safra 2014/2015 374.797,98 sacas – Resultado do modelo 185.000,00 sacas.

**Produtividade total de feijão:** Safra 2014/2015 50.283,50 sacas – Resultado do modelo 97.407,34 sacas.

**Produtividade total de algodão:** Safra 2014/2015 143.180,07 @ – Resultado do modelo 66.046,14 @ (arrobas).

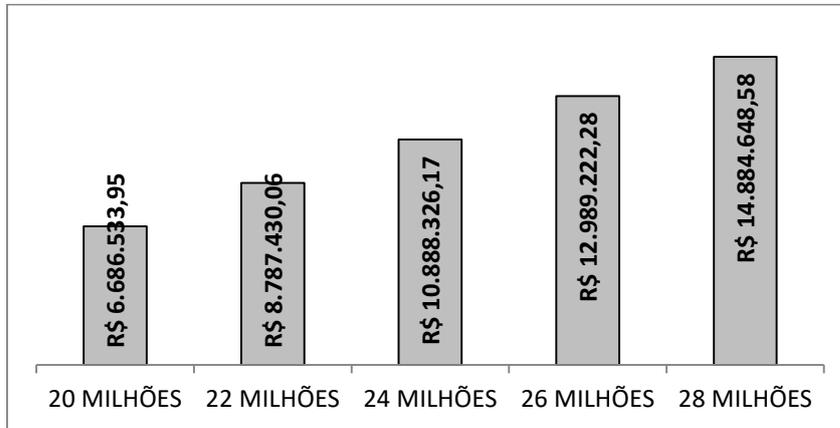
**Figura 3.** Demonstração de resultados: produtividade total por cultura



Fonte: Autores (2016)

A Figura 4 apresenta a progressão do lucro da empresa à medida que se incrementa R\$ 2.000.000,00 na disponibilidade de investimento.

**Figura 4.** Valor de investimento em função dos lucros



Fonte: Autores (2016)

O resultado obtido com o desenvolvimento do problema foi positivo, houve um lucro expressivo de 33,4% sobre o valor investido de R\$20.000.000,00. Notou-se que o valor obtido na safra 2014/2015, foi o que sugeriu um panorama muito vantajoso para a faixa de investimento entre 20 e 28 milhões. Verifica-se que a partir de um investimento de 20 milhões, o lucro cresce acima do incremento feito ao valor investido. Porém aumentar o investimento acima de 28 milhões não será vantajoso, pois o recurso que restringirá a produção a partir desse ponto é a área disponível, tendo como alternativa utilizar o saldo para investimento em mais tecnologia com semente, por exemplo, possibilitando uma maior produtividade.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho procuramos analisar as vantagens no uso de um modelo matemático da pesquisa operacional para auxiliar no campo a encontrar soluções ótimas ao definir um *mix* de cultura, o modelo utilizado GRG apresentou fácil execução e se mostrou eficiente ao atingir os resultados.

Os resultados descritos no presente artigo foram considerados importantes visto que o modelo apresentou lucro superior a safra 2014/2015.

No entanto, as atividades relacionadas à tomada de decisão em busca de definir o *mix* de produtos devem ser estendidas a fatores que vão além do modelo. Exemplos são: a avaliação do clima e qualidade do solo, visto que estes são fatores importante para obter boa produtividade.

Como trabalhos futuros provém-se a realização de uma análise de sensibilidade que abranja variáveis que podem flutuar de períodos em períodos, como por exemplo, demanda e oferta, estimativa de custos, recursos disponíveis e preço de venda.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. P.; ROMANZINI, F. R.; WERNER, L. Planejamento da capacidade de produção na indústria plástica: uma abordagem baseada em previsão de demanda e níveis de capacidade. *Revista Produção Online*, Florianópolis, SC, v. 16, n. 3, p. 1033-1057, jul./set. 2016. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/2320>> Acesso em 25 out. 2016.

CARDOSO, M. **Rotação de cultura**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/agricultura/rotacao-de-culturas>>. Acesso em: 15 de maio 2016.

FACÓ, J. L. D.; OLIVEIRA, L. A. A. Aplicação de computação paralela à resolução numérica de problemas de programação não linear com restrições. 2003. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2003/pdf/arq0236.pdf>> Acesso em: 15 de maio de 2016.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de cultura para a produção agrícola sustentável no Paraná**. EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011.

FREITAS, A. P. B. R. Novas estratégias para a otimização em problemas com múltiplas respostas : um estudo no tratamento de efluentes fenólicos 2016, 106fls. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Guaratinguetá, 2016.

GODOY, A. S. **Pesquisa qualitativa**: tipos fundamentais. *Revista de Administração de Empresa*, São Paulo, vol.35, n.3, p.20-29, mai./jun.1995.

GRANJA, D. I.; RUIZ, J.J. **Biografia de George Bernard Dantzig**. Disponível em: <[http://www.phpsimplex.com/biografia\\_Dantzig.htm](http://www.phpsimplex.com/biografia_Dantzig.htm)>. Acesso em: 15 maio 2016.

LIMA, A. P.; SANTOS, A. C.; MULLER, A. G.; BASSO, N.; NEUMANN, P. S. **Administração da Unidade de Produção Familiar: Modalidades de Trabalho Com Agricultores**. 3 ed. Ijuí: UNIJUÍ. 2001.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos**. 1. ed. p.05-19 São Paulo: Saraiva. 2009.

MILHOMEM, D. A., PORTO, M. L., MACHADO, A. A., LIMA, A. C., & TEIXEIRA, A. A. (13 a 16 de outubro de 2015). **Utilização da programação linear e do método simplex para otimização da produção de pães em uma empresa de panificação**. XXXV ENEGEP - Encontro nacional de engenharia de produção , p. 14.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Notícias: **Safra brasileira 2014/2015 fecha com recorde de 209,5 milhões de toneladas de grãos, 2015**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2015/09/safra-brasileira-20142015-fecha-com-recorde-de-209-milhoes-de-toneladas-de-graos>>. Acesso em: 01 maio 2016.

RURAL, G. (04 de dezembro de 2012). *Plantio de feijão na época das chuvas em MG*. Acesso em 06 de outubro de 2016, disponível em AGRON: <http://www.agron.com.br/publicacoes/noticias/noticia/2012/12/04/031501/plantio-de-feijao-na-epoca-das-chuvas-em-mg.html>

SACOMAN, M. A. R. Otimização de projetos utilizando GRG, Solver e Excel. IN: COBENGE: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia: 03 a 06 de setembro 2012 – Belém-PA. Anais...Belém. 2012. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/103911.pdf>> Acesso em 24 out. 2016.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. ***Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação***. 4.ed. ver. Atual. -Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <[https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia\\_de\\_pesquisa\\_e\\_elaboracao\\_de\\_teses\\_e\\_dissertacoes\\_4ed.pdf](https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf)>. Acesso em: 10 junho 2016.

VOLKWEISS, S.J apud FAQUIN, V. ***Nutrição mineral de plantas***. Ed.ufla/faepe, 2005disponível em: <[http://www.dcs.ufla.br/site/\\_adm/upload/file/pdf/ProfFaquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf](http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/ProfFaquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf)>. Acessado em: 20 maio 2016.