# APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO LOCAL: UMA ALTERNATIVA PARA PRODUTORES DE HORTALIÇAS POR MEIO DA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

**Daniely da Silva Fonseca**
**Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)**
**danielyfonseca20@gmail.com**

**Eder Pereira de Souza**
**Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)**
**ederpdes@yahoo.com.br**

**Letícia Mendes de Santana**
**Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)**
**leticiamendesdesantana@hotmail.com**

**Bárbara Cristina Mendanha Reis**
**Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)**
**barbara.mendanha@ufms.br**

**Mirian Batista de Oliveira Bortoluzzi**
**Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)**
**mirian_bortoluzzi@ufms.br**

## RESUMO

A competitividade dentro do agronegócio vem crescendo de forma significativa, o que torna essencial a tomada de decisão de muitos dos pequenos produtores rurais, os quais mesmo não disponibilizando de muitos recursos, buscam diferenciais no mercado que atraiam clientes e garantam a sobrevivência. O objetivo desse trabalho foi a definição da receita máxima de um pequeno produtor rural do interior de Mato Grosso do Sul com a comercialização de hortaliças, no período de 70 dias, por meio da utilização da Programação Linear, pelo método Simplex. A pesquisa partiu da fundamentação teórica para o estudo de caso, com abordagem quantitativa, de natureza exploratória. Com a utilização da ferramenta *Solver*, do software *Microsoft Excel*, foi possível a definição da solução ótima, a qual indicou uma receita máxima de R$ 200 em um cenário que o produtor cultiva somente cheiro verde. Por meio do modelo dual e da análise de sensibilidade, verificou-se que a área de plantio é o único recurso escasso desse sistema produtivo, logo, o investimento em irrigação e adubos não aumentariam a receita atual dado que esta seria maximizada somente com o plantio de hortaliças que necessitem de pequenas áreas de cultivo.

**Palavras-chave:** Método Simplex; Otimização; Análise de Sensibilidade; Hortaliças.

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o crescimento acumulado da agropecuária no ano de 2017 foi de 14,5%, uma vez que o agronegócio representou cerca de 24% do PIB nacional do mesmo ano. Tal valor deve-se ao fato de suas cadeias de suprimentos serem formadas por uma ampla variedade de organizações, desde grandes corporações multinacionais nas indústrias de agrotóxicos, processamento e distribuição de alimentos, energia e fibras, até empresas relacionadas à produção rural, formadas por organizações cooperativas e empresas familiares de diferentes tamanhos (MACHADO FILHO, CALEMAN e CUNHA, 2017).

Se por um lado, o cenário competitivo do agronegócio vem crescendo de forma significativa, o outro revela que tal disputa se torna um tanto desigual quando se compara o grande e o pequeno produtor. Diante tal paradigma, conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (2018), o tamanho limitado compromete a viabilidade financeira de pequenos produtores rurais, uma vez que a escala de produção se torna um problema estrutural resultando em baixa geração de renda.

A inovação pode criar condições para a manutenção da viabilidade econômica das propriedades familiares e sua capacidade de se reproduzir como unidade social familiar, além de poder contribuir para a modernização do setor (EMBRAPA, 2018). Essa modernização passa pelo uso adequado dos fatores de produção (bens de capital, terra, mão de obra, insumos, por exemplo) à capacitação que possibilitará aos agricultores assertividade em suas tomadas de decisões concomitante à agregação de valor a seus produtos e maximização da inserção nos mercados.

Sob essa ótica, graduandos de administração do Campus de Nova Andradina, interior do Mato Grosso do Sul, assumiram que a programação linear pode ser uma ferramenta importante para a criação de estratégias que viabilizem diferentes formas de produção dos pequenos produtores considerando suas limitações e restrições diárias. Sendo assim, tal trabalho utilizou do caso de um pequeno produtor rural, localizado no município de Angélica, para a construção de um modelo matemático que maximiza a sua receita. Para a análise do caso foram realizadas a análises de dualidade e sensibilidade o que permitiu encontrar as melhores estratégias. Ademais, o trabalho buscou apresentar um modelo genérico que poderá ser aplicado em outras propriedades rurais com produtos e restrições distintas do caso analisado a fim de garantir a otimização de tal sistema produtivo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Pesquisa Operacional (PO) utiliza modelos matemáticos para a solução de problemas reais, recorrendo a algumas técnicas, a saber: programação linear, simulação, teoria das filas, análise de decisão e *scheduling,* por exemplo. Conforme Almeida (2012), a aplicação da PO em apoio à decisão ocorre na condição que se decide para atingir um objetivo. Este, por sua vez, é resultante da alocação ótima dos recursos, caracterizando-a como uma técnica de otimização, que pode ser aplicada em diversas áreas, a saber: formulação de alimentos, rações e adubos; blindagem de ligas metálicas e petróleo; transporte; localização, carteira de ações, alocação de recursos em sistemas produtivos; designação de pessoas e tarefas, entre outros (SILVA, 2016). Santos (2011) relata o interesse de indústrias tais técnicas para auxiliar no planejamento e controle da produção desde 1947.

A Programação Linear é uma ferramenta utilizada para a obtenção de resultados ótimos por meio da resolução de problemas que contenham um objetivo sujeito a restrições (CARNEIRO *et al*., 2017). Para tanto, utiliza-se um modelo geral que contempla: variáveis de decisão, parâmetros de entrada, função objetivo e restrições (MUROLO *et al.*; 2010).

Em relação às variáveis de decisão, parâmetros de entrada e função objetivo, Belfiore e Favero (2013) correlaciona-os afirmando que a função objetivo determina o valor alvo que se pretende alcançar ou a qualidade da solução, em função das variáveis de decisão e dos parâmetros de entrada, podendo ser uma função de maximização (lucro, receita, utilidade, nível de serviço, riqueza, expectativa de vida, entre outros atributos) ou de minimização (custo, risco, erro, entre outros). Já as restrições são as limitações das varáveis, que retratam a escassez dos recursos e interferem de forma direta nos valores das variáveis de decisão. De acordo com Belfiore e Favero (2013), as restrições podem ser definidas como um conjunto de equações e inequações que as variáveis de decisão do modelo devem satisfazer.

Como maneira de solucionar problemas de PL, tem-se o método Simplex, um algoritmo que a cada interação, se desloca da solução ótima atual para uma solução ótima adjacente melhor, quando a solução encontrada não tem nenhuma solução posterior melhor, entende-se que sua solução é ótima e o algoritmo interrompe (HILLER e LIEBERMAN, 2013). Os autores complementam que a implementação em computador do método simplex e suas variáveis se tornaram tão poderosas que são frequentemente usadas para resolver problemas de programação linear com milhares de restrições funcionais e variáveis de decisão.

Gameiro, Caixeta Filho e Barros (2010) ressaltam que o aumento da complexidade envolvida nos sistemas produtivos agropecuários, em função da necessidade de se considerar aspectos sociais e ambientais, além dos técnicos, implicam em esforços para o desenvolvimento de novos métodos e ferramentas auxiliares no processo de tomada de decisão quanto às três questões centrais dos sistemas sociais: o que produzir, como produzir e para quem produzir. (PLA *el al*, 2014 e FILIPPI, MANSINI e STEVANATO, 2017)

Em meio a descobrir um modelo matemático que modele a receita de um pequeno agricultor, quais hortaliças geram maiores lucros e quais são os recursos escassos, o objetivo do trabalho se dará a analisar as principais características reais de um micro agricultor do interior do Mato Grosso do Sul da cidade de Angélica a partir dos dados colhidos ao longo de um ciclo de plantio, setenta dias, identificando os recursos disponíveis, produtos e receitas, e, por fim, por meio da análise de sensibilidade verificar quais recursos são escassos, custo sombra e de oportunidade de cada recurso produtivo por meio do método Simplex uma ferramenta de otimização da Programação Linear.

## 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo trata-se de uma pesquisa exploratória envolvendo fundamentação teórica e entrevistas com um micro produtor de hortaliças da cidade de Angélica - MS, buscando o amplo e detalhado conhecimento de suas experiências práticas a fim de garantir a otimização do seu processo produtivo. Foi utilizado o método de modelagem matemática, com tratamento das variáveis de forma determinística. A forma de condução da pesquisa dependeu da natureza do problema e sua formulação, além do embasamento teórico. Para tanto, utilizou de uma a abordagem quantitativa baseada em métodos lógicos que buscou explicar a realidade produtiva por meio de dados numéricos. Sendo assim, este artigo apresenta uma natureza aplicada, com abordagem quantitativa, a partir da determinação das quantidades de hortaliças que devem ser produzidas a fim de maximizar o lucro, levando em consideração as restrições de disponibilidade dos recursos dentro da propriedade.

A coleta de dados foi baseada em entrevistas semiestruturadas, o que permitiu uma maior liberdade para obter os dados necessários para a formulação do problema, de maneira a buscar a objetividade das respostas do entrevistado. Com esse levantamento de dados, se dispôs um estudo de caso baseado na investigação empírica e numérica, que apura um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto real. Logo, as seguintes etapas foram desenvolvidas para aplicação e apresentação do modelo proposto: i) definição da problemática; ii) levantamento de dados e busca informações, iii) modelagem do problema, iv) resolução do problema.

Na etapa da resolução do problema, utilizou-se o SIMPLEX como algoritmo de solução do problema, sendo que sua escolha deveu-se a simplicidade de uso para obtenção de solução em problemas lineares além de estar disponível no pacote básico de *softwares* de cálculo e planilhas eletrônicas.

## 4. MODELO DE OTIMIZAÇÃO PROPOSTO

Para dar suporte ao processo de otimização do *mix* de produção e vendas, um modelo de otimização baseado em técnicas de pesquisa operacional, mais especificamente a programação linear, foi desenvolvido. A Figura 1 apresenta uma visão esquemática do modelo proposto neste estudo, que possui quatro fases principais, a saber: a fase da definição das variáveis de decisão, a fase da definição da função objetivo, a fase do levantamento das restrições e uma fase de obtenção da solução ótima e analise de sensibilidade.

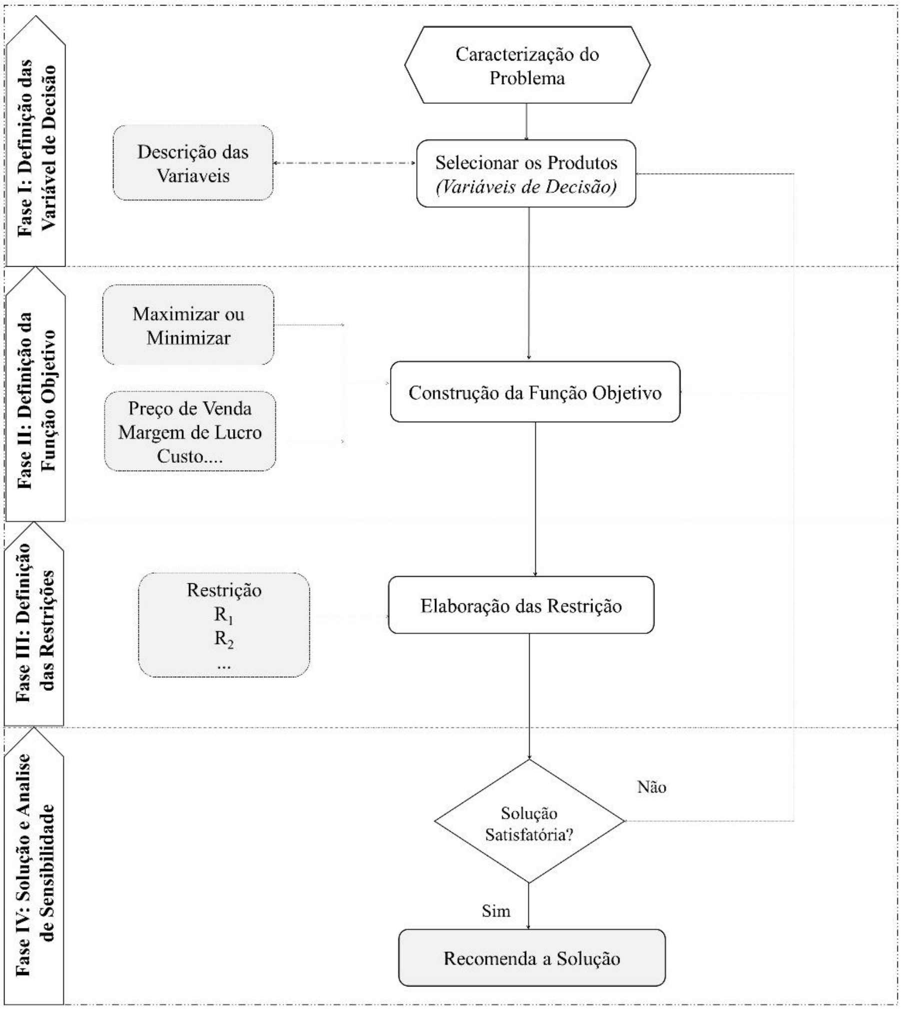



Figura 1 – Modelo Otimização Proposto

De acordo com Lachtermacher (2009) a programação linear apresenta o seguinte modelo matemático genérico:

$$\text{Otimizar } z = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) \tag{1}$$

Sujeito a.:

$$\begin{aligned} & g_1(x_1, x_2, \ldots, x_n) \leq b_1 \\ & g_2(x_1, x_2, \ldots, x_n) = b_2 \\ & \vdots \\ & g_m(x_1, x_2, \ldots, x_n) \geq b_m \end{aligned} \tag{2}$$

Onde, $x_i$ são as variáveis de decisão definidas na primeira fase do modelo, a função f $(x_1, x_2, \ldots x_n)$ é definida na segunda fase do modelo, e as funções $g_m (x_1, x_2, \ldots x_n)$ são definidas na terceira fase do modelo, sendo $n$ o número de variáveis, $m$ o número de restrições, $i$ o índice de uma determinada restrição, e $b$ representa o parâmetro do modelo que indica a limitação.

Uma vez formulado o problema (Fase II até Fase III), a ultima fase consiste na resolução do problema. Na literatura é possível encontrar muitos algoritmos para obter a solução, contudo, o algoritmo Simplex é o mais famoso deles, em que se parte de uma Solução Básica Viável (SBV) para uma Solução Básica Viável adjacente até que seja encontrada uma solução ótima para o problema (LACHTERMACHER, 2009).

## 5. APLICAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA MIX DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

Com o objetivo de aplicar a metodologia para otimização do *mix* de produção foi analisada a produção de um micro produtor de hortaliças, sendo o problema composto por três variáveis de decisão e quatro restrições, cujas etapas realizadas para a pesquisa se resumem em: modelagem do problema, que consiste na definição das variáveis, na construção da função objetivo e restrições e, por fim, análise dos resultados.

### 5.1. Modelagem do problema

A modelagem em si segue o processo usual para solução de problemas de programação linear, onde se apresenta as variáveis de decisão, a função objetivo, as restrições do problema, as restrições adicionais e o quadro resumo do modelo matemático proposto.

#### 5.1.1. Definição das variáveis de decisão

O presente artigo foi desenvolvido baseado nos produtos de maior demanda, sendo eles a alface, a couve e o cheiro-verde (composto por salsa e cebolinha verde). Sendo assim, as variáveis de decisão são tantas quanto o número de produtos produzidos. As nomenclaturas utilizadas para defini-las são apresentadas conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Variáveis de decisão

| | |
|---|---|
| $x_1$ | Quantidade a ser produzidas de alface |
| $x_2$ | Quantidade ser produzidas unidades de couve |
| $x_3$ | Quantidade ser produzidas de cheiro-verde |

Fonte: elaborado pelos autores

Com $i \in Z_+^* | i$: [1,3].

### 5.1.2. Definição da função objetivo

No caso dos produtos analisados, o produtor deseja otimizar as quantidades produzidas na sua propriedade. Contudo, o preço de venda (p) da alface é R$2,00, a da couve é R$4,00 e a de cheiro-verde é R$S2,50, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 2: Preço de Venda

| Produto | Preço de Venda |
|---|---|
| Alface | R$ 2,00 |
| Couve | R$ 4,00 |
| Cheiro-verde | R$ 2,50 |

Fonte: elaborados pelos autores

Sendo assim, a função objetivo tem por intuito maximizar a receita das quantidades a serem produzidas mensal, ou seja, o somatório dos preços de vendas de cada produto por suas respectivas quantidades produzidas. Logo, a função objetiva é dada por:

$$Max\ Z = \sum_{i=1}^{3} p_i x_i$$

Onde $p_i$ representa o preço de venda de cada produto, com $i \in Z_+^* | i$: [1,3].

### 5.1.3. Definição das restrições do problema

Nesta seção foram definidas todas as restrições do problema, sendo a análise do problema dado a produção mensal, ou seja, todas as condições que limitam a plena utilização dos recursos disponíveis. Conforme levantamentos dos dados obteve-se as seguintes informações quanto aos recursos utilizados (Tabela 4).

Tabela 4: Quantidade de recursos

| Recurso | Alface | Couve | Cebolinha Verde | Salsa |
|---|---|---|---|---|
| Água (l) | 148,75 | 267,75 | 1638 | 1638 |
| Adubo Natural (kg) | 12,75 | 12,75 | 75,04 | 75,04 |
| Adubo Químico (kg) | 0,425 | 0,425 | 2,45 | 2,45 |
| Área ($m^2$) | 38,25 | 38,25 | 8,75 | 8,75 |
| Lote (unidades) | 17 | 17 | 140 | 140 |

Fonte: elaborados pelos autores

A Tabela 5 apresenta as quantidades unitárias de recursos utilizados na produção de cada um dos produtos/mensalmente.

Tabela 5: Quantidade unitária e a disponibilidade de cada recurso

| Produto | Água (L/Unidade) | Adubo Natural (Kg/Unidade) | Adubo Químico (Kg/Unidade) | Área ($m^2$/Unidade) |
|---|---|---|---|---|
| Alface | 8,75 | 0,75 | 0,025 | 2,25 |
| Couve | 15,75 | 0,75 | 0,025 | 2,25 |
| Cebolinha verde | 11,7 | 0,536 | 0,0175 | 0,0625 |
| Salsa | 11,7 | 0,536 | 0,0175 | 0,0625 |
| **Disponibilidade de recursos** | **8025 l** | **450 kg** | **20 kg** | **40 m²** |

Fonte: elaborado pelos autores

Como forma de melhor organizar as restrições do problema, a Tabela 6 apresenta o tipo de restrição, as inequações e a disponibilidade de recursos.

Tabela 6: Restrições do problema

| | Restrições | Inequações | | Disponível |
|---|---|---|---|---|
| $R_1$ | Água (AG) (l) | 8,75 $x_1$+15,75 $x_2$+93,6 $x_3$ | ≤ | 8025 ($D_A$) |
| $R_2$ | Adubo natural (AN) (kg) | 0,75 $x_1$+0,75 $x_2$+4,29 $x_3$ | ≤ | 450 ($D_{AN}$) |
| $R_3$ | Adubo químico (AQ) (kg) | 0,025 $x_1$+0,025 $x_2$+0,14 $x_3$ | ≤ | 20 ($D_{AQ}$) |
| $R_4$ | Capacidade máxima de área (CMA) (m²) | 2,25 $x_1$+2,25 $x_2$+0,5 $x_3$ | ≤ | 40 ($D_{CMA}$) |
| $R_5$ | Não negatividade | $x_1$, $x_2$, $x_3$ | ≥ | 0 |

Fonte: elaborado pelos autores

### 5.1.4. Resumo do modelo proposto

As equações (3-8) resumem o que foi delineado no nos tópicos da seção 5.1, de maneira genérica.

$$Max\ Z=\sum_{i=1}^{3} p_i x_i \tag{3}$$

Sujeito a:

$$R_1=\sum_{i=1}^{3} AG_i x_i \leq D_A \tag{4}$$

$$R_2=\sum_{i=1}^{3} AN_i x_i \leq D_{AN} \tag{5}$$

$$R_3=\sum_{i=1}^{3} AQ_i x_i \leq D_{AQ} \tag{6}$$

$$R_4 = \sum_{i=1}^{3} CMA_i x_i \leq D_{CMA} \quad (7)$$

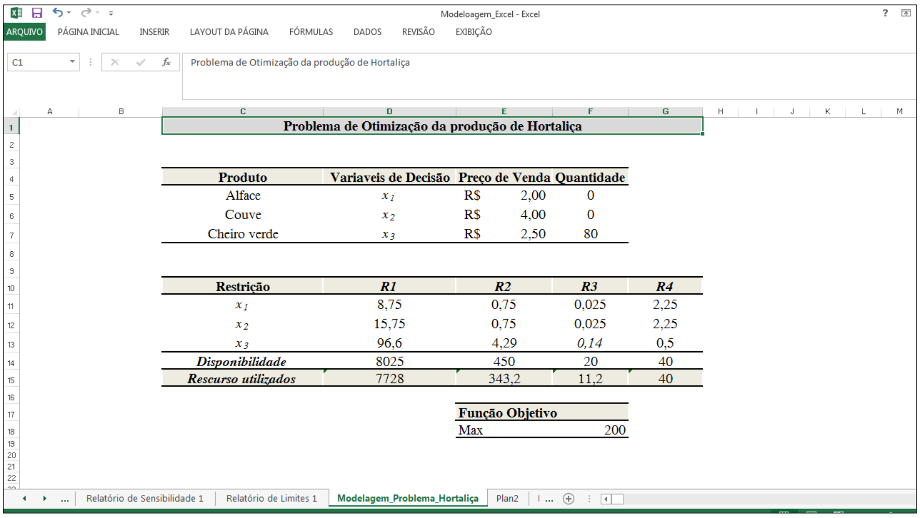
$$R_5 = x_i \geq 0 \quad (8)$$

Com $i \in Z_{+}^{*} \mid i: [1,3]$.

Observa-se inicialmente que a função objetivo (3) apresenta uma maximização da margem de contribuição total da empresa, considerando as margens unitárias e a quantidade a ser produzida de cada tipo de produto. A Equação (4) representa o consumo de água na produção das hortaliças analisadas, o qual deve ser menor do que a disponibilidade de água existente. As Equações (5) e (6) representam os consumos de adubo orgânico e químicos na produção das hortaliças analisadas. De maneira análoga, a Equação (7) a restrição que as quantidades de hortaliças demandam de áreas para sua produção. Finalmente, a Equação (8), evidencia a restrição de não negatividade de todas as variáveis de decisão.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Uma vez gerado o modelo explicitado pela Figura 1, é possível resolver o problema por meio dos diversos algoritmos de programação linear presentes na literatura. No caso deste artigo, foi utilizado o algoritmo Simplex. O mesmo foi escolhido por ser um algoritmo de resolução precisa e fortemente empregado na solução de problemas lineares, além de estar disponível em programas computacionais de planilhas eletrônicas, as quais são de fácil acesso a pequenos produtores rurais bem como acadêmicos. Como meio de resolução, foi utilizado o *software MS Excel®*, por meio do *Solver*, um dos muitos suplementos disponibilizados em sua versão básica conforme Figura 2.




**Problema de Otimização da produção de Hortaliça**

| Produto | Variaveis de Decisão | Preço de Venda | | Quantidade |
|---|---|---|---|---|
| Alface | $x_1$ | R$ | 2,00 | 0 |
| Couve | $x_2$ | R$ | 4,00 | 0 |
| Cheiro verde | $x_3$ | R$ | 2,50 | 80 |

| Restrição | *R1* | *R2* | *R3* | *R4* |
|---|---|---|---|---|
| $x_1$ | 8,75 | 0,75 | 0,025 | 2,25 |
| $x_2$ | 15,75 | 0,75 | 0,025 | 2,25 |
| $x_3$ | 96,6 | 4,29 | *0,14* | 0,5 |
| ***Disponibilidade*** | 8025 | 450 | 20 | 40 |
| ***Rescurso utilizados*** | 7728 | 343,2 | 11,2 | 40 |

| Função Objetivo | |
|---|---|
| Max | 200 |

Figura 2 – Modelagem do problema no *software MS Excel®*.

Pela análise dos resultados, inicialmente observa-se que o modelo indica a quantidade máxima de cheiro verde a ser produzida é de 80 unidades. Em decorrência disso, a função objetivo demonstra que a margem de contribuição total máxima, em função do *mix* de produtos definido, é de R$ 200,00.

Depois de obtidos os resultados do modelo matemático por meio do Solver, podem ser estudados os relatórios de análise apresentados pelo sistema. O relatório de respostas é o primeiro relatório oferecido pelo modelo apresentado. A Figura 3 apresenta o relatório de respostas do modelo estruturado neste estudo.

**Microsoft Excel 14.0 Relatório de Respostas**
**Planilha: [Modeloagem_Excel.xlsx]Modelagem_Problema_Hortaliça**
**Relatório Criado: 27/06/2018 20:31:39**
**Resultado: O Solver encontrou uma solução. Todas as Restrições e condições de adequação foram satisfeitas.**
**Mecanismo do Solver**
Mecanismo: LP Simplex
Tempo da Solução: 0,031 Segundos.
Iterações: 2 Subproblemas: 0
**Opções do Solver**
Tempo Máx. Ilimitado, Iterações Ilimitado, Precision 0,000001, Usar Escala Automática
Subproblemas Máx. Ilimitado, Soluç. Máx. Núm. Inteiro Ilimitado, Tolerância de Número Inteiro 1%, Assumir Não Negativo

Célula do Objetivo (Máx.)

| Célula | Nome | Valor Original | Valor Final |
|---|---|---|---|
| $F$18 | Max R3 | 200 | 200 |

Células Variáveis

| Célula | Nome | Valor Original | Valor Final | Número Inteiro |
|---|---|---|---|---|
| $F$5 | x1 Quantidade | 0 | 0 | Conting. |
| $F$6 | x2 Quantidade | 0 | 0 | Conting. |
| $F$7 | x3 Quantidade | 80 | 80 | Conting. |

Restrições

| Célula | Nome | Valor da Célula | Fórmula | Status | Margem de Atraso |
|---|---|---|---|---|---|
| $D$15 | Rescurso utilizados R1 | 7728 | $D$15<=$D$14 | Não-associação | 297 |
| $E$15 | Rescurso utilizados R2 | 343,2 | $E$15<=$E$14 | Não-associação | 106,8 |
| $F$15 | Rescurso utilizados R3 | 11,2 | $F$15<=$F$14 | Não-associação | 8,8 |
| $G$15 | Rescurso utilizados R4 | 40 | $G$15<=$G$14 | Associação | 0 |

Figura 3 – Relatório de Resposta

A Figura 3 apresenta três grupos de analise, sendo que o primeiro grupo evidencia dados sobre a célula da função objetivo. Considerando as restrições apresentadas, no relatório ficou evidenciado que o modelo maximizou a margem de contribuição dos produtos (R$ 200,00). O segundo grupo de análise do relatório de respostas refere-se às células variáveis do modelo. Nesse caso, o valor final indica a quantidade ótima de cada produto a ser produzido, visando maximizar a margem de contribuição total do vendido, considerando a restrições apresentadas.

Por fim, o terceiro grupo de análise do relatório de respostas apresenta análises referentes às restrições observadas no modelo estruturado. A expressão "Associação" indica que a restrição foi plenamente satisfeita (toda a área disponível foi utilizada no modelo), não apresentando, portanto, margem de atraso, enquanto a expressão "Não-associação" indica que nem todas os recursos foram considerados para produção. Analogamente, o campo "Margem de Atraso" indica que não foram consideradas para produção as seguintes quantidades 297, 106,8 e 8,8 correspondentes aos recursos $R_1$, $R_2$ e $R_3$ respectivamente na produção de hortaliças, em função da otimização realizada considerando as restrições apresentadas.

Por meio do relatório de sensibilidade, Figura 4, oferecido pelo modelo inúmeras análises relevantes podem ser obtidas.

**Microsoft Excel 14.0 Relatório de Sensibilidade**
**Planilha: [Modeloagem_Excel.xlsx]Modelagem_Problema_Hortaliça**
**Relatório Criado: 27/06/2018 20:31:39**

Células Variáveis

| Célula | Nome | Final Valor | Reduzido Custo | Objetivo Coeficiente | Permitido Aumentar | Permitido Reduzir |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $F$5 | x1 Quantidade | 0 | -9,25 | 2 | 9,25 | 1E+30 |
| $F$6 | x2 Quantidade | 0 | -7,25 | 4 | 7,25 | 1E+30 |
| $F$7 | x3 Quantidade | 80 | 0 | 2,5 | 1E+30 | 1,61111111 |

Restrições

| Célula | Nome | Final Valor | Sombra Preço | Restrição Lateral R.H. | Permitido Aumentar | Permitido Reduzir |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D$15 | Rescurso utilizados R1 | 7728 | 0 | 8025 | 1E+30 | 297 |
| $E$15 | Rescurso utilizados R2 | 343 | 0 | 450 | 1E+30 | 106,8 |
| $F$15 | Rescurso utilizados R3 | 11,2 | 0 | 20 | 1E+30 | 8,8 |
| $G$15 | Rescurso utilizados R4 | 40 | 5 | 40 | 1,53726708 | 40 |

Figura 4 – Relatório de Resposta

Ao analisar os dados apresentados na Figura 4, observa-se a divisão do relatório em duas partes distintas: a análise de sensibilidade nas células variáveis e a análise de sensibilidade nas restrições.

Inicialmente explorando as informações contidas no campo das células variáveis, as mesmas indicam as mudanças possíveis nos coeficientes das variáveis de decisão ($x_1$, $x_2$ e $x_3$). Observa-se inicialmente o valor final de cada variável, representando a quantidade de cada produto indicada para produção, atendendo às restrições apresentadas. No campo "Custo

Reduzido", observa-se a existência de valor de -9,25 e -7,25 referentes aos produtos $x_1$ *e* $x_2$, respectivamente. Este valor indica a penalização que deverá ser paga para que essa variável passe a se tornar básica. Por sua vez, o campo "Permitido Aumentar" apresenta a indicação de que a margem de contribuição destes produtos pode ser aumentada em 9,25 e 7,25, respectivamente, o de forma a contribui para que este produto apresente viabilidade.

Analisando o campo das restrições deste relatório, encontram-se as possíveis alterações que as constantes das restrições podem sofrer (no caso deste modelo, a quantidade de $m^2$ de área disponível - recurso 4).

No relatório em questão, observa-se inicialmente no campo do valor final a quantidade disponível de madeira para o período em questão (40 $m^2$). O campo seguinte apresenta o "Preço Sombra", o qual é a quantidade pela qual a função objetivo é alterada, dado um incremento de uma unidade na constante de restrição, assumindo que todos os outros coeficientes e constantes permaneçam inalterados. No caso em questão, o preço sombra da variável "$m^2$ de área" indica o valor de 5. Isso significa que, caso a empresa disponha de mais 1$m^2$ de área, a margem de contribuição total irá aumentar em R$ 5. Entretanto, este aumento não é infinito, uma vez que o campo "Permitido Aumentar" apresenta o valor de 1,53. Ainda neste mesmo campo do relatório de sensibilidade, observa-se a variável "Permitido Reduzir" apresentando o valor de 40. Da mesma forma, para cada $m^2$ de área que deixar de ser utilizada, a margem de contribuição total será diminuída deste valor. Quanto a água ($R_1$), o adubo natural ($R_2$) e o adubo químico ($R_3$) estes são recursos não escassos, ou seja, se houver um aumento de uma unidade desses não haverá alteração na receita máxima, pois esses recursos tem um saldo excedente.

Em síntese, a análise de sensibilidade do modelo estruturado, apresenta os dados do preço-sombra de cada produto e o quanto pode-se reduzir em recursos sem alterar a solução ótima. Também apresenta que o produto alface ($x_1$) possui um preço-sombra de 9,25 e o produto couve ($x_2$) possui um preço-sombra de 7,25, em outras palavras, a produção de uma unidade desses produtos provocaria um decréscimo no valor de seus preços-sombra na solução ótima.

Contudo, se for optado por produzir uma unidade de alface ($x_1$), utilizando os mesmos recursos do cheiro-verde e da couve, é necessário saber qual deverá ser a receita unitária mínima para que sua produção se torne viável financeiramente, visto que a entrada de $x_1$ com valor 1 na base provocaria um decréscimo da receita de 9,25.

Um levantamento de dados mostra que para produzir uma unidade de alface ($x_1$), alguma folga seria forçada, o que implicaria em perda de conforme (9):

$$(0 * 8{,}75) + (0 * 0{,}75) + (0 * 0{,}025) + (5 * 2{,}25) = R\$11{,}25 \quad (9)$$

Portanto, se o produto alface ($x_1$), entrar na base com valor 1, utilizando os mesmos recursos de $x_2$ e $x_3$, para que sua produção seja viável e interessante a receita unitária mínima de $x_1$ deverá ser de R$ 11,25.

Do mesmo modo, ocorrerá com a entrada de couve ($x_2$) na base com valor 1, utilizando os mesmos recursos de $x_1$ e $x_3$. Com a produção de uma unidade de couve, como no cálculo apresentado abaixo, haverá um decréscimo conforme (10):

$$(0 * 15{,}75) + (0 * 0{,}75) + (0 * 0{,}025) + (5 * 2{,}25) = R\$11{,}25 \tag{10}$$

Logo, para que o produto couve ($x_2$) seja produzido a receita unitária mínima deverá ser de R$ 11,25.

## 5 CONCLUSÕES

Com base na estruturação do modelo matemático e dados levantados verificou-se que a receita máxima seria obtida produzindo somente cheiro verde, uma vez que este produto é o que ocupa menor área cultivada, fato justificado por esta ser o único recurso apontada pela análise de sensibilidade como escassa. Ademais, tal análise apontou que uma compra sobressalente de água, adubos naturais ou químicos não aumentariam a receita do agricultor até que a área cultivada fosse aumentada.

Verificou-se que os valores de receita mínima da alface e da couve são elevados porque estes utilizam de grande área de plantio. Assim, é viável a esse produtor somente o plantio de hortaliças que demandam de uma pequena área de plantio maximizando assim sua receita.

O modelo matemático apresentado pelas equações (3-8), o método de solução e as ferramentas encontradas em pacotes de planilhas eletrônicas poderão ser aplicados a outros produtores rurais e a outras realidades de plantio, somente modificando as equações, o que realça o benefício do método. Além disso, as análises de sensibilidade realizadas apresentam contribuições relevantes para o gerenciamento da produção de hortaliças, baseado em análises de custos correspondentes. Para o administrador, as análises do preço sombra e do custo reduzido, aliado aos acréscimos e decréscimos permissíveis, fornecem importantes subsídios na indicação de parâmetros e formulações de estratégias que beneficiarão os produtores de pequeno porte e consequentemente o desenvolvimento local.

## REFERÊNCIAS


ALMEIDA, J. F. F. **O que é programação linear?**. Disponível em:<www.marcogandra.com.br/2012/08/o-que-e-programacao-linear.html 28 de agosto de 2012>. Acesso em: 22 mai. 2018.

BELFIORE, P.; FAVERO, L. P. L. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CARNEIRO, M. B. *et al.* A aplicação do método simplex para a maximização dos lucros de uma panificadora. In: **VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, 2017. Anais. Ponta Grossa: CONPREPRO, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (Brasil). **Agricultura familiar, desafios e oportunidades rumo à inovação**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31505030/artigo---agricultura-familiar-desafios-e-oportunidades-rumo-a-inovacao>. Acesso em: 22 jul. 2018.

FILIPPI, C.; MANSINI, R.; STEVANATO, E. Mixed integer linear programming models for optimal crop selection. **COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH** (2017). https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.12.004.

GAMEIRO, A. H., CAIXETA FILHO, J. V., BARROS, C. S. Modelagem matemática para o planejamento, otimização e avaliação da produção agropecuária.In:__. **Novos desafios da pesquisa em produção e nutrição animal** / organizado por Marcos Veiga dos Santos [et al.]. – Pirassununga, SP: Editora 5D; Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal, 2010. 260 p.

GIL, A. C. **Estudo de Caso.** São Paulo: Atlas, 2009.

HILLER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional.** (9. ed.). Porto Alegre: AMGH, 2013.

LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LACHTMARCHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisão**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LACHTMARCHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisão**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MACHADO FILHO, C.P.; CALEMAN, S.M.Q.; CUNHA, C.F. Governance in agribusiness organizations: challenges in the management of rural family firms. **Rev. Adm. (São Paulo)**, São Paulo, v. 52, n. 1, p. 81-92, Mar. 2017 http://dx.doi.org/10.1016/j.rausp.2016.09.004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (Brasil). **Agropecuária puxa o PIB de 2017**. 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>. Acesso em: 22 jul. 2018.

MUROLO, A. C.; *et al*. **Pesquisa Operacional para os Cursos de Administração e** Engenharia. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

PLA, L. M., DANIEL L SANDARS, D. L.; HIGGINS, A. J. A perspective on operational research prospects for agriculture. **Journal of the Operational Research Society** (2014) 65, 1078–1089

SANTOS, M. O. **Introdução à pesquisa operacional**. ICMC-USP. Disponível em:<www.icmc.usp.br/~mari/segundo2011/aula1PO.pdf ag. 2011>. Acesso em 05 jun. 2018.

SILVA, A.B. **O Método Simplex e o Método Gráfico na resolução de problemas de otimização**. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Matemática- Universidade Federal de Goiás, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/5905>. Acesso em: 24 jul. 2018.